

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І МЕХАНОТРОНІКИ

«На правах рукопису»
УДК 629.3.027.3:620.1.05

До захисту допущено:

Завідувач кафедри ПГМ
Олег ЛЕВЧЕНКО
“ ” 2025 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані
механічні системи»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Підвищення достовірності випробувань амортизаторів завдяки
впровадженню цифрового управління сигналами

Виконав: студент 2 курсу, групи МА-41мп
(шифр групи)

Покотілов Михайло Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент каф. ПГМ, к.т.н., Зілінський А.І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2025 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПГМ

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Покотілову Михайлу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Підвищення достовірності випробувань амортизаторів завдяки впровадженню цифрового управління сигналами

науковий керівник дисертації доцент каф. ПГМ, к.т.н., Зілінський А.І.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «06.11.2025 р.» № 4844 - с

2. Термін подання студентом дисертації: « 18 » грудня 2025 р.

3. Об'єкт дослідження: стенд для випробовування амортизаторів

4. Вихідні дані: робоча частота 0,25...1,67 Гц; робочий хід 50...100 мм; корисне зусилля гідравлічного підсилювача 65 Кн; робочий тиск 25 МПа; напруга мережі живлення 380 В

5. Перелік завдань, які потрібно виконати: розробити автоматизовану систему для дослідження робочих характеристик амортизаторів; надати рекомендації по заміні маслостанції стенду, тензометричного датчика,

системи кріплення амортизатора; розробити інструкцію з експлуатації
стенду; розробка стартап-проєкту

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: креслення
складальної одиниці стенду; деталювання рами стенду; схема електрична
принципова

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 теза-доповідь на «Інновації молоді в
машинобудуванні 2025» на тему «Проблеми випробування амортизаторів
колісних транспортних засобів»

8. Дата видачі завдання 03.09.2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз ринку, огляд існуючих рішень	16.09.2025	
2	Дослідження існуючих типів діагностики амортизаторів	06.10.2025	
3	Аналіз продукції конкурентів	17.10.2025	
4	Формулювання технічного завдання	24.10.2025	
5	Розробка програми керування стендом	29.10.2025	
6	Побудова 3д збірки стенду	07.11.2025	
7	Робота над деталюванням рами стенду	15.11.2025	
8	Написання розділу Безпечна експлуатація та обслуговування	20.11.2025	
9	Написання розділу Розробка стартап-проєкту	27.11.2025	
10	Внесення покращень	03.12.2025	

Студент

Михайло ПОКОТІЛОВ

Керівник

Андрій ЗІЛІНСЬКИЙ

Анотація

Магістерська дисертація на тему: «Підвищення достовірності випробувань амортизаторів завдяки впровадженню цифрового управління сигналами», яка складається з шести розділів.

Мета даної роботи полягає у модернізації існуючого стенду для випробовування амортизаторів на базі КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Перший розділ магістерської дисертації відведений на історичний екскурс, аналіз та розуміння принципу дії існуючих типів амортизаторів, а також їх сьогоденні методи діагностики.

Другий розділ роботи орієнтований на огляд існуючого технічного рішення стороннього виробника, а також аналіз та формулювання ідеї модернізації стенду на базі КПІ ім. Ігоря Сікорського.

У третьому розділі зосереджено увагу на реалізації технічного рішення з підвищення точності стенду, проведення досліджень, а також надано рекомендації для майбутньої модернізації стенду.

У четвертому розділі розглянуто вимоги до правильної експлуатації обладнання, а також порядок проведення технічного обслуговування.

Розділ «Розробка стартап-проєкту» демонструє доцільність даного проєкту, чітко окресливши маркетингову стратегію продукту.

У розділі «Безпечна експлуатація об'єкта проєктування» проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Виконано розрахунок освітлення, а також підібрано необхідний тип вогнегасника.

Дана робота містить 28 таблиць, 35 зображень та 17 літературних джерел.

Ключові слова: амортизатор, випробувальний стенд, стартап-проєкт, модернізація.

Abstract

Master's thesis on the topic: "Improving the reliability of shock absorber testing through the implementation of digital signal control", consisting of six chapters.

The purpose of this work is to modernize the existing shock absorber testing stand at Igor Sikorsky KPI.

The first chapter of the master's thesis is devoted to a historical overview, analysis, and understanding of the principle of operation of existing types of shock absorbers, as well as their current diagnostic methods.

The second chapter of the work focuses on reviewing the existing technical solution from a third-party manufacturer, as well as analyzing and formulating ideas for modernizing the test bench at Igor Sikorsky KPI.

The third chapter focuses on the implementation of a technical solution to improve the accuracy of the test bench, conducting research, and providing recommendations for future modernization of the test bench.

The fourth section examines the requirements for the proper operation of the equipment, as well as the procedure for technical maintenance.

The section "Startup Project Development" demonstrates the feasibility of this project, clearly outlining the marketing strategy for the product.

The section "Safe operation of the design object" analyzes hazardous and harmful production factors. Lighting calculations have been performed, and the necessary type of fire extinguisher has been selected.

This work contains 28 tables, 35 images, and 17 references.

Keywords: shock absorber, test bench, startup project, modernization.

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: Підвищення достовірності випробувань амортизаторів завдяки
впровадженню цифрового управління сигналами

Київ – 2025 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. Розгляд існуючих рішень у сфері амортизаторів транспортних засобів	12
1.1 Перші рішення використання підвіски в автомобілях 20 сторіччя	12
1.1.1 Підвіска. Призначення та принцип роботи	13
1.1.2 Світові виробники – взірць досконалості	15
1.2 Різновид автомобільних амортизаторів за принципом роботи	15
1.2.1 Однотрубні амортизатори	16
1.2.2 Двотрубні амортизатори	17
1.2.3 Регульовані амортизатори з виносним резервуаром.....	18
1.2.4 Койловери	19
1.2.5 Вурасс (Обвідні) амортизатори.....	20
1.3 Можливі несправності стійок амортизаторів та їх причини	22
1.4 Діагностика та випробовування підвіски автомобіля	24
1.4.1 Візуальний огляд.....	24
1.4.2 Розгойдування автомобіля	25
1.4.3 Перевірка ступеня нагріву	25
1.4.4 Поведінка автомобіля в русі	26
1.4.5 Стендова діагностика	26
1.5 Нормативні документи що стосуються амортизаторів транспортних засобів	28
1.6 Технічні вимоги, параметри та методи випробовування амортизаторів на стенді відповідно до українського законодавства	29
Висновок до 1-го розділу:.....	33
РОЗДІЛ 2. Огляд стенду стороннього виробника та формулювання власного технічного завдання.....	34
2.1 метод діагностики за допомогою стенду MS201	34
2.1.1 Конструктивні особливості MS201	34

2.1.2 Принцип роботи і відображення робочої діаграми амортизатора.....	36
2.2 Аналіз стенду на базі КПП ім. Ігоря Сікорського	38
2.2.1 Технічні можливості стенду	39
2.2.2 Гідравлічне обладнання, використане у стенді	39
2.2.3 Електронне управління стендом	41
2.3 Аналіз ідеї модернізації стенду	44
2.3.1 Обґрунтування необхідності модернізації стенду.....	44
2.3.2 Концепція цифрового управління та його інтеграція	46
2.3.3 Ключові переваги запропонованого рішення автоматизації.....	46
Висновок до 2-го розділу:.....	48
РОЗДІЛ 3. Модернізація стенду на базі КПП ім. Ігоря Сікорського	50
3.1 Реалізація технічного рішення.....	50
3.2 Проведення випробувань для дослідження впровадженої системи	55
3.2.1 Висновок до проведених дослідів	63
3.3 Рекомендації що до модернізації стенду	64
3.3.1 Аналіз доцільності використання існуючої маслостанції при роботі стенду	64
3.3.2 Пропозиція до впровадження на основі отриманих даних.....	70
3.3.3 Рекомендація що до заміни динамометричної скоби на тензодатчик....	71
3.3.4 Рекомендація що до зміни кріплення досліджуваного зразка	73
Висновок до 3-го розділу:.....	77
РОЗДІЛ 4. Інструкція з експлуатації розробленої системи	79
4.1. Призначення та умови експлуатації.....	79
4.2. Основні технічні характеристики.....	80
4.3. Організація безпечної роботи оператора стенду	80
4.4. Підготовка стенда до роботи	81
4.5. Порядок роботи (Проведення випробування).....	81
4.6. Порядок завершення роботи	82
4.7. Дії в аварійних ситуаціях	83
4.8. Технічне обслуговування	83

4.9. Можливі несправності та методи їх усунення	84
Висновок до 4-го розділу:.....	86
РОЗДІЛ 5. Розробка стартап-проєкту	87
5.1 Опис ідеї проєкту (товару, послуги, технології).....	87
5.1.1 Аналіз технічно-економічних переваг ідеї.....	88
5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту	89
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	91
5.3.1 Аналіз попиту: стан ринку.....	91
5.3.2 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту.....	92
5.3.3 Аналіз ринкового середовища: загрози та можливості	93
5.3.4 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку	94
5.3.5 SWOT-аналіз стартап-проєкту.....	95
5.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту	95
5.4.1 Визначення стратегії охоплення ринку.....	96
5.4.2 Визначення базової стратегії розвитку.....	97
5.4.3 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.....	97
5.4.4 Визначення стратегії позиціонування	98
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	99
5.5.1 Формування маркетингової концепції товару.....	99
5.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару	100
5.5.3 Визначення цінових меж	101
5.5.4 Визначення оптимальної системи збуту	101
5.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій	102
Висновок до 5-го розділу:.....	103
РОЗДІЛ 6. Безпечна експлуатація об'єкта проєктування	104
6.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі в приміщенні де здійснюється перевірка роботи амортизаторів	104
6.1.1 Фізичні фактори.	104
6.1.2 Психофізіологічні фактори.	105

6.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при дослідженні робочих характеристик амортизатора.....	105
6.3 Характеристика робочої зони	107
6.4 Освітлення.....	107
6.4.1 Розрахунок освітленості.....	109
6.5 Пожежна безпека.....	110
Висновок до 6-го розділу:.....	112
ВИСНОВКИ	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	115

ВСТУП

Актуальність роботи. Технічний стан підвіски автомобіля, зокрема гідравлічних амортизаторів, є критичним фактором, що визначає керованість транспортного засобу, плавність ходу та безпеку дорожнього руху. Існуючі методи експрес-діагностики безпосередньо на автомобілі надають лише узагальнені дані, що залежать від стану підвіски в цілому, і не дозволяють отримати точну робочу діаграму амортизатора. Саме тому, єдиним методом зняття робочих характеристик амортизатора є стендова діагностика окремо знятого вузла.

Метою роботи є підвищення точності та енергоефективності під час випробувань амортизаторів шляхом модернізації апаратно-програмного комплексу стенду з впровадженням цифрової системи керування та збору даних.

Об'єктом дослідження є процеси стендових випробувань автомобільних амортизаторів.

Предметом дослідження є підвищення точності та автоматизація процесу випробувань шляхом впровадження програмно-апаратного комплексу на базі LabVIEW.

На базі КПІ ім. Ігоря Сікорського функціонує випробувальний стенд, оснащений авіаційним гідравлічним підсилювачем РМ-120. Проте, його система керування та вимірювання, що спроектована на базі аналогових компонентів. В умовах сучасних вимог до метрологічного забезпечення, перехід до цифрових систем автоматичного керування є необхідним кроком для забезпечення достовірності та повторюваності результатів випробувань.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці та впровадженні автоматизованої системи вимірювання робочих характеристик амортизатора. Застосування запропонованої системи забезпечило суттєве підвищення точності вимірювань, а також енергоефективність діючого стенду.

РОЗДІЛ 1. Розгляд існуючих рішень у сфері амортизаторів транспортних засобів

1.1 Перші рішення використання підвіски в автомобілях 20 сторіччя

Перші моделі автомобілів представляли собою малопотужні транспортні засоби, що були не в змозі розвивати високих швидкостей. Через це у встановленні таких деталей, як амортизатори не було необхідності. На їх місці стояли листові ресори. Швидкість машин того часу була вкрай низькою, внаслідок чого вертикальні коливання кузова виявлялися незначними і успішно гасилися ресорами. [1]

Листова ресора - пружна частина підвіски між віссю і кузовом машини, призначена для пом'якшення ударів під час їзди. Являє собою пакет листів різної довжини, що виготовлені з загартованої сталі та скріплені хомутами, котрі працюють на вигин як гнучка балка (Рис. 1.1.).

Перевагою багато листових ресор є поєднання в них як функції гнучкого елемента (пружини), так і демпфера, що поглинає рухи підвіски. Остання функція здійснюється завдяки взаємному тертю листів ресори. Однак, до недоліків ресор можна віднести наступне: більша маса і необхідність значного компонування в порівнянні з пружинами. Крім цього, ресори не забезпечують необхідної плавності ходу, яка потрібна сучасним автомобілям (Рис. 1.2.). [2]



Рис.1.1. Листові ресори перед встановленням [3]



Рис.1.2. Листові ресори на транспорті [4]

Перше використання амортизаторів на автомобільній техніці було показано у 1903 році компанією Mors, що представила перші спортивні авто, оснащені примітивними амортизаторами (Рис. 1.3.). Їх конструкція виявилася простотою у виробництві і дуже дешевою, але ресурс був у край низький. [1]

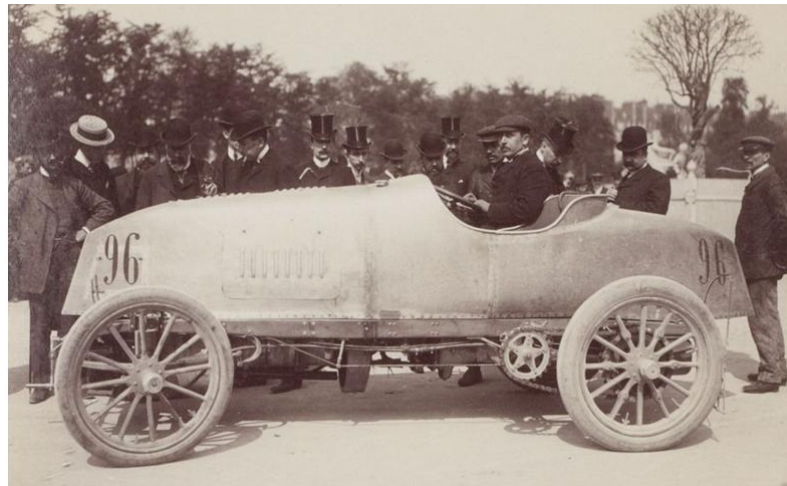


Рис. 1.3. Mors 110HP Dauphin [5]

1.1.1 Підвіска. Призначення та принцип роботи

Одним з найбільш важливих елементів автомобіля є його підвіска, оскільки від якості її виконання залежить не тільки надійність і довговічність автомобіля, але і збереження вантажу, що перевозиться, і комфортабельність перевезення пасажирів. За статистикою, в Україні близько 30% всіх вантажоперевезень та 70% пасажиро перевезень здійснюється за допомогою автомобільного транспорту.

Підвіска - сукупність пристроїв, що забезпечують пружний зв'язок між підресореною та непідресореною масами (Рис. 1.4.). Вона зменшує динамічні навантаження, що діють на підресорену масу. Підвіска складається з багатьох елементів конструкції, з яких є три основні: пружний, направляючий та демпфуючий. У деяких випадках для зменшення крену у підвіску додається стабілізуючий пристрій. Конструкція підвіски повинна: забезпечувати потрібну плавність ходу; мати кінематичні характеристики, що відповідають вимогам стійкості та керованості автомобіля. [2]

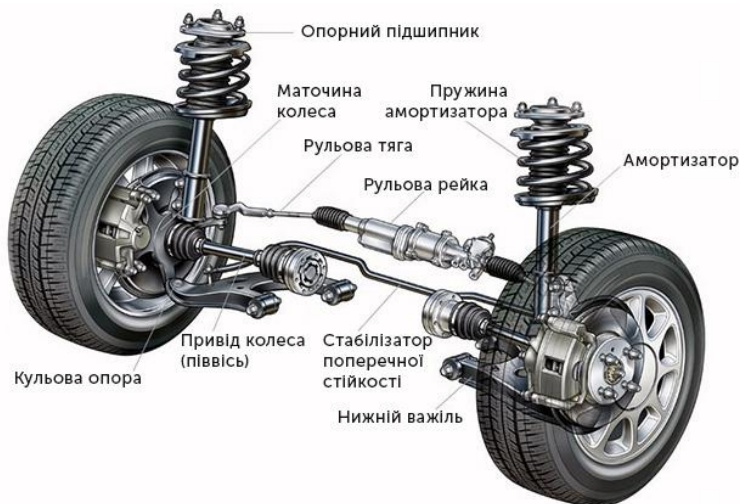


Рис. 1.4. Приклад автомобільної підвіски [2]

Автомобільні амортизатори – те, без чого неможливо уявити сучасний транспортний засіб. Адже саме цей, звичний всім компонент ходової частини машини і робить їзду комфортною. При відсутності амортизаторів сучасний автомобіль теоретично пересуватися може, але в реальності їздити на ньому буде неможливо через вертикальної розкачки. [1]

Справа в тому, що вся вага машини розподілена між гвинтовими пружинами (пневмобалони, ресорами), саме тому автомобіль постійно розгойдується від тих імпульсів, які виходять від нерівностей дорожнього покриття. Без амортизаторів кузов буде розгойдуватися доти, поки повністю не витратиться енергія імпульсу.

З цієї причини пружини постійно знаходяться в затиснутому положенні, ступінь якого залежить від жорсткості самих пружин і від ваги автомобіля. Завдяки цьому, власне, і можливий постійний контакт коліс з дорогою, причому при будь-якій конфігурації дорожнього полотна, так як пружини дозволяють їм переміщатися по вертикалі.

Але при відсутності амортизаторів зайві коливання гвинтових пружин привели б до погіршення керованості через те, що пружини просто відривали б колеса від землі при проїзді нерівностей. [1]

1.1.2 Світові виробники – взірць досконалості

На світовому ринку працює багато компаній, котрі спеціалізуються на виробництві високоякісних стійок амортизаторів. Розглянемо найпопулярніших з них.

Виробник та місце походження	Особливості
KYB Corporation (Японія)	Використання азоту та гідравліки для підвищення ефективності.
Monroe (США)	Іноваційні технології поглинання вібрацій.
Bilstein (Німеччина)	Газові амортизатори високого тиску.
Sachs (Німеччина)	Надійність у важких умовах експлуатації.
TRW (США/Німеччина)	Інтеграція з різними системами підвіски
KONI (Нідерланди)	Висока якість амортизаторів регульованої жорсткості

Таблиця 1.1. Світові виробники амортизаторів

Світовий ринок стійок амортизаторів демонструє високу конкуренцію між провідними виробниками. Інновації, якість та адаптація до потреб споживачів є ключовими факторами успіху в цій галузі. Завдяки широкому вибору кожен автовласник може знайти амортизатори, які забезпечать максимальний комфорт і безпеку.

1.2 Різновид автомобільних амортизаторів за принципом роботи

Конструкція амортизатора і принцип його роботи залежить від його типу. За принципом дії розрізняють три основні види: гідравлічні, газомасляні та газові амортизатори.

Найпоширенішими у сучасних транспортних засобах є гідравлічні та газомасляні амортизатори (Рис.1.5.). У нових автомобілях преміум сегменту дедалі частіше застосовуються адаптивні амортизатори, у яких потік робочої рідини регулюється електроклапаном, або струмом.



Рис. 1.5. Автомобільні амортизатори [6]

З огляду на постійний розвиток технологій, виробники вдосконалюють конструкції класичних типів амортизаторів, створюючи нові модифікації. В наступних розділах розглянуто найпоширеніші різновиди (від простих до посилених версій) амортизаторів, що дозволить зрозуміти їх принципові відмінності.

1.2.1 Однотрубні амортизатори



Рис. 1.6. Однотрубний амортизатор [7]

Один із найпоширеніших типів амортизаторів, що використовуються в підвісках, називається однотрубним або монотрубним (Рис. 1.6.). Уперше він був розроблений 1954 року компанією **Bilstein**. Монотрубний амортизатор має один поршень. З одного боку поршня знаходиться гідравлічне масло. З іншого боку - газ під тиском (зазвичай азот). Гідравлічна рідина уповільнює рух шини і колеса вгору і вниз, гасить сили від ударів і розсіює теплову енергію (Рис. 1.7.). Газ під тиском також допомагає гасити та поглинати удари. [7]

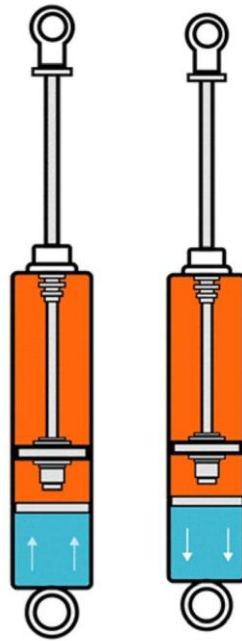


Рис. 1.7. Приклад роботи однотрубного амортизатора [7]

1.2.2 Двотрубні амортизатори

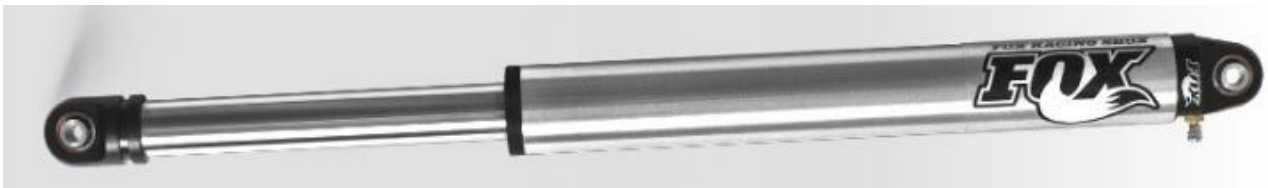


Рис. 1.8. Двотрубний амортизатор [7]

На відміну від першого виду, двотрубний амортизатор - це менш продуктивний варіант однотрубного амортизатора, який частіше зустрічається в легкових і вантажних автомобілях, не орієнтованих на високі експлуатаційні характеристики (Рис. 1.8.). Двотрубні амортизатори коштують дешевше за однотрубні, але двотрубна конструкція дає змогу газу змішуватися з гідравлічною рідиною, створюючи в мастилі бульбашки повітря, звані кавітацією, які можуть спричинити більш вільний рух поршня (Рис. 1.9.). Це робить амортизатор практично безкорисним, і це явище називається "затуханням амортизатора". [7]

Але все таки їх надійність і продуктивність поступається іншим типам амортизаторів, і компанії, що виробляють підвіски для позашляховиків,

використовують посилені однострубні амортизатори або bypass амортизатори, які життєво важливі для позашляхових характеристик, щоб шини притискалися до землі, а підвіска була під вашим контролем.

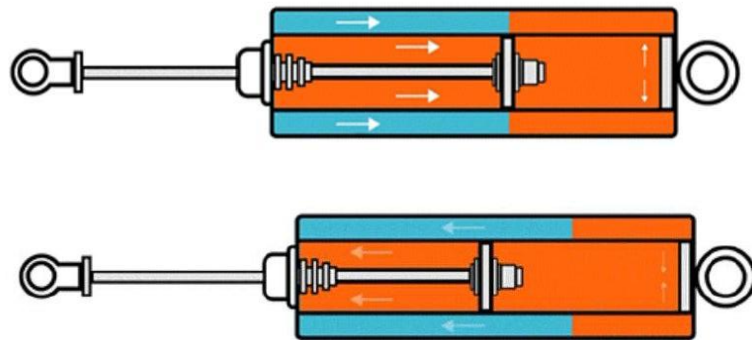


Рис. 1.9. Приклад роботи двотрубного амортизатора [7]

1.2.3 Регульовані амортизатори з виносним резервуаром



Рис. 1.10. Регульований амортизатор з виносним резервуаром [7]

Модернізація амортизаторів часто охоплює встановлення регульованих однострубних амортизаторів, які мають зовнішній резервуар, з'єднаний із корпусом амортизатора гумовим шлангом (Рис. 1.10.). За допомогою диска амортизатора можна регулювати положення поршня, забезпечуючи більш плавну їзду по дорогах або покращуючи позашляхові характеристики. [7]

Розмір корпусу амортизатора і матеріал з якого він виготовлений також важливі. Твердий анодований алюміній краще відводить тепло, ніж сталь, і менше схильний до іржі. Як було сказано раніше, ключовою перевагою є зовнішній резервуар. Він дає змогу амортизатору зберігати більше оливи для кращого поглинання та розсіювання тепла. Додатковою перевагою є більший корпус амортизатора, що вміщує більше рідини і має велику площу поверхні для кращого

розсіювання тепла (Рис. 1.11.). Даний амортизатор також може мати більший шток поршня, який з меншою ймовірністю зламається в екстремальних умовах. [7]



Рис. 1.11. Приклад роботи регульованого амортизатора з виносним резервуаром [7]

1.2.4 Койловери



Рис. 1.12. Койловери [7]

Існує також так званий амортизатор із пружиною, койловер (Рис. 1.12.). Корпус такого амортизатора складається з точок кріплення для спіральної пружини, щоб отримати єдиний амортизатор і пружину, тобто 2 в 1. Це дає змогу зробити амортизатор компактнішим, коли простір може бути проблемою, а також дає більше можливостей для налаштування переднатягу пружин (Рис. 1.13.).

Амортизатори типу койловер пропонуються в різних варіантах ходу ланок з варіантами кріплення кручених пружин з налаштуванням. Самі амортизатори також зазвичай являють собою монотрубні амортизатори і можуть мати виносний резервуар. [7]

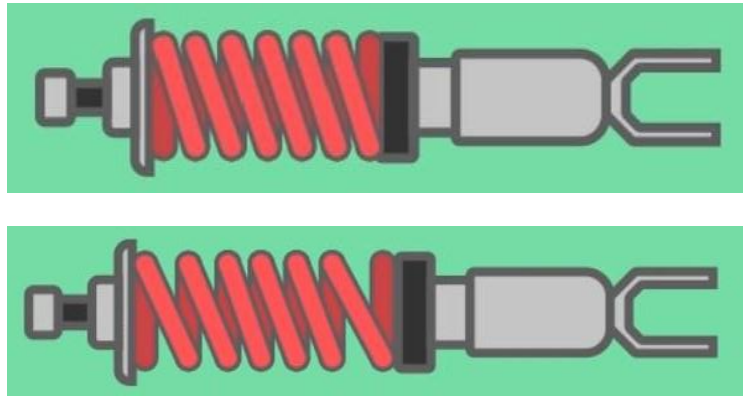


Рис. 1.13. Приклад роботи амортизатора типу койловер [7]

1.2.5 Bypass (Обвідні) амортизатори



Рис. 1.14. Обвідний амортизатор [7]

Одним з найбільш ефективних типів амортизаторів є обвідний (Bypass) амортизатор (Рис.1.14.). Цей тип спеціально розроблено для високопродуктивних позашляховиків завдяки своїй винятковій здатності розсіювати тепло (Рис. 1.15.).

Обвідні амортизатори часто є основними амортизаторами для трофейних вантажівок, ралійних машин та інших автомобілів, призначених для швидкої їзди пересіченою місцевістю. [7]

Вони також пропонують величезну кількість регулювань, даючи вам змогу домогтися саме тієї їзди і продуктивності, яку ви хочете для свого автомобіля.

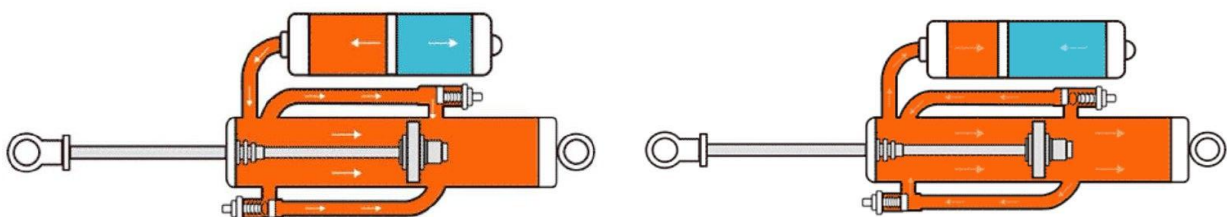


Рис. 1.15. Приклад роботи обвідного амортизатора [7]

Узагальнена порівняльна таблиця перелічених вище амортизаторів:

Конструкція амортизатора	Переваги	Недоліки
Однотрубний	<ul style="list-style-type: none"> • Висока ефективність охолодження • Стабільна робота при навантаженнях • Швидка реакція • Можливість монтажу в будь-якому положенні 	<ul style="list-style-type: none"> • Вища ціна • Жорсткіший хід • Чутливість до механічних пошкоджень
Двотрубний	<ul style="list-style-type: none"> • М'який комфортний хід • Нижча вартість • Краще захищений корпус 	<ul style="list-style-type: none"> • Гірше охолодження • Може спінюватися рідина (кавітація) • Менш точне демпфування
Регульований з виносним резервуаром	<ul style="list-style-type: none"> • Стабільність при високих температурах • Великий об'єм рідини → краща витривалість • Можливість тонкого регулювання 	<ul style="list-style-type: none"> • Дуже висока вартість • Складність конструкції та обслуговування
Койловер	<ul style="list-style-type: none"> • Поєднання пружини та амортизатора • Регулювання висоти та жорсткості • Компактність 	<ul style="list-style-type: none"> • Висока ціна • Складність налаштування • Менший ресурс у жорстких умовах
Bypass	<ul style="list-style-type: none"> • Максимальний контроль демпфування 	<ul style="list-style-type: none"> • Дуже дорога система • Великий розмір і вага

	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість окремого регулювання стиснення/відбою • Ідеальні для off-road і спорту 	<ul style="list-style-type: none"> • Вимагає регулярного техобслуговування
--	--	---

Таблиця 1.2. Порівняльна таблиця різних типів амортизаторів

1.3 Можливі несправності стійок амортизаторів та їх причини

Будь який компонент такої складної системи як підвіска автомобіля має свій ресурс, і амортизатор не є виключенням. Саме тому дуже важливо вчасно виявити проблему, задля власної безпеки та уникнення дороговартісного ремонту в майбутньому. Нижче наведено можливі несправності стійок амортизаторів та їх причини (Табл. 1.2.).

Ознаки технічного стану	Причини несправності
Стійка амортизатора негерметична, протікання рідини	<ol style="list-style-type: none"> 1. Послаблене затягування гайки резервуара віброізолятора. 2. Пошкоджено або зношене гумову манжету (сальник) штока або гумове кільце резервуара. 3. Пошкоджено або зношене робочу поверхню штока. 4. Негерметичні зварні шви резервуару.
Шток стійки амортизатора має (без зусилля) переміщення на початку ходу стиснення або відбою (розтягування), що не усувається прокачуванням	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зменшено кількість рідини у стійці гідравлічного амортизатора. 2. Порушено працездатність впускного або перепускного клапана.

<p>Стійка амортизатора не розвиває достатнього опору при ході стиснення</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Негерметичність клапана стиснення через засмічення. 2. Зношування робочої поверхні. 3. Зношування, деформація або руйнування (пошкодження) деталей клапана стиснення або впускного клапана.
<p>Стійка амортизатора не розвиває достатнього опору при ході відбою</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Негерметичний клапан відбою через засмічення або пошкодження його деталей. 2. Зменшилося зусилля пружини клапана відбою («осіла»). 3. Порушено працездатність перепускного клапана. 4. Зношування деталей, що призводить до збільшеного перетікання рідини по зазорах або глибоких ризиків зношеного поршня та його кільця, циліндра, штока та напрямної.
<p>Стійка амортизатора розвиває надмірний опір наприкінці ходу стиснення.</p>	<p>Надмірна кількість рідини у стійці гідравлічного амортизатора</p>
<p>У стійці амортизатора при різкому переміщенні штока спостерігаються стуки</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Послаблене затягування гайки резервуара або кріплення поршня. 2. Недостатня кількість рідини у стійці гідравлічного амортизатора.

У стійці амортизатора спостерігаються заїдання при переміщенні штока	1. Вигин штока. 2. Пошкодження робочого циліндра стійки.
--	---

Таблиця 1.3. Ознаки технічного стану та причини несправностей амортизаторів [2]

1.4 Діагностика та випробовування підвіски автомобіля

Амортизатори впливають на стійкість та безпеку руху, тягові якості, збереження механізмів трансмісії та деталей ходової частини автомобіля.

Загалом, технічний стан підвіски можна оцінити за величиною згасання коливань. Тертя в гідравлічних амортизаторах пропорційне швидкості відносних переміщень кузова та коліс. Згасання коливань у шинах також можна вважати пропорційним швидкості коливань. У шинах легкових автомобілів втрати на внутрішнє тертя малі і ними можна знехтувати. У шинах вантажних автомобілів втрати на тертя можуть досягати значної величини і особливо при зниженні тиску повітря в шинах.

Основними методами визначення стану амортизаторів є:

1. Візуальний огляд;
2. Розгойдування автомобіля;
3. Перевірка ступеня нагріву;
4. Оцінка поведінки автомобіля у русі;
5. Стендова діагностика. [8]

Розберемо кожен з цих методів більш детально.

1.4.1 Візуальний огляд

Візуальний огляд передбачає перевірку:

- наявності поломок та тріщин пружин, опорної чашки, штанг та стійок стабілізатора поперечної стійкості, листів, кронштейнів та сережок ресор;
- люфт амортизаторів та ресор (у разі потреби кузов вивіщується);
- прямолінійності стійок стабілізатора поперечної стійкості;

- виявлення на поверхні корпусу амортизатора підтікань масла як незаперечного доказу втрати герметичності та часткового або повного виходу його з ладу. [8]

1.4.2 Розгойдування автомобіля

Цей метод передбачає розгойдування кузова автомобіля, що стоїть, і оцінює стану амортизаторів за кількістю коливальних рухів кузова до моменту повної зупинки.

Існує два способи проведення цього тесту:

У першому випадку після одноразового натискання на автомобіль спостерігають характер переміщення кузова. Якщо він піднімається повільно, значить, амортизатори працюють, якщо він «вистрілює» вгору без будь-яких затримок - не працюють.

Другий варіант цього тесту передбачає інтенсивне розгойдування автомобіля в кілька прийомів. Якщо амортизатори справні, після припинення розгойдування кузов стає нерухомим вже на першому або другому (залежно від інтенсивності розгойдування) «вільному» хитанні. Даний метод дозволяє визначити лише два «крайні» стани амортизатора: або амортизатор повністю не виконує своє призначення (зламана провушина або шток, зносився клапанний вузол, відсутня рідина в робочій камері), або амортизатор «підklinює» чи «заклинило» повністю.

Спроби визначити ступінь зношування амортизатора в цьому випадку не мають сенсу, оскільки зусилля, що розвивається гідравлічним, газопневматичним та газовим амортизатором, залежить від швидкості руху штока. Крім того, у різних автомобілях конструктивно закладено різні параметри жорсткості підвіски. Тому визначити ступінь зносу амортизатора у такий спосіб неможливо. [8]

1.4.3 Перевірка ступеня нагріву

Принцип дії гідравлічних амортизаторів заснований на перетворенні енергії коливань на теплову. З цього випливає, що чим тепліший амортизатор, тим ефективніше він виконує свою функцію.

Якщо на загальному фоні сильно нагрівається лише один амортизатор, значить, решта повністю або частково втратила здатність гасити коливання.

Працездатність амортизаторів за рівнем нагрівання перевіряють дуже рідко. Пояснюється це незручністю проведення такої перевірки, оскільки амортизатори, зазвичай, перебувають у важкодоступних місцях. [8]

1.4.4 Поведінка автомобіля в русі

При несправних амортизаторах вже на швидкості 80-90 км/год автомобіль стає погано керованим, особливо на нерівній дорозі, з'являється поздовжнє і поперечне розгойдування, знижується курсова стійкість.

Розгойдування має слабо загасаючий характер і при чергових нерівностях її амплітуда збільшується. При русі кривою автомобіль може погано або з великим запізненням реагувати на поворот керма. Збільшується також зупинний шлях при гальмуванні. За рівнем комфорту визначити несправність амортизаторів не завжди вдається. Тільки якщо автомобіль оснащений спортивними газовими амортизаторами, несправність помітна завдяки зникненню характерної жорсткості. [8]

1.4.5 Стендова діагностика

Серед вище перелічених, стендовий спосіб визначення стану амортизаторів є найточнішим.

Існує два методи цієї перевірки:

- 1) на автомобілі, встановивши колеса на робочі майданчики вібраційного стенду;
- 2) знявши амортизатор та перевіривши величину демпфуючого зусилля на спеціальному вимірювальному стенді.

Найбільш поширеними методами перевірки стану амортизаторів, що використовуються на станціях технічного обслуговування, є:

- EUSAMA (метод вимірювання зчеплення з дорогою);
- резонансний метод вимірювання амплітуди коливань BOGE/MAHA.

Метод стендової діагностики EUSAMA полягає у використанні вібраційних коливань вимірювальної пластини із заданою частотою (рис.1.16.).



Рис. 1.16. Зображення функціонуючого стенду EUSAMA [2]

Оригінальна конструкція даного стенду включає в себе електродвигун і датчики навантаження на випробувальних пластинах. Особливістю є робота з постійною амплітудою 6 мм.

В результаті тестується вся підвіска повністю, а стенд показує алгоритмічно обчислений коефіцієнт зчеплення з дорогою коліс автомобіля. Наведений метод у своїх стендах використовують такі фірми, як: BOSCH, HOFMANN, Muller Bern, SUN. [8]

Більш коректним методом стендової діагностики є резонансний метод вимірювання амплітуди коливань BOGE/МАНА (Рис. 1.17.), що полягає в тому, що на кожній осі автомобіля по черзі відбувається збудження коливань вимірювальної плати з частотою 16 Гц.

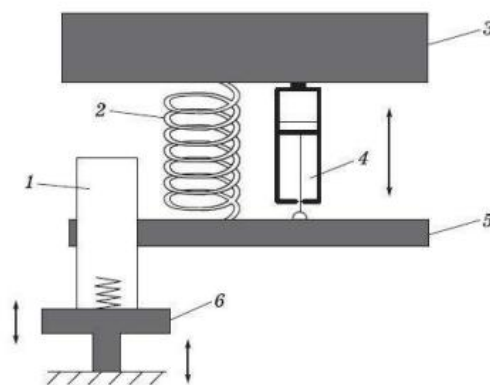


Рис. 1.17. Схема методу діагностування амортизаторів за амплітудними коливаннями (BOGE/МАНА) [2]

1 - колесо автомобіля; 2 - пружина; 3 – кузов автомобіля; 4 - амортизатор; 5 - вісь автомобіля; 6 - вимірювальна пластина.

Частота коливань збільшується до виникнення резонансу підвіски, у якому досягається максимальний хід амортизаторів. Чим більших значень досягає амплітуда в момент резонансу, тим гірше амортизатор гасить коливання. Потім примусове збудження коливань припиняється і проводиться аналіз картини загасаючих коливань. Порівнюючи результати вимірювань з нормативними значеннями, метод дозволяє робити висновок про ефективність роботи амортизатора. [8]

Таким чином, з проведеного аналізу методів діагностування підвіски автомобіля BOGE / МАНА та EUSAMA можна зробити наступні висновки. Метод EUSAMA базується на вимірюванні здатності колеса підтримувати контакт із дорогою в момент резонансу. При використанні методу BOGE/МАНА вимірюється амплітуда коливання опорних платформ в момент резонансу. [8]

Описані методи діагностики отримали широке поширення у світі, однак для визначення точних робочих характеристик амортизатора необхідно застосовувати стендові методи випробувань із використанням амортизатора знятого з автомобіля. Перевагою таких випробувань є можливість отримання об'єктивних характеристик демпфування при заданій амплітуді та частоті коливань, що дозволяє досліджувати саме амортизатор, а не всю підвіску в цілому. Такі методи відповідають чинним нормативним вимогам України та міжнародним стандартам і повинні проводитися згідно з установленими технічними регламентами.

1.5 Нормативні документи що стосуються амортизаторів транспортних засобів

Контроль за амортизаторами транспортних засобів регулюється європейськими стандартами та директивами, які стосуються технічного огляду і придатності транспортних засобів до експлуатації. Зокрема, у цій сфері діють такі документи:

1. ГОСТ 34339-2017.

Ключовим нормативним документом, за яким в Україні здійснюється перевірка технічного стану амортизаторів є наведений ГОСТ, що встановлює технічні

вимоги до амортизаторів, а також методи й обсяги стендових випробувань амортизаторів транспортних засобів.

2. ДСТУ 3649:2010 “Колісні транспортні засоби. Вимоги до технічного стану та методи контролю”.

Цей стандарт встановлює вимоги до технічного стану транспортних засобів, включно з перевіркою роботи амортизаторів.

3. Закон України “Про дорожній рух” (стаття 35).

Цей закон встановлює вимоги до забезпечення безпеки транспортних засобів, їх експлуатації та технічного огляду. Технічний стан амортизаторів є частиною перевірки системи підвіски.

4. Постанова Кабінету Міністрів України № 137 від 30 січня 2012 року.

Цією постановою затверджені правила проведення обов’язкового технічного контролю транспортних засобів. У переліку пунктів, які перевіряються, згадується стан підвіски, що охоплює й амортизатори.

1.6 Технічні вимоги, параметри та методи випробовування амортизаторів на стенді відповідно до українського законодавства

1) Загальні технічні вимоги [9]

1.1) Основні споживчі властивості амортизатора оцінюють за робочими діаграмами.

1.2) Робочі діаграми амортизаторів повинні відповідати наведеним в робочих кресленнях, технічних умовах на конкретні амортизатори та іншій технічній документації. При максимальних швидкостях поршня від 0,20 до 0,52 м/с (клапанний режим роботи) граничні відхилення сил опору амортизаторів від їх номінальних значень не повинні виходити за межі $\pm 15\%$ при відбої та $\pm 20\%$ - при стисненні. При максимальних швидкостях поршня від 0,08 до 0,20 м/с (дросельний режим роботи) граничні відхилення сил опору амортизаторів від їх

номінальних значень не повинні виходити за межі $\pm 30\%$ при відбої та $\pm 50\%$ - при стисненні.

1.3) Сила опору амортизатора за умови підвищення його температури від 20 до 80° С не повинна зменшуватись більш, ніж на 30 % від первісного значення як при відбої, так і при стисненні.

1.4) Амортизатори повинні бути герметичними. Протікання робочої рідини не допускається за виключенням можливого появи мастильної плівки на робочій поверхні штоку після прокачування.

1.5) Переміщення рухомих частин амортизатора повинно бути плавним без заїдань при будь-якому нахилі відносно резервуара по всій довжині.

1.6) На поверхні амортизатора не припускається наявність нефарбованих зон (крім тих, що установлені конструкторською документацією), слідів амортизаційної рідини, механічних пошкоджень, а також не припускаються вигини штока, пошкодження його робочої поверхні та приєднувальних деталей, деформація резервуарів, провусин, кожухів.

1.7) Лакофарбове покриття повинно бути стійким до впливу рідинних палив і вологого середовища в умовах підвищеної температури, а також мати достатнє зчеплення (адгезію) з металевими поверхнями.

2) Методи контролю та випробування [9]

2.1) Випробування лакофарбового покриття

Пофарбовану зовнішню поверхню амортизатора обливають 5 см³ етильованого бензину. Встановлюють амортизатор під кутом 45° до вертикалі і витримують до повного випаровування бензину. При завершенні випробувань фарба не повинна мати шорсткості, бульок, напливів.

Амортизатор слід витримувати у камері за температури від 38 до 42° С і відносній вологості повітря 90 % протягом 96 годин без перерви, у вертикальному

положенні. При завершенні випробувань фарба не повинна мати шорсткості, бульок, напливів.

2.2) Випробування на плавність роботи

Плавність переміщення рухомих частин слід перевіряти при постійній швидкості в межах 0,005 - 0,01 м/с на довжині не менше 80 % від максимального ходу амортизатора. Рухомі частини амортизатора, який встановлено вертикально, повинні переміщатись плавно без заїдань при любых нахилах відносно резервуара по всій його довжині. При цьому вимірюються зусилля, які необхідні для зсуву та переміщенню рухомих частин. [9]

2.3) Випробування на герметичність

Герметичність амортизаторів визначають прокачуванням на стенді з подальшим витримуванням у нерухомому стані. При цьому амортизатори повинні знаходитись в горизонтальному стані, а штоки двотрубних амортизаторів без надлишкового тиску переміщенні до крайньої точки. Після витримування амортизаторів їхні нижні опірні зовнішні поверхні резервуара та кожуха повинні бути сухими без явних слідів рідини. Витримка амортизатора в горизонтальному стані проводиться протягом 12 годин (не менше)

3) Контроль характеристик амортизатора [9]

Положення 1: запис робочих діаграм при роботі амортизаторів з клапанами відбою та стиснення, що відкриваються, належить проводити в діапазоні максимальних швидкостей поршня від 0,20 до 1,00 м/с; з клапанами, які закриті, - в межах від 0,08 до 0,20 м/с. при цьому величина ходу поршня повинна бути не менше 80 % його повного ходу (з округленням до цілих десятків міліметрів), але не більше, ніж 100 мм.

Обов'язковим є дотримання температурного режиму. Температура амортизатора перед випробуваннями повинна бути в межах від 15 до 30° С. З початку випробувань і у випадку наявності перерв запис робочих діаграм треба проводити після виконання прокачування (не менше 4 циклів).

Отримання робочих діаграм. Робочу характеристику амортизатора будують за робочими діаграмами на основі ходів поршня та частот коливання, що забезпечують максимальні швидкості поршня в межах від 0,08 до 1,00 м/с. В цьому діапазоні максимальних швидкостей поршня має бути записано не менш, ніж десять робочих діаграм у відповідності з **Положенням 1**. За записаними робочими діаграмами визначають максимальне значення сили опору відбою та стиснення, а за розміром ходу і значенням частот коливання поршня - максимальні швидкості останнього. За цими даними будують робочу характеристику.

Температура при дослідженні. Температурну характеристику будують за робочими діаграмами, що записані за **Положенням 1** при наступних температурах амортизатора: мінус 50, мінус 30, мінус 15, 0, 20, 30, 50, 80, 100° С.

Амортизатор перед початком випробувань охолоджують до температури мінус 60° С, далі при роботі поступово доводять його температуру до вказаних значень і записують робочі діаграми при постійній максимальній швидкості.

За отриманим максимальним значенням сили опору відбою та стиснення будують температурну характеристику. [9]

Висновок до 1-го розділу:

У даному розділі було проведено комплексний аналітичний огляд, що стосується об'єкта дослідження – автомобільного амортизатора.

В ході роботи було систематизовано ключову інформацію:

1. Історичний екскурс та аналіз провідних виробників, що дозволяє відстежити еволюцію конструкцій підвіски автомобіля.
2. Класифікація найпоширеніших типів амортизаторів з виявленням їх переваг та недоліків показала що не існує універсального рішення, а кожна конструкція є унікальною і підходить для вирішення конкретних задач автомобіля.
3. Аналіз ознак несправностей підтвердив що своєчасна та точна діагностика є в край важливою для безпечної експлуатації транспортного засобу.

Ключовим етапом роботи в даному розділі є огляд існуючих методів діагностики. Було встановлено, що більшість методів експрес-діагностики безпосередньо на автомобілі мають суттєві обмеження. Вони дозволяють отримати лише загальну оцінку, але не надають точних кількісних даних, таких як швидкісна та амплітудні характеристики, оскільки на результат впливає вся підвіска автомобіля (пружини, шини, важелі).

Таким чином, проведений аналіз обґрунтовує висновок, що для глибокого наукового дослідження, отримання достовірних робочих характеристик та їх порівняння з еталонними, єдиним об'єктивним методом здатним реалізувати необхідні умови випробувань є стендова діагностика з демонтажем амортизатора.

РОЗДІЛ 2. Огляд стенду стороннього виробника та формулювання власного технічного завдання

Для розуміння технічного рішення існуючих рішень, в розділі буде розглянуто стенд аналог та принцип його роботи.

2.1 метод діагностики за допомогою стенду MS201

Приклад методу діагностики тільки досліджувального об'єкту, а саме стійки амортизатора, є найбільшим точним серед вище розглянутих. Він полягає у знятті амортизатора та перевірці величини демпфуючого зусилля на спеціальному вимірювальному стенді.

Як було зазначено вище, першочергові випробування та сертифікація амортизаторів здійснюється саме на такого роду стендах. Розглянемо цей метод випробувань більш детально на прикладі існуючого стенду MS201 від української компанії MSG Equipment.

Стенд MS201 дозволяє оцінити технічний стан амортизаторів усіх видів легкових автомобілів та визначити необхідність їх ремонту, а також перевірити відповідність актуальних робочих характеристик амортизаторів до тих що заявлені виробником. [10]

Основними сценаріями використання стенду є:

- визначення необхідності ремонту/заміни амортизатора;
- оцінки якості відремонтованого амортизатора;
- перевірки відповідності робочих характеристик амортизаторів технічним вимогам;
- проведення тривалих випробувань. Діагностування амортизаторів на стенді може проводитися як в автоматичному, так і в ручному режимах.

2.1.1 Конструктивні особливості MS201

Основною технічною особливістю стенда є діагностика всіх типів амортизаторів легкових автомобілів з різними типами кріплень і силою опору до 1000 кг. Конструктивну складову випробувальної зони наведено на Рис. 2.1..

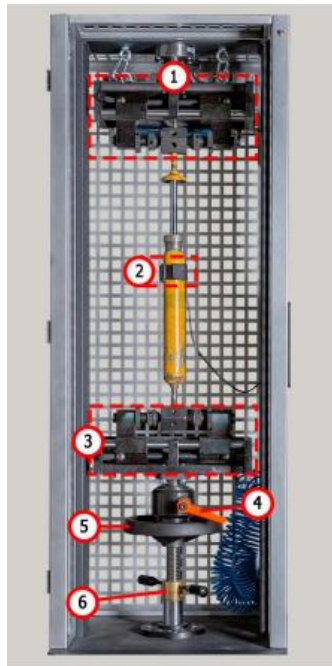


Рис. 2.1. Випробувальна зона стенда MS201 [10]

Випробувальна зона містить наступні компоненти:

- 1) Затискач пневматичний верхній.
- 2) Датчик температури та хомут для його кріплення до амортизатора.
- 3) Затискач пневматичний нижній.
- 4) Стопор нижнього затискача.
- 5) Колесо регулювання висоти нижнього затискача.
- 6) Стопор регулювання висоти нижнього затискача.

Зміна ходу штока амортизатора, що діагностується, і частина робіт з обслуговування стенда здійснюється в механічному відділенні (Рис. 2.2.), яке включає:

- 1 – Датчик переміщення.
- 2 – Шток кривошипа.
- 3 – Механізм зміни ходу штовхача.
- 4 – Підшипник кривошипа. [10]

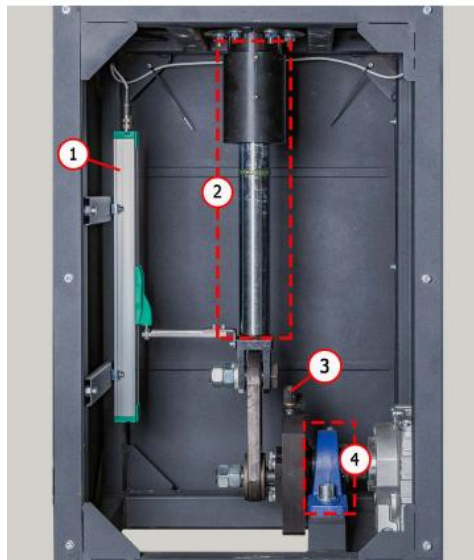


Рис. 2.2. Механічне відділення стенда [10]

2.1.2 Принцип роботи і відображення робочої діаграми амортизатора

Визначення технічного стану амортизаторів легкових автомобілів на стенді відбувається завдяки зняттю робочої діаграми (залежність сили опору від положення поршня) і робочої характеристики (залежність опору амортизатора від швидкості переміщення поршня).

Робоча діаграма амортизатора дає змогу виявити наявність відхилень у його роботі. Запис робочої діаграми здійснюється під час ходу поршня в діапазоні від 0 до 100 мм, при чому температура амортизатора перед випробуваннями має бути в межах від 15 до 30 °С. Перед записом робочої діаграми слід провести прокачування амортизатора не менше чотирьох циклів на частоті коливань від 10 до 30 хв⁻¹. [10]

Для найбільш об'єктивної оцінки стану амортизатора, перевірка виконується із закритими клапанами і з клапанами відбою і стиснення, що відкриваються.

Запис робочої діаграми із закритими клапанами проводять за максимальної швидкості поршня в межах від 0,08 до 0,20 м/с, що відповідає частотам коливань:

- від 31 до 95 хв⁻¹ при ході поршня 50 мм;
- від 20 до 47 хв⁻¹ при ході поршня 100 мм.

Запис робочої діаграми з клапанами відбою і стиснення, що відкриваються, проводять за максимальної швидкості поршня в межах від 0,25 до 0.52 м/с, що відповідає частотам коливань:

- від 95 до 180 хв⁻¹ при ході поршня 50 мм;
- від 47 до 98 хв⁻¹ при ході поршня 100 мм.

Під час запису робочої діаграми необхідно звернути увагу на звуки, створювані амортизатором. Стуки, скрипи та інші шуми не допускаються. Допускається "шипіння", зумовлене витіканням рідини через клапани.

Під час запису робочої діаграми не допускаються підтікання рідини через ущільнення штока (крім неминучого змащування поверхонь штока, що труться). Наявність підтікання рідини свідчить про несправність амортизатора і на це потрібно вчасно звертати увагу.

Справним вважається амортизатор, у якого відхилення сил опору від значень еталонного зразка (нового амортизатора) перебувають у межах $\pm 15\%$ під час відбою і $\pm 20\%$ під час стиснення. При цьому характер діаграми має бути аналогічним (Рис. 2.3.). [10]

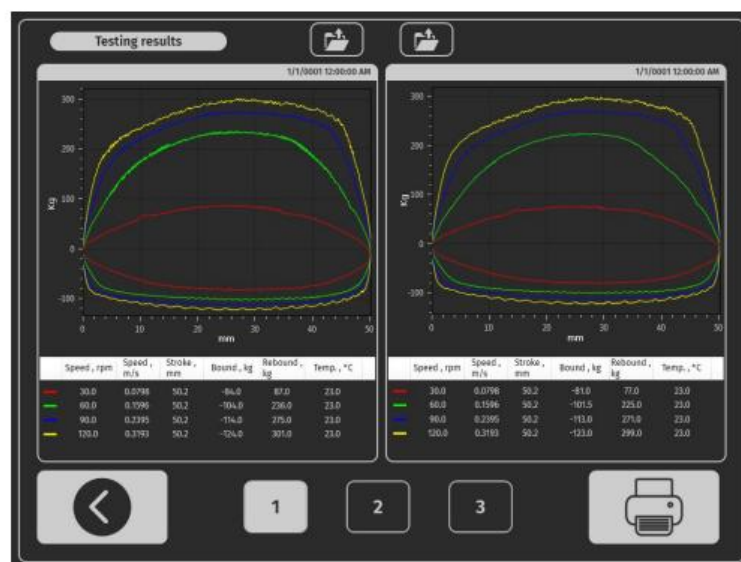


Рис. 2.3. Екран порівняння результатів діагностики з MS201 [10]

Наведений метод зняття робочих характеристик амортизатора при заданих частотах та амплітудах коливань на стенді MS201 є аналогічним до стендів виробників-конкурентів, оскільки на всіх стендах результат досліджень має відповідати чинному законодавству України.

2.2 Аналіз стенду на базі КШ ім. Ігоря Сікорського

Розробка стенду для дослідження робочих параметрів амортизатора, які було наведено в попередніх розділах, проводилась на основі знань отриманих з аналізу принципу роботи діагностичних стендів виробників-конкурентів. Розглянутий в минулих розділах стенд MS201 від компанії MSG Equipment є сучасним рішенням, принцип роботи якого не відрізняється від стенду для випробовування амортизаторів на базі КШ ім. Ігоря Сікорського, що взятий за основу магістерської дисертації.

Початкове технічне завдання розробників було спрямоване на створення універсальної установки. Ключова мета полягала в тому, щоб забезпечити можливість проведення різних видів випробувань гасників коливань, моделювати широкий спектр режимів їхньої роботи, а також імітувати реальні умови експлуатації в одній установці.

Випробувальний стенд є комплексною системою, що включає в себе наступні компоненти:

1. Стенд з траверсами та інтегрованим гідроприводом.
2. Маслостанція (служить для живлення приводу).
3. Генератор сигналів низької частоти ГЗ-110 (система управління).
4. Осцилограф (виведення показів з потенціометра).
5. Набір датчиків (тензометр, потенціометр, датчик температури).

Основою конструкції є рама з рухомими траверсами. Робочі вузли що вимагають регулювання, скріплені між собою болтовими з'єднаннями, тоді як вузли де потрібне жорстке з'єднання, виконані зварними. Кінематична схема стенду реалізована наступним чином: корпус амортизатора за допомогою металевого пальця кріпиться до жорстко закріпленого кріплення на стенді що одночасно скріплений з тензометричною скобою ДОСМ-3-1, а шток амортизатора кріпиться також за допомогою металевого пальця, але вже до траверсів що з'єднані з виконавчим приводом (Рис. 2.4.).



Рис. 2.4. Стенд на базі КПП ім. Ігоря Сікорського

Компонентом, що створює коливання є бустер літака РМ-120, який використовується в якості гідравлічного приводу. Конструктивно, РМ-120 має значний запас міцності, що забезпечує надійну та безперебійну роботу стенду.

2.2.1 Технічні можливості стенду

Розроблений стенд дозволяє проводити стандартні випробування. Також, він дає змогу виявити конкретну несправність амортизатора.

На стенді передбачена можливість:

- контролю за зміною робочих зусиль амортизатора;
- контролю температури нагріву амортизаційної рідини;
- контролю переміщення;
- регулювання частоти та амплітуди у широкому діапазоні;
- установки амортизаторів з різними діаметрами кріпильних отворів.

2.2.2 Гідравлічне обладнання, використане у стенді

1) Гідравлічна рідина

Гідравлічна рідина є невід'ємною складовою гідросистем та відіграє ключову роль у функціонуванні системи. Правильний вибір рідини важливий для

забезпечення оптимальної працездатності гідросистеми та попередження можливих проблем зі зносом та корозією. Саме тому, для насосної станції було обрано оливу Liqui Moly Hydraulic Oil HLP 46. Ця мінеральна олива призначена до застосування у гідросистемах, що працюють в умовах розвивання високих навантажень, тисків, температур та швидкостей. [11]

До переваг оливи можна віднести:

- Висока стійкість до окислення і термічна стабільність;
- Використання спеціальних присадок для зменшення тертя та зносу;
- Ефективний захист від утворення іржі та пошкодження компонентів;
- Гарна фільтрувальна здатність;
- Стабільність характеристик за високого тиску;
- Сумісність з матеріалами герметиків та ущільнень.

Запропонована олива рекомендована для застосування в гідравлічних системах як стаціонарного типу, так і для мобільних систем. Вона має наступні характеристики:

Найменування показників	Олива Liqui Moly Hydraulic Oil HLP 46
Температура точки застигання, °С	-27
Температура точка спалаху, °С	232
Щільність при 15°С, кг/м ³	0.86
Кінематична в'язкість при 40°С, мм ² /с	46
Індекс в'язкості	100

Таблиця 2.1. Характеристики оливи [11]

2) Гідравлічний привід

Як було сказано в попередньому розділі, виконавчим пристроєм даного стенду є гідравлічний підсилювач РМ-120. Його ключові параметри:

- Корисне зусилля: $P = 65$ кН;
- Температурний діапазон: $-60 \dots +100$ С;
- Робочий тиск: $p_{\text{ном}} = 21$ МПа;
- Тиск на злив: 0,6 МПа;

- Маса приводу без робочої рідини: не більше 10 кг.

3) Маслостанція

Маслостанція, що використовується у даному стенді, оснащена асинхронним електродвигуном АО2-71-4 з номінальною потужністю 22 кВт, а також нерегульованим насосом з постійною продуктивністю 40 л/хв, що забезпечує номінальний тиск 25 МПа, якого з запасом вистачає для потреб стенду. Об'єм баку складає 85 л. Під час роботи гідравлічного обладнання можливе відшарування дрібних частинок. Так як випробування проходять тривалий час, необхідно забезпечити чистоту рідини. Через особливі вимоги до чистоти робочої рідини в системі, насосну станцію обладнано фільтрами на напірній та зливній лінії.

Гідравлічний напірний фільтр призначений для індивідуального захисту гідравлічного розподільника або всієї гідравлічної системи від забруднення рідини, що відповідає міжнародному стандарту ISO 4406. Даний фільтр використовує змінні фільтруючі елементи з різним ступенем фільтрації в залежності від потреби.

Гідравлічний фільтр зливної лінії насосної станції призначений для очищення рідини після завершення всіх процесів. Встановлюється перед зливом оливи в бак і працює при мінімальному тиску, оскільки розміщений у кінці магістралі.

Така кількість фільтрів необхідна, тому що розподільник чутливий до забруднення рідини, що може вплинути на результат випробування, а також термін служби пристроїв. Також, якщо перестане працювати один з фільтрів, залишається інший, який зможе забезпечити фільтрацію рідини в робочих умовах якийсь час. Також систему обладнано манометрами, які показують тиск в напірній та зливній лініях. На корпусі гідравлічного бака вмонтовано датчик температури, який показує актуальну температуру робочої рідини.

2.2.3 Електронне управління стендом

В розділі наведено обладнання що в даний момент використовується на стенді під час випробування амортизаторів.

- 1) Низькочастотний генератор сигналів ГЗ-110

Це прилад що призначений для генерації стабільних за частотою та амплітудою електричних сигналів у низькочастотному та звуковому діапазонах. В нашому стенді відбувається генерація синусоїдальної форми сигналу. ГЗ-110 працює в діапазоні частот від 0,1 Гц до 1 МГц.

У контексті стенду для випробовування амортизаторів генератор ГЗ-110 виконує роль джерела збуджуючого сигналу. Цей сигнал використовується системою керування стенду для створення механічного вібраційного навантаження на досліджуваний амортизатор. Таким чином, при заданні параметрів, його завданням є імітація динамічних умов роботи підвіски автомобіля.

Після задання оператором стенду необхідного параметра частоти, електричний сигнал з виходу ГЗ-110 подається на вхід системи керування стендом. Вона, в свою чергу, керує виконавчим механізмом стенду, а саме, гідравлічним підсилювачем РМ-120. Як результат, виконавчий механізм змушує амортизатор працювати на стиск та розтяг точно з тією частотою, які були задані генератором ГЗ-110.

Завдяки даному приладу, змінюючи частотну характеристику, оператор стенду має можливість визначити ефективність демпфування амортизатора на різних частотах вібрацій.

2) Тензометрична скоба ДОСМ-3-1

Вимірювальним елементом сили у системі є тензометрична скоба ДОСМ-3-1. Її функціональне призначення полягає у реєстрації динамічної сили опору, що генерується досліджуваним зразком амортизатора. Скоба є інтегрованою безпосередньо в силовий контур стенду та працює в парі з цифровим датчиком лінійного переміщення. Ця система забезпечує пряме перетворення механічної величини – сили демпфування (Н) – у пропорційний аналоговий електричний сигнал (мВ). Цей сигнал несе інформацію про миттєву реакцію амортизатора на кінематичне збурення. Без визначення силової характеристики, під час досліджень ми отримуємо лише інформацію як рухається амортизатор, але не визначимо яку силу він при цьому розвиває.

3) Датчик температури

Невід'ємним компонентом вимірювальної системи стенду також є датчик температури, що встановлюється безпосередньо на корпусі досліджуваного амортизатора. Впровадження цього датчика обумовлено фундаментальною залежністю реологічних властивостей робочої рідини амортизатора від її температури. Оскільки процес демпфування за своєю природою є дисипативним і пов'язаний з перетворенням механічної енергії коливань у теплову, під час інтенсивних випробувань відбувається неминучий розігрів амортизатора. Це призводить до зниження в'язкості оливи, що в свою чергу, безпосередньо модифікує величину генерованої сили опору. Таким чином, безперервний моніторинг температури є критично необхідним для забезпечення повторюваності та відтворюваності експериментальних даних, дозволяючи отримувати амплітудно-частотні характеристики при чітко контрольованих теплових режимах та коректно інтерпретувати зміну демпфуючих властивостей.

4) Потенціометр

В стенді для випробування амортизаторів потенціометр виконує важливу функцію, а саме, визначає лінійне переміщення (хід) амортизатора (Рис. 2.5.). Це відбувається завдяки перетворенню механічного руху штока амортизатора на пропорційний електричний сигнал.

Під час випробувань, потенціометр жорстко кріпиться до рами стенду. Центральний шток механічно з'єднаний з рухомою частиною стенду (траверсами). Через пружину та планку шток тягне за собою повзунок резистора вгору, або вниз. При стиску та розтягу амортизатора, повзунок резистора переміщується змінюючи опір, що, відповідно, змінює вихідну напругу. В свою чергу, ця напруга є прямим виміром фактичної амплітуди амортизатора в будь-який момент часу, тим самим, знаходження швидкості в будь-який момент часу. Без точного вимірювання величини переміщення, є неможливим визначення параметрів демпфування.

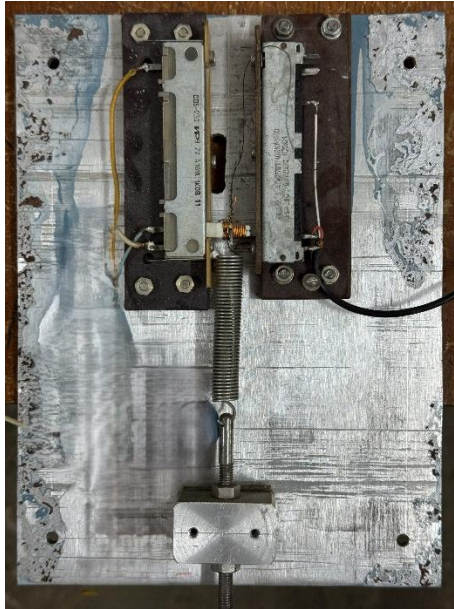


Рис. 2.5. Потенціометр яким обладнано стенд

2.3 Аналіз ідеї модернізації стенду

Аналіз поточної конфігурації стенду, описаної в **розділі 2.2**, виявив декілька ключових функціональних обмежень, що безпосередньо впливають на продуктивність, достовірність та повторюваність випробувань.

2.3.1 Обґрунтування необхідності модернізації стенду

Система управління стендом побудована на базі низькочастотного генератора сигналів ГЗ-110. Це вимагає від оператора самотійно, в ручному режимі, виставляти потрібну частоту коливань для кожного з дослідів. Також, найбільшим недоліком існуючої системи є використання осцилографа в парі з потенціометром. Осцилограф виконує роль візуалізатора змін, які вносить потенціометр в електричний сигнал. Метод проведення випробувань використовуючи перелічене обладнання має фундаментальні недоліки:

- 1) Низька продуктивність та високі часові затрати.

Процес стабілізації генератора частотних коливань при ручному налаштуванні кожного режиму є в край повільним. Це значно збільшує загальний час, що необхідний для отримання однієї повної робочої характеристики амортизатора. Це, як наслідок, призводить до неефективного використання ресурсів та підвищеного споживання електроенергії насосною станцією.

- 2) Людський фактор та низька повторюваність.

Будь-яке ручне втручання є джерелом несистематичних помилок. Неточність у виставленні амплітуди коливань, частоти, розбіжності в часі витримки на кожному режимі, або помилки при записі даних знижують повторюваність експериментів. Неможливо гарантувати що два амортизатори були випробовувані за абсолютно ідентичних умов.

3) Низька точність визначення амплітуди

При використанні осцилографа для візуального контролю амплітуди виникає ланцюг похибок, які є наслідком роботи з аналоговими приладами. При роботі зі стендом використовується осцилограф від компанії Micsig. Ключові обмеження осцилографів стосуються товщини променя та ціни поділки на екрані, які є товстими і не дозволяють оператору точно визначити, чи досягається пік синусоїди рівно 100 мм.

Запропонована модернізація стенду передбачає відмову від аналогового ручного генератора сигналів ГЗ-110 й осцилографа. Замість переліченого обладнання пропонується перехід до сучасного цифрового програмно-керованого модуля NI USB-6008.

Впровадження такого модуля дозволить автоматизувати процеси налаштування збуджуючого сигналу. Перед початком дослідження система автоматично встановлюватиме необхідну амплітуду коливань досліджуваного амортизатора, а під час проведення серії експериментів – змінюватиме частоту відповідно до заданого алгоритму. Таким чином усуваються недоліки ручного керування, підвищується точність та повторюваність вимірювань, а також забезпечується інтеграція всієї системи управління в єдиний програмний комплекс.

Додатково в роботі буде надано наступні рекомендації що до модернізації стенду:

- 1) Аналіз доцільності використання існуючої маслостанції. У випадку невідповідності, буде надано рекомендації по її заміні та надано готовий приклад до впровадження.

- 2) Перехід від динамометричної скоби ДОСМ-3-1 з окремо встановленим датчиком лінійного переміщення до цифрового сучасного тензодатчика;
- 3) Зміна принципу кріплення досліджуваного зразка амортизатора на стенді.

2.3.2 Концепція цифрового управління та його інтеграція

Модернізація стенду передбачає повну заміну ланцюга управління. Замість генератора частотних коливань ГЗ-110 керуючий сигнал буде формуватися програмно на персональному комп'ютері та передаватися на модуль NI USB-6008. Ланцюг управління в модернізованій системі матиме такий вигляд:

1) Програмне забезпечення

У середовищі LabVIEW створюється цифровий масив даних, що описує необхідний керуючий сигнал значення частоти, а також задається необхідне значення амплітуди коливань зразка.

2) Цифровий модуль NI USB-6008

Модуль призначений для передачі даних. Вбудований цифровий аналоговий перетворювач модуля перетворює цифрові коди на аналоговий сигнал напруги на своєму аналоговому виході.

3) Виконавчий механізм

Цей сигнал напруги подається на вхід керування двох пристроїв: потенціометра і пропорційного розподільника, який у свою чергу керує гідравлічним приводом РМ-120.

2.3.3 Ключові переваги запропонованого рішення автоматизації

Впровадження модуля NI USB-6008 забезпечує низку фундаментальних переваг, що безпосередньо вирішують поставлені в магістерській дисертації завдання.

1) Повна автоматизація та підвищення ефективності

Це ключова перевага що безпосередньо впливає з мети модернізації. Замість ручного налаштування оператором, ПК може автоматично виконувати складні послідовності тестів. Для прикладу, програма може бути налаштована на:

- Автоматичний прогрів амортизатора до заданої температури;
- Послідовне тестування на 10 різних частотах та 5 різних амплітудах;

- Автоматичний запис даних у файл.

Це радикально змінює підхід до проведення випробувань, скорочуючи час на одне випробування з годин до хвилин, а також підвищує продуктивність стенду та знижує споживання електроенергії.

2) Створення інтегрованої системи «Управління-Вимірювання»

Це дуже важлива перевага для підвищення достовірності отриманих в результаті досліджень даних. NI USB-6008 є багатофункціональним пристроєм, що має не лише аналогові виходи для керування, але й аналогові входи для вимірювання.

Оскільки один пристрій та одна програма керують і зчитують дані, це гарантує їхню безперерйну синхронізацію. У старій системі вимірювання де використовується генератор частотних сигналів, а також окрема зв'язка потенціометр-осцилограф існує проблема їхньої незалежної роботи. Через відсутність синхронізації між джерелом сигналу та засобом вимірювання можливі фазові зсуви, похибки у фіксації амплітуди та спотворення отриманих результатів досліджень. Запропонована інтегрована система повністю усуває ці недоліки, оскільки керування та вимірювання виконується єдиним апаратно-програмним комплексом. Це істотно підвищує достовірність і повторюваність результатів досліджень.

Висновок до 2-го розділу:

У даному розділі було проведено аналіз сучасних методів діагностики амортизаторів, зокрема на прикладі комерційного стенду MS201, що дозволило визначити галузеві стандарти та базові принципи зняття робочих характеристик. Цей аналіз слугував основою для детального дослідження власного технічного рішення – стенду, що функціонує на базі КПП ім. Ігоря Сікорського.

На відміну від типових рішень, на стенді в якості виконавчого приводу використано авіаційний бустер РМ-120. Цей компонент системи забезпечує значний запас міцності та надійності, котрий з запасом покриває потреби стенду.

Попри значний потенціал, поточний аналіз виявив фундаментальне обмеження стенду, а саме, поточну систему управління. По-перше, вона побудована на базі генератора сигналів ГЗ-110, котрий виконує функцію генератора сигналів, але вимагає ручного налаштування оператором частоти для кожної точки вимірювання. По-друге, поточна система побудована з використанням потенціометра що працює в парі з осцилографом, котрий дозволяє визначати поточну амплітуду коливань досліджуваного зразка в будь-який момент часу.

Такий підхід є джерелом двох ключових проблем, а саме: низька продуктивність через ручне налаштування показів, а також людський фактор, що обумовлений випадковим внесенням несистематичних помилок під час декількох проведених поспіль дослідів.

Саме тому, власне рішення модернізації стенду базується на модернізації системи управління шляхом переходу від аналогового генератора частотних коливань та осцилографа до цифрового програмно-керованого модуля NI USB-6008.

Це технічне рішення надає два фундаментальні вдосконалення:

1. Повна автоматизація процесу.

Завдяки програмному управлінню, стає можливим виконання складних, заздалегідь прописаних сценаріїв випробувань, що включають автоматичний прогрів зразка, послідовну зміну частот і амплітуд, запис і збереження отриманих

даних випробувань. Це вирішує проблему продуктивності і скорочує час тестування з годин до хвилин.

2. Створення інтегрованої системи «Управління-Вимірювання»

Запропонований модуль NI USB-6008 дозволяє не лише генерувати керуючий сигнал через аналогові виходи, але й одночасно зчитувати дані з усіх датчиків через аналогові входи. Це забезпечує надійну синхронізацію між керуючим сигналом та отриманими значеннями переміщення та частоти. Як наслідок, це дозволить усунути проблему розсинхронізації даних, що існує у старій системі.

Таким чином, запропонована модернізація не лише підвищує продуктивність стенду, але й принципово підвищує достовірність та повторюваність випробувань, перетворюючи установку на гнучкий та точний інструмент для наукових досліджень.

РОЗДІЛ 3. Модернізація стенду на базі КШ ім. Ігоря Сікорського

3.1 Реалізація технічного рішення.

В основу модернізації покладено принцип переходу від розімкненої аналогової системи керування до замкненої цифрової системи автоматичного регулювання. Для реалізації поставленого завдання модернізації було розроблено відповідну систему вимірювання та керування. Ядром системи, як було зазначено раніше, є багатофункціональний модуль вводу-виводу NI USB-6008 від компанії National Instruments, який виконує роль інтерфейсу між фізичними об'єктами стенду та обчислювальним середовищем ПК.

Програмна реалізація ідеї відбувається у середовищі LabVIEW, оскільки воно дає можливість задати циклічне виконання процесів, що нам і потрібно. Така реалізація задуму є аргументованою і з іншої причини – застосунок LabVIEW є розробленим компанією National Instruments. Як наслідок, для впровадження системи у стенд не потрібно інсталювати додаткових драйверів, все працює з «коробки».

Систему випробувань у середовищі можна представити як послідовне з'єднання функціональних блоків:

1. Цифровий генератор сигналів (програмний комплекс LabVIEW + NI USB-6008).
2. Виконавчий механізм (Гідравлічний бустер РМ-120).
3. Об'єкт випробувань (Амортизатор).
4. Вимірювальний перетворювач (Датчик лінійного переміщення резистивного типу).
5. Датчик температури (LM35)
6. Блок обробки даних (NI USB-6008).

На відміну від аналогового генератора ГЗ-110, який формує неперервний гармонічний сигнал, модернізована система використовує цифро-аналогове перетворення (ЦАП), реалізованого у пристрої NI USB-6008. Це дозволяє програмно задавати форму, частоту та амплітуду сигналу, а також інтегрувати процес його генерування в загальний алгоритм випробувань.

Архітектуру пропонованої системи можна поділити на наступні три функціональні контури:

- 1) Контур вимірювання. Здійснює збір даних з датчика температури, потенціометра (датчика переміщення штока) та деформації динамометричної скоби.
- 2) Контур керування. Відповідає за дотримання системою необхідного значення амплітуди, а також формування гармонічного сигналу збудження, його підсилення та передачу на гідравлічний підсилювач РМ-120.
- 3) Контур живлення та захисту. Забезпечує стабілізовану напругу для датчиків та захист портів модуля вводу-виводу.

На рисунку 3.1 зображено лицьову панель віртуального приладу, що виконує функцію пульта керування оператора.

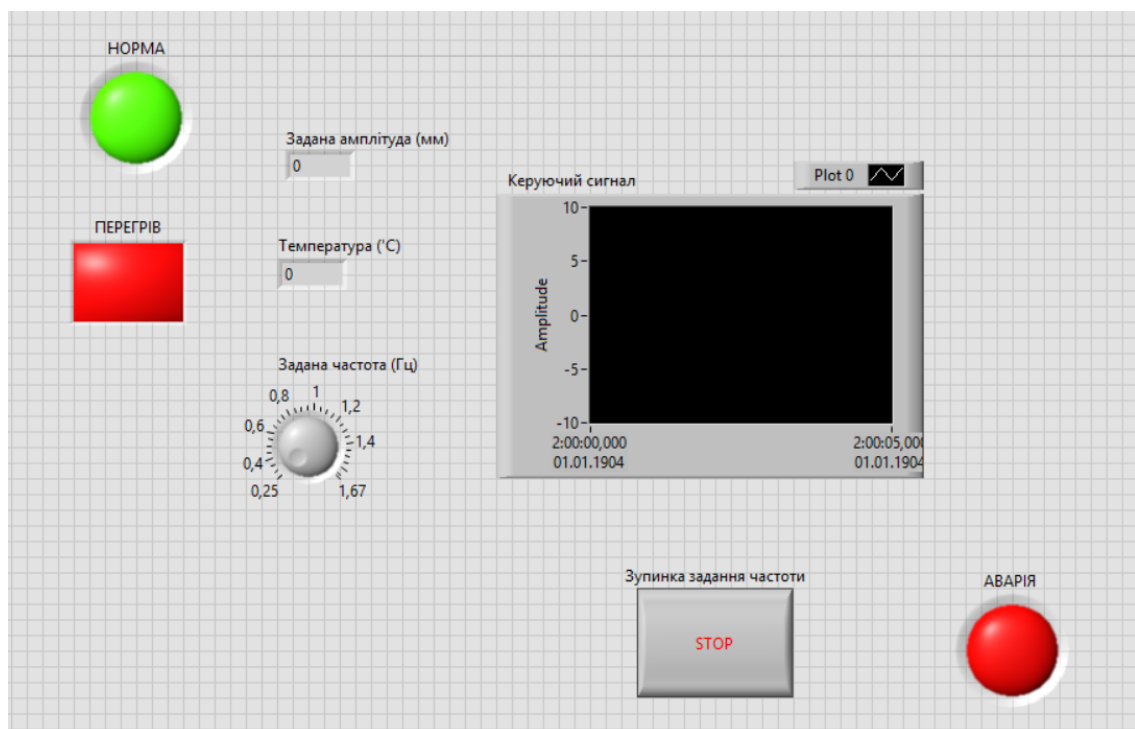


Рис. 3.1. Панель оператора з органами керування у середовищі LabVIEW

Інтерфейс містить елементи керування та індикації:

- Блок керування частотою

Реалізовано за допомогою поворотного регулятора, який дозволяє плавно змінювати частоту випробувань у робочому діапазоні від 0,25 до 1,67 Гц. Це

рішення імітує фізичну ручку керування, що є інтуїтивно зрозумілим для операторів стенду.

- Графічний індикатор «Керуючий сигнал»

Це візуалізатор, що призначений для побудови часової діаграми процесу в режимі реального часу. Дозволяє оцінити реальну амплітуду коливань, та миттєво помітити помилки, якщо вони є.

- Світлова сигналізація станів

- Індикатор «НОРМА» (зелений колір): активується, коли амплітуда коливань знаходиться в межах допуску. У випадку не відповідності необхідному параметру амплітуди, колір стає червоним.

- Індикатор «ПЕРЕГРІВ» (червоний колір): вмикається при перевищенні заданої температури досліджуваного зразка амортизатора.

- Індикатор «АВАРІЯ» (червоний колір): вмикається при натисканні зовнішньої кнопки екстреної зупинки системи.

- Аварійна зупинка

Кнопка «STOP» забезпечує можливість примусового переривання випробувань оператором.

На рисунку 3.2 представлено графічний код програми, що реалізує алгоритм керування.

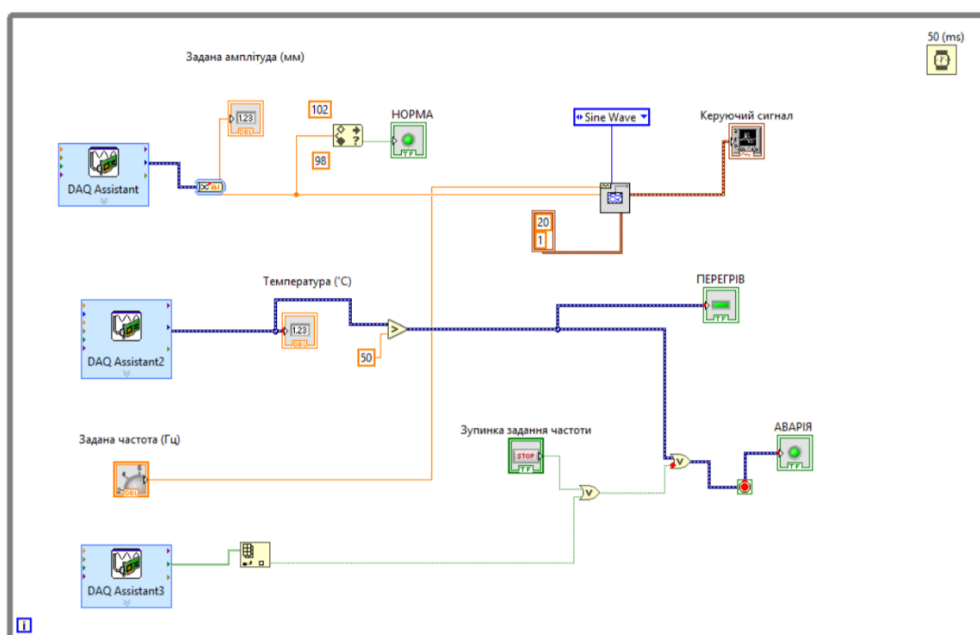


Рис. 3.2. Програмна реалізація у середовищі LabVIEW

Програма виконується всередині циклу While Loop, що забезпечує безперервну роботу системи з тактом 50 мс. Основними логічними ланцюгами є:

- Блок збору даних

Відбувається зчитування аналогових сигналів з потенціометра та датчика температури.

- Блок генерації керуючого впливу

Функція Basic Function Generator формує синусоїдальний сигнал заданої частоти, який через ЦАП модуля NI USB-6008 подається на виконавчий механізм стенду.

- Блок логічного контролю

Реалізовано функцію компаратора In Range and Coerce, яка перевіряє входження поточної амплітуди в допустимий коридор (100 ± 2 мм). Також реалізовано контур аварійного захисту: при перевищенні температури порогового значення 50 °C, спрацьовує логічне «OR», що ініціює примусову зупинку циклу.

- Ланцюг безпеки

Сигнал від кнопки «STOP» та датчика перегріву об'єднуються в єдиний контур аварійної зупинки.

У системі з ручним керуванням оператор намагається утримувати амплітуду на одному значенні впродовж усього дослідження, орієнтуючись на зображення синусоїди на екрані осцилографа (Рис. 3.3.). Через похибку паралаксу, а також низьку роздільну здатність екрану, реальна амплітуда, згідно з технічною документацією осцилографа, буде в діапазоні ± 8 % від заданого значення. Це і є причиною спотворення розрахунків.

При заданій фіксованій частоті випробувань ($f = \text{const}$), похибка встановлення амплітуди лінійно трансформується у похибку швидкості, яка в свою чергу призводить до похибки вимірювання параметрів сили та відбою.

У якості первинного перетворювача кінематичних параметрів руху штока у системі використано резистивний датчик лінійного переміщення контактного типу. Конструктивно, вузол виконаний на базі змінного резистора серії СПЗ-23В з

номіналом 100 кОм, встановлених на алюмінієвій монтажній плиті зі спеціальним підпружиненим штоком (Рис.2.5). Даний резистор має лінійну залежність і дозволяє застосувати лінійний закон перетворення напруги в міліметри без необхідності реалізувати складну програмну систему.

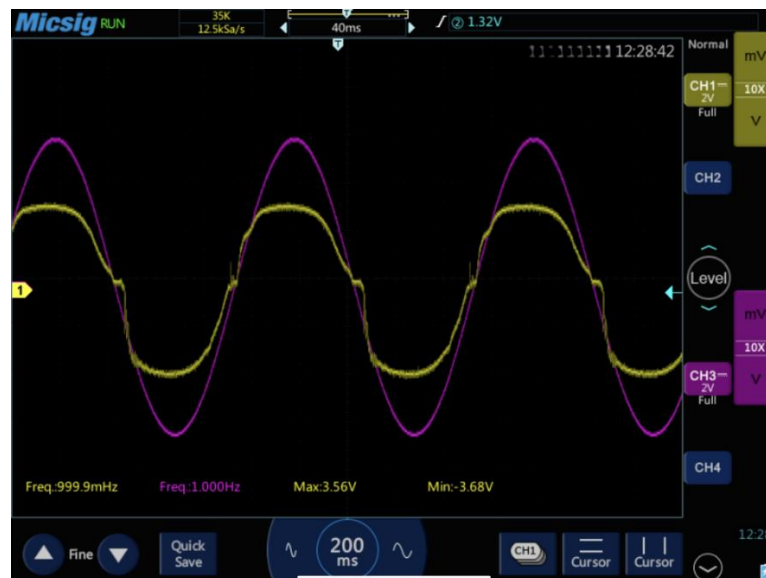


Рис. 3.3. Графік побудований осцилографом

У реальній системі після впровадження NI USB-6008 дотримання ідеального значення амплітуди 100 мм також буде неможливим через шуми вимірювання, через що є необхідним використання у функціональному блоці LabVIEW компонента «In Range and Coerce» (Перевірка діапазону), що дозволяє порівнювати поточну амплітуду з верхньою (102) та нижньою (98) межами, створюючи тим самим «технічний коридор», що забезпечує стабільну індикацію стану «НОРМА».

Незважаючи на контактний принцип дії, ресурс даних резисторів забезпечує стабільність показів у межах проведення серії лабораторних досліджень. У поєднанні з модулем NI USB-6008, система дозволяє фіксувати переміщення з роздільною здатністю, достатньою для побудови точної робочої діаграми амортизатора. Впроваджений модуль NI USB-6008, за технічною документацією, дозволяє реалізувати цифровий зворотний зв'язок, забезпечуючи точність 100 ± 0.5 мм.

Також, у системі реалізовано автоматизовану зупинку циклу програми якщо виникає хоча б одна з умов: натиск оператором кнопки «STOP», або ситуація з перевищенням максимально допустимої температури зразка. Дане впровадження гарантує, що стенд не продовжить роботу при перегріві, навіть якщо оператор не натиснув кнопку.

Таким чином, використання стандартних функціональних блоків середовища LabVIEW у поєднанні з драйверами NI-DAQmx дозволило реалізувати гнучку та надійну архітектуру віртуального приладу.

3.2 Проведення випробувань для дослідження впровадженої системи

Для кількісної оцінки впровадженої системи, необхідно провести дослідження з вимірювання сили стиснення в системах до та після вдосконалення на різних частотах коливань.

Вимірювання будуть проведені на 5 частотах: 0,25Гц, 0,42Гц, 0,65Гц, 1Гц, 1,42Гц. Для кожної з цих частот, на кожній з систем, буде проведено 10 вимірювань. Під час проведення цих вимірювань, температура амортизатора не перевищувала 50 °С.

Дослідження 1:

Частота 0,25Гц

Цикл	Сила "стара система", Н	Сила "модернізована система", Н
1	5140	5180
2	5320	5195
3	5180	5240
4	5240	5200
5	5210	5160
6	5200	5235
7	5360	5245
8	5120	5220
9	5010	5200
10	5250	5190

Таблиця 2.1. Частота 0,25Гц

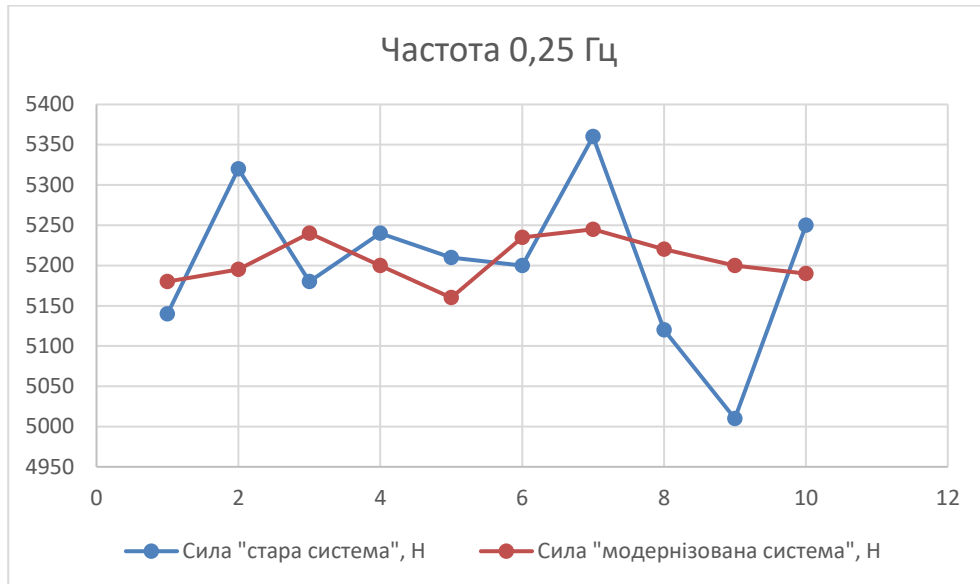


Рис. 3.4. Графік для частоти 0,25Гц

Аналіз результатів [12]:

Розрахунок для системи до впровадження модернізації. Середнє значення зусилля складає: $F_{old} = 5203$ Н. Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{old} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{old})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 5203)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{99610}{9}} \approx 105,2$$

Розрахунок для модернізованої системи. Середнє значення зусилля складає:

$F_{new} = 5206,5$ Н.

$$\sigma_{new} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{new})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 5206,5)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{7052,5}{9}} \approx 28$$

Визначення коефіцієнта підвищення точності [12]:

$$K = \frac{\sigma_{old}}{\sigma_{new}} = \frac{105,2}{28} \approx 3,8$$

При першому дослідженні на частоті 0,25 Гц зафіксовано підвищення точності вимірювань у 3,8 рази. Аналіз даних показує, що навіть при низьких швидкостях руху штока, де візуальний контроль здається надійним, метод ручного вимірювання дає значну похибку в порівнянні з автоматизованою

системою, що підтверджує доцільність виключення людського фактору на всіх етапах випробувань.

Дослідження 2:

Частота 0,42Гц

Цикл	Сила "стара система", Н	Сила "модернізована система", Н
1	6000	5980
2	6140	6000
3	6170	6040
4	6200	5960
5	5900	6000
6	5800	5945
7	5960	5950
8	5900	6000
9	6150	6020
10	5830	6030

Таблиця 2.2. Частота 0,42Гц

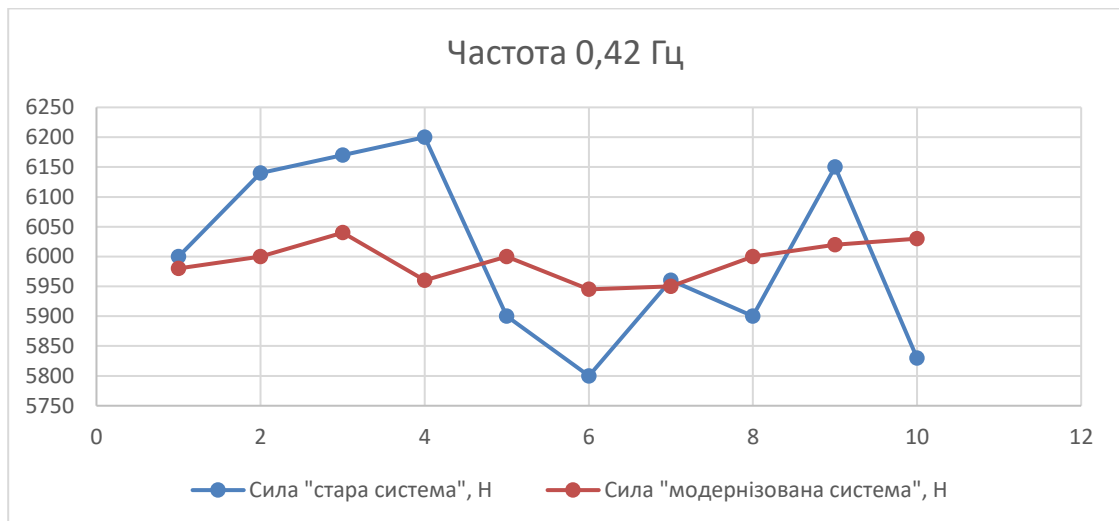


Рис. 3.5. Графік для частоти 0,42Гц

Аналіз результатів [12]:

Розрахунок для системи до впровадження модернізації. Середнє значення

зусилля складає: $F_{old} = 6005$ Н. Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{old} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{old})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 6005)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{192050}{9}} \approx 146,1$$

Розрахунок для модернізованої системи. Середнє значення зусилля складає:

$F_{new} = 5992,5$ Н.

$$\sigma_{new} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{new})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 5992,5)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{9662,5}{9}} \approx 32,8$$

Визначення коефіцієнта підвищення точності [12]:

$$K = \frac{\sigma_{old}}{\sigma_{new}} = \frac{146,1}{32,8} \approx 4,5$$

На частоті 0,42 Гц зафіксовано зменшення розсіювання результатів вимірювання сили у 4,5 разів. Дослідження знову продемонструвало, що навіть на відносно низьких частотах, де візуальний контроль здається достатнім, автоматизована система забезпечує значно вищу повторюваність результатів. Це підтверджує, що нестабільність показів у старій системі була викликана саме неможливістю оператора точно витримувати амплітуду коливань, тоді як цифрова система нівелювала цей фактор.

Дослідження 3:

Частота 0,65Гц

Цикл	Сила "стара система", Н	Сила "модернізована система", Н
1	6320	6470
2	6360	6480
3	6500	6540
4	6700	6440
5	6280	6520
6	6780	6495
7	6460	6500
8	6490	6550
9	6550	6455
10	6640	6545

Таблиця 2.3. Частота 0,65Гц

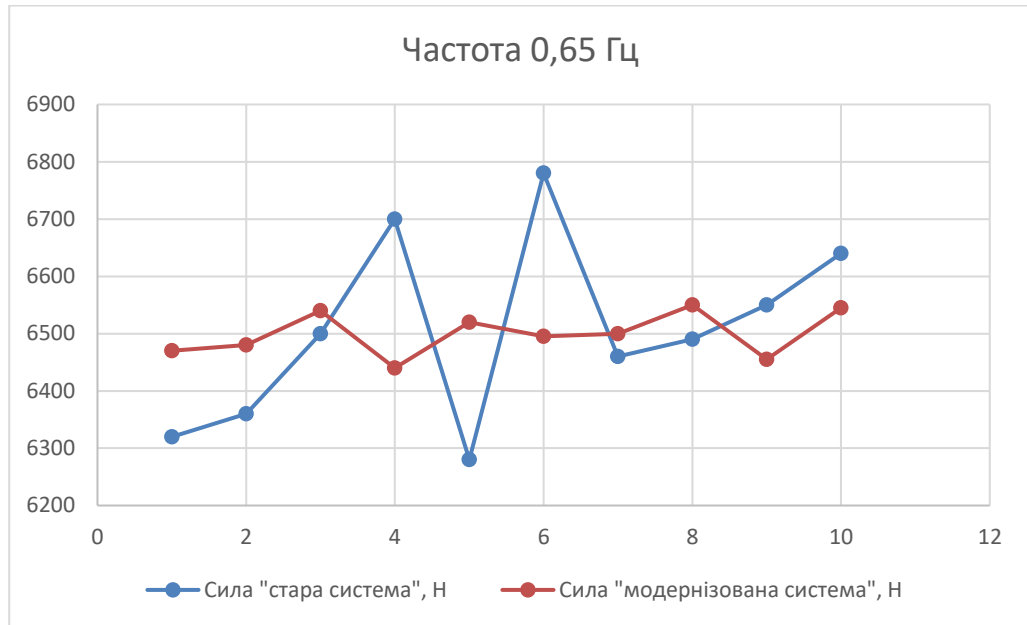


Рис. 3.6. Графік для частоти 0,65Гц

Аналіз результатів [12]:

Розрахунок для системи до впровадження модернізації. Середнє значення зусилля складає: $F_{old} = 6508$ Н. Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{old} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{old})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 6508)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{241960}{9}} \approx 164$$

Розрахунок для модернізованої системи. Середнє значення зусилля складає:

$F_{new} = 6499,5$ Н.

$$\sigma_{new} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{new})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 6499,5)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{13472,5}{9}} \approx 38,7$$

Визначення коефіцієнта підвищення точності [12]:

$$K = \frac{\sigma_{old}}{\sigma_{new}} = \frac{164}{38,7} \approx 4,2$$

Третє дослідження, що було проведено на частоті 0,65 Гц, показало що автоматизоване керування дозволило зменшити розсіювання результатів вимірювання сили у 4,2 рази. Незважаючи на те, що зі зростанням частоти абсолютна похибка автоматичної системи трохи зростає, у порівнянні з режимом 0,42 Гц, вона все ще залишається в межах допустимої інструментальної похибки,

тоді як ручний метод демонструє хаотичні відхилення до ± 300 Н, що є неприпустимим для прецизійних випробувань. Дослідження вкотре продемонструвало ефективність обраного методу керування у всьому діапазоні частот.

Дослідження 4:

Частота 1Гц

Цикл	Сила "стара система", Н	Сила "модернізована система", Н
1	6500	6640
2	6460	6655
3	7000	6690
4	6640	6735
5	6830	6750
6	6650	6680
7	6980	6700
8	6680	6725
9	6700	6700
10	6590	6670

Таблиця 2.4. Частота 1Гц

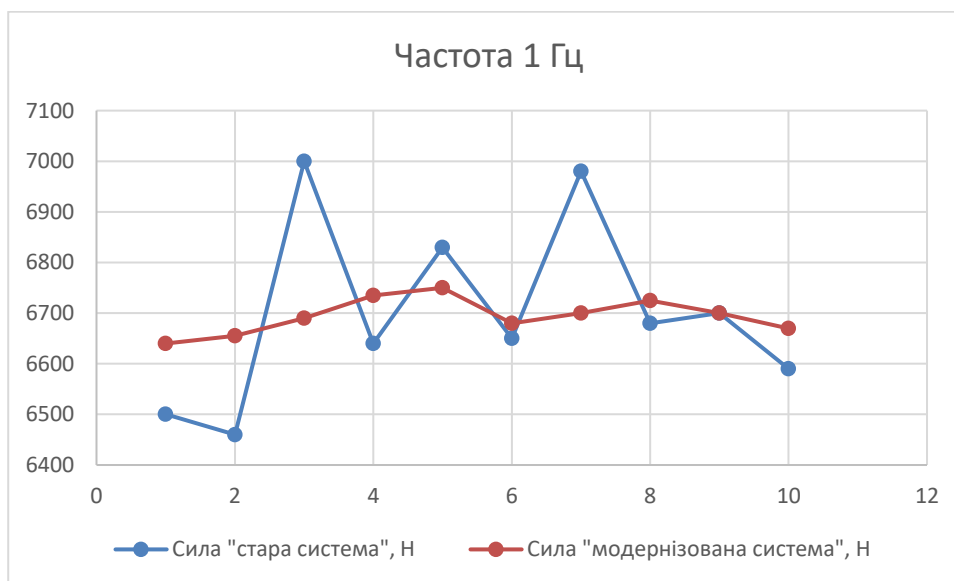


Рис. 3.7. Графік для частоти 1Гц

Аналіз результатів [12]:

Розрахунок для системи до впровадження модернізації. Середнє значення зусилля складає: $F_{old} = 6703$ Н. Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{old} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{old})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 6703)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{301410}{9}} \approx 183$$

Розрахунок для модернізованої системи. Середнє значення зусилля складає: $F_{new} = 6694,5$ Н.

$$\sigma_{new} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{new})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 6694,5)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{11072,5}{9}} \approx 35,1$$

Визначення коефіцієнта підвищення точності [12]:

$$K = \frac{\sigma_{old}}{\sigma_{new}} = \frac{183}{35,1} \approx 5,2$$

Четверте дослідження, що було проведено на частоті 1Гц демонструє підвищення точності у 5,2 рази. Задана частота є граничною для ефективної реакції оператора станду. Під час деяких циклів фіксується стрімке збільшення значення сили. Це пояснюється тим, що при ручному регулюванні оператор часто допускає перерегулювання, тобто різко збільшує амплітуду намагаючись компенсувати її падіння, що призводить до стрибка сили. З проведеного дослідження видно, що цифрова система виконує корекції плавно, утримуючи процес у стабільному стані без перехідних сплесків.

Дослідження 5:

Частота 1,42Гц

Цикл	Сила "стара система", Н	Сила "модернізована система", Н
1	6810	6850
2	6730	6880
3	7000	6900
4	7200	6930
5	6750	6910
6	6625	6960
7	7150	6860

Цикл	Сила "стара система", Н	Сила "модернізована система", Н
8	6900	6900
9	6950	6950
10	7100	6890

Таблиця 2.5. Частота 1,42Гц

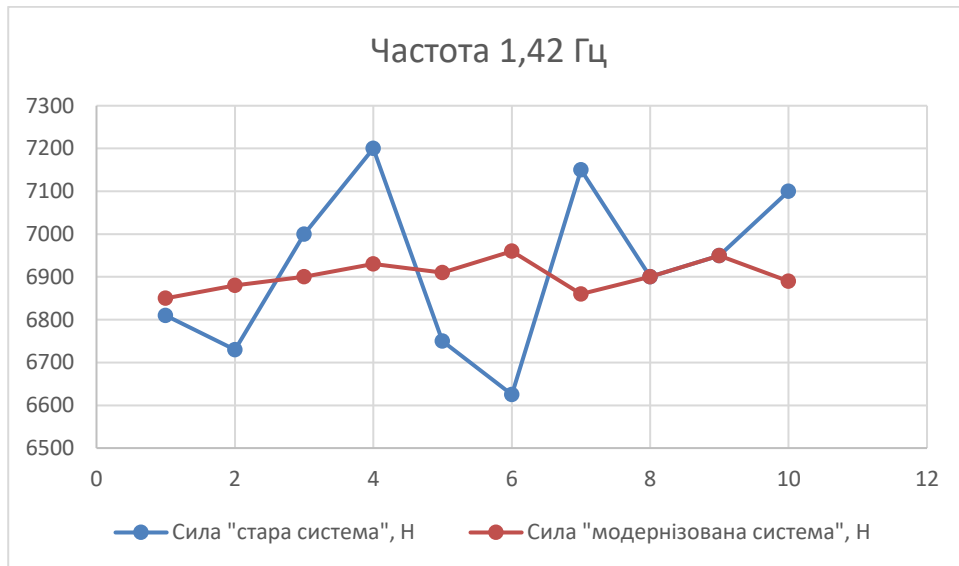


Рис. 3.8. Графік для частоти 1,42Гц

Аналіз результатів [12]:

Розрахунок для системи до впровадження модернізації. Середнє значення зусилля складає: $F_{old} = 6921,5$ Н. Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{old} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{old})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 6921,5)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{335492,5}{9}} \approx 193,1$$

Розрахунок для модернізованої системи. Середнє значення зусилля складає:

$F_{new} = 6903$ Н.

$$\sigma_{new} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - F_{new})^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{\sum(F_i - 6903)^2}{10 - 1}} = \sqrt{\frac{11610}{9}} \approx 35,9$$

Визначення коефіцієнта підвищення точності [12]:

$$K = \frac{\sigma_{old}}{\sigma_{new}} = \frac{193,1}{35,9} \approx 5,4$$

На частоті 1,42 Гц зафіксовано підвищення точності вимірювань у 5,4 рази. Варто зазначити, що показник стабільності цифрової системи залишається майже незмінним порівняно з іншими частотами. Це підтверджує ключову перевагу впровадженого рішення: точність автоматизованого комплексу є інваріантною до частоти випробувань, тоді як похибка ручного методу не лінійно зростає зі збільшенням швидкості руху штока.

3.2.1 Висновок до проведених дослідів

Результат порівняльних експериментальних досліджень, проведених для робочих частот 0,25 Гц, 0,42 Гц, 0,65 Гц, 1 Гц, 1,42 Гц дозволяє зробити обґрунтований висновок про суттєве підвищення метрологічних характеристик випробувального стенду після модернізації.

У базовій системі з ручним керуванням середньоквадратичне відхилення σ_{old} вимірювального зусилля мало стохастичний характер і варіювалося в широких межах від 105 Н до 193 Н. Такий розкид зумовлений фактором суб'єктивного візуального зчитування амплітуди з осцилографа та неможливістю оператора миттєво компенсувати відповідний показник. Впровадження цифрової системи керування на базі NI USB-6008 дозволило знизити середньоквадратичне відхилення σ_{new} до рівня 28-36 Н, що відповідає рівню власних шумів при вимірюванні та дискретності АЦП.

Критично важливим показником ефективності є залежність похибки при зміні частоти, що свідчить про непередбачуваність впливу людського фактору на різних режимах роботи. Для модернізованої системи похибка не так сильно залежить від частоти випробувань. Це підтверджує високу швидкодію контуру автоматичного регулювання, який однаково ефективно утримує задану амплітуду як у повільних, так і в динамічних режимах.

Розрахунковий коефіцієнт підвищення точності K на досліджених режимах склав від 3,8 до 5,4 разів. Це дозволяє стверджувати, що перехід від аналогового контролю за допомогою осцилографа до цифрового керування в середовищі LabVIEW переводить випробувальний стенд у вищий клас точності, забезпечуючи достовірність результатів вимірювання зусиль з похибкою, що не

перевищувала 0,5-0,7% відносно вимірюваної величини у всьому частотному діапазоні.

3.3 Рекомендації що до модернізації стенду

Проаналізувавши принцип роботи випробувального стенду, визначено ключові позиції що потребують модернізації. Їх виконання суттєво покращить показники точності під час дослідження робочих характеристик амортизатора. Вузли, аналіз яких буде виконано: маслостанція; динамометрична скоба; кріплення випробовуваного зразка у стенді.

3.3.1 Аналіз доцільності використання існуючої маслостанції при роботі стенду

Існуючий стенд для випробовування амортизаторів оснащено маслостанцією на базі асинхронного електродвигуна АО2-71-4 виробництва часів СРСР, а також нерегульованим насосом з постійною продуктивністю 40 л/хв. Номінальна потужність двигуна складає 22 кВт, частота обертання – 1450 об/хв. Окрім впровадженої системи автоматизації випробувань на базі NI-6008 що описано в минулих розділах, вважаю за необхідне перевірити доцільність використання такої потужної маслостанції у нашому стенді. Визначивши необхідну подачу насоса, а також необхідну потужність електродвигуна для заданих параметрів гідравлічного підсилювача РМ-120, можна буде зробити відповідні висновки.

Параметри гідравлічного підсилювача РМ-120:

Робочий тиск основного циліндра: $p_{\text{ном}} = 210 \text{ бар} = 21 \text{ МПа}$;

Корисне зусилля бустера: $P = 65 \text{ кН}$;

Швидкість руху штоку: 5 м/с .

Діаметр поршня: $D = 63 \text{ мм}$;

Діаметр штоку: $d = 16 \text{ мм}$;

3.3.1.2 Розрахунок насоса

Визначаємо необхідну подачу насоса за формулою:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v \cdot 60 = \frac{3,14 \cdot 0,063^2}{4} \cdot 0,05 \cdot 60 = 9,35 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

v – швидкість руху штоку бустера за технічними характеристиками, м/с.

Розраховуємо значення об'єму робочої камери насоса:

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{9,35}{1500} = 6,2 \text{ см}^3$$

n – частота обертання валу двигуна.

За отриманими значеннями, здійснюємо підбір насосу.

3.3.1.3 Розрахунок електродвигуна

Обчислюємо необхідну потужність для системи, врахувавши дійсний об'єм камери насоса, який беремо з технічних характеристик самого насосу

$$N = \frac{p \cdot q \cdot n}{\eta}$$

p – робочий тиск системи;

q – об'єм робочої камери насоса;

n – частота обертання валу двигуна;

η – коефіцієнт витрати насоса, $\eta = 0.85 \dots 0.95$, приймаємо $\eta = 0.9$;

$$N = \frac{p \cdot q \cdot n}{\eta} = \frac{21 \cdot 10^6 \cdot 6,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1500}{0,9 \cdot 60} = 3,61 \text{ кВт}$$

З отриманих розрахунків можна зробити висновок що використання існуючої станції з двигуном 22 кВт та насосом 40 л/хв для задачі, що потребує 9,5 л/хв є критично неефективним. За використання діючої насосної станції щоб отримати 9,5 л/хв від насоса що дає 40 л/хв, необхідно 30,5 л/хв скидати через запобіжний клапан назад у бак під робочим тиском. Для наведення додаткових аргументів недоцільного використання наявної насосної станції, а також

формулювання рекомендацій на впровадження нової насосної станції, необхідно виконати наступні розрахунки.

3.3.1.4 Розрахунок гідравлічного баку

Відповідно до рекомендацій по проектуванню гідропривода, гідравлічний бак має мати об'єм 2-3 подачі насосу.

$$V_6 = 2,5 \cdot Q_{1\max} = 2,5 \cdot 9,4 = 23,5 \text{ л.}$$

3.3.1.5 Вибір розмірів трубопроводів. Розрахунок внутрішніх діаметрів трубопровода

Визначимо внутрішній діаметр труби для напірної і зливної ліній кожного з циліндрів за формулою:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{\text{ср}}}}$$

де d_T - внутрішній діаметр трубопроводу;

Q_T - витрата рідини на ділянці, що розраховується;

$v_{\text{ср}}$ - середня швидкість руху рідини.

3.3.1.6 Розрахунок дійсної швидкості рідини в трубопроводах

За визначеним стандартним розміром трубопроводу знайдемо дійсну швидкість рідини за формулою:

$$v_p = \frac{4 * Q_T}{\pi * d_T^2}$$

де d_T - внутрішній діаметр трубопроводу;

Q_T - витрата рідини на ділянці, що розраховується;

v_p - дійсна швидкість руху рідини.

$$Q_T = 9,35 \text{ л/хв} = 0,000156 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для напірної лінії:

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{\text{ср}} = 4,5 \text{ м/с}$$

Внутрішній діаметр труби:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * 0.000156}{3.14 * 4.5}} = 6.6 \text{ мм}$$

Округляємо до найближчого значення по Держстандарту 8732-78

$$d_T = 6 \text{ мм}$$

Визначаємо дійсну швидкість:

$$v_p = \frac{4 * 0,000156}{3,14 * 0,006^2} = 5,5 \text{ м/с}$$

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для напірних ліній.

$$3 \text{ м/с} \leq 5.5 \text{ м/с} \leq 6 \text{ м/с}$$

Для зливної лінії:

Середня швидкість руху рідини:

$$v_{cp} = 1.8 \text{ м/с}$$

Внутрішній діаметр труби:

$$d_T = \sqrt{\frac{4 * 0.000156}{3.14 * 1.8}} = 10.5 \text{ мм}$$

Округляємо до найближчого значення по Держстандарту 8732-78

$$d_T = 10 \text{ мм}$$

Визначаємо дійсну швидкість:

$$v_p = \frac{4 * 0,000156}{3,14 * 0,01^2} = 1,98 \text{ м/с}$$

Дійсна швидкість знаходиться в діапазоні швидкостей, прийнятих для зливних ліній:

$$1.4\text{м/с} \leq 1.98 \text{ м/с} \leq 2.2\text{м/с}$$

3.3.1.7 Розрахунок втрат рідини

Гідравлічні втрати в гідролініях складаються із втрат на гідравлічне тертя, втрат у місцевих опорах і втрат у гідроапаратах .

Втрати тиску на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_T = \frac{(0,5 \cdot \rho \cdot l \cdot \lambda \cdot v^2)}{d_T},$$

де λ - коефіцієнт тертя;

l - довжина ділянки;

ρ – густина оливи;

v - швидкість руху рідини;

d_T – внутрішній діаметр трубопроводу.

З характеристик підібраної оливи Liqui Moly Hydraulic Oil HLP 46, що була запропонована в минулому розділі, беремо значення ρ та ν .

Густина:

$$\rho = 0.86 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 860 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Кінематична в'язкість рідини:

$$\nu = 46 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}} = 0.0460 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Втрати на гідравлічне тертя Δp_T в напірній лінії бустеру.

Довжина трубопроводу:

$$l_{\text{нап}} = 1,35 \text{ м}$$

Внутрішній діаметр трубопроводу:

$$d_T = 6 \text{ мм}$$

Дійсна швидкість руху рідини:

$$v_p = 5.5 \text{ м/с}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_p \cdot d_T}{\nu} = \frac{5.5 \cdot 0.006}{0.0460 \cdot 10^{-3}} = 717,4$$

При ламінарному русі рідини ($Re < 2320$).

З огляду на можливості звуження й скривлення перетину труби при практичних розрахунках приймають:

$$\lambda = \frac{75}{Re} = \frac{75}{717,4} = 0.1045$$

Втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_T = \frac{0,5 \cdot 0.1045 \cdot 1.35 \cdot 860 \cdot 5,5^2}{0,006} = 305838.8 \text{ Па;}$$

Втрати на гідравлічне тертя Δp_T у зливній лінії бустеру.

Довжина трубопроводу:

$$l_{\text{нап}} = 1,46 \text{ м}$$

Внутрішній діаметр трубопроводу:

$$d_T = 10 \text{ мм}$$

Дійсна швидкість руху рідини:

$$v_p = 1.98 \text{ м/с}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_p \cdot d_T}{\nu} = \frac{1.98 \cdot 0.01}{0.0460 \cdot 10^{-3}} = 430,4$$

При ламінарному русі рідини ($Re < 2320$).

З огляду на можливості звуження й скривлення перетину труби при практичних розрахунках приймають:

$$\lambda = \frac{75}{R_e} = \frac{75}{430.4} = 0.174$$

Втрати на гідравлічне тертя:

$$\Delta p_T = \frac{0,5 \cdot 0.174 \cdot 1.46 \cdot 860 \cdot 1,98^2}{0,01} = 42825.35 \text{ Па};$$

Сумарні втрати на гідравлічне тертя:

$$\Sigma = 348664.15 \text{ Па}$$

Розрахувавши параметри, виконуємо підбір насосної станції, яка здатна забезпечити наступні характеристики:

- Об'єм робочої камери насосу – 6.2 см³;
- Номінальний робочий тиск – 21 МПа;
- Подача насосу при частоті 1500 об/хв – 9.35 л/хв;
- Потужність насосу – 3.6 кВт

3.3.2 Пропозиція до впровадження на основі отриманих даних

Пропозицією до впровадження є використання сучасної маслостанції **ПГМ-6240-1500М** від української компанії ТОВ «Промислова Гідравліка» Її параметри [13]:

Потужність: 4 кВт;

Оберти: 1450 об/хв.

Шестеренний насос: робочий об'єм 6,2 см³;

Витрата: 8,6 л/хв;

Максимальний тиск: 25 МПа;

Об'єм баку: 25 л.

Обрана продуктивність 8,6 л/хв забезпечує швидкість руху штока 4,6 см/с. Незначне відхилення від розрахункових 5 см/с, а саме, 8% є допустимим для лабораторних випробувань і дозволяє використовувати двигун меншої

потужності (4 кВт замість 5,5 кВт) що додатково підвищує енергоефективність станції. У порівнянні зі старою 22 кВт станцією, підібрана станція на 4 кВт споживає у **5,5 разів** менше енергії, виконуючи ту ж саму роботу.

Додатково, виконавши розрахунок нової маслостанції визначено недоцільність використання існуючої через значні теплові втрати, а також невідповідність потужності насосної станції випробувальному стенду.

Потужність що йде на нагрів оливи:

$$N_{\text{нагр.}} = \frac{P \cdot Q}{600 \cdot \eta} = \frac{210 \cdot (40 - 9.5)}{600} = 10.6 \text{ кВт}$$

P – робочий тиск (бар);

Q – витрата (л/хв).

Використання існуючої станції призводить до того, що 10,6 кВт електроенергії щомиті перетворюватиметься не на корисну роботу, а на нагрів гідравлічної рідини. Це вимагає встановлення потужного теплообмінника, інакше олива втратить свою в'язкість і система вийде з ладу. На момент проведення технічного впровадження, теплообмінник не використовується, а не допускання перегріву рідини забезпечується періодичним вимиканням станції лаборантом для охолодження.

3.3.3 Рекомендація що до заміни динамометричної скоби на тензодатчик

Як було вказано в попередніх розділах, зараз на стенді під час проведення досліджень робочих характеристик амортизатора, для вимірювання сили стиснення та відбою використовується аналоговий прилад, а саме, динамометрична скоба ДОСМ-3-1 з окремо встановленим датчиком лінійного переміщення. Проведення вимірювань використовуючи існуюче обладнання ДОСМ-3-1 має наступні недоліки:

- 1) Проблема гістерезису.

Амортизатор сам по собі має гістерезис, до якого ще додається гістерезис динамометричної скоби. При високих швидкостях переміщення штока (більше 1

Гц) механічна частина може не встигати реагувати на різкі гідравлічні удари, згладжуючи пікові значення зусиль.

2) Люфти та тертя.

Для вимірювання сили через деформацію скоби ДОСМ-3-1 використовується датчик переміщення, що має своє кріплення. Мікролюфт у кріпленні датчика на 0,01 мм при загальній деформації скоби в 0,5 мм дає похибку 2%.

3) Залежність від температури та втоми металу.

Жорсткість скоби не є константою, вона змінюється внаслідок накопичення втоми металу за роки експлуатації а також від коливань температури у лабораторному приміщенні. Саме тому, для забезпечення точності вимірювань періодично має виконуватись перетарування обладнання, що на жаль не завжди дотримується.

4) Похибка базування.

Датчик переміщення вимірює деформацію лише в одній точці скоби, що може давати похибку при найменшому перекосі встановленого амортизатора.

Рекомендацією до впровадження є перехід від динамометричної скоби ДОСМ-3-1 з окремо встановленим датчиком лінійного переміщення до цифрового сучасного тензодатчика Zemic H3-G-C3-2.0t.

Запропонований датчик має наступні технічні особливості:

1. Максимальне робоче навантаження: 2000 кг;
2. Працює на розтяг і стиск;
3. Точність 0,02% FS;
4. Стабільний при зміні температури.

Для виведення результатів, додатково необхідно встановити перетворювач сигналу від тензодатчика. Ідеальним рішенням в нашому рішенні є перетворювач Zemic T2-C-485.

Обчислення похибок ДОСМ-3-1:

1. Похибка скоби (нелінійність + пружність) ≈ 1 %.

2. Похибка датчика переміщення: $\approx 0.5 \%$.
3. Похибка встановлення (перекоосу): $\approx 0.5 \%$.

За отриманими даними, розрахункова похибка вимірювальної сили при використанні тензOMETричної скоби складає:

$$\Delta F_1 \approx \sqrt{1^2 + 0.5^2 + 0.5^2} \approx 1.22\%$$

Обчислення похибок Zemic H3-G-C3-2.0t:

1. Комбінована похибка датчика: 0.02% .
2. Похибка АЦП NI USB-6008: $\approx 0.05 \%$.
3. Похибка передачі сигналу: $\approx 0.01 \%$.

$$\Delta F_2 \approx \sqrt{0.02^2 + 0.05^2 + 0.01^2} \approx 0.055\%$$

$$\Delta K = \frac{\Delta F_1}{\Delta F_2} = \frac{1.22}{0.055} \approx 22.2$$

Проведений порівняльний аналіз метрологічних характеристик довів, що заміна непрямого методу вимірювання, а саме, динамометричної скоби ДОСМ-3-1 на прямий тензOMETричний метод на базі тензодатчика Zemic H3-G-C3-2.0t дозволяє зменшити зведену похибку вимірювання зусилля з 1.2% до 0.06% .

Як наслідок, представлена рекомендація здатна підвищити точність випробувань у 20 разів, додатково зробивши процес випробувань простішим у порівнянні з існуючим рішенням.

3.3.4 Рекомендація що до зміни кріплення досліджуваного зразка

Навіть найточніше вимірювальне обладнання матиме похибку, якщо досліджуваний зразок амортизатора має люфти в кріпленнях. Саме тому, важливим етапом модернізації стенду є вдосконалення механічного зв'язку між амортизатором і стендом. Провівши аналіз базового технологічного процесу, виявлено суттєві недоліки в існуючій схемі базування амортизаторів, яке передбачає використання змінних циліндричних втулок (Рис. 3.9.).



Рис. 3.9. Фіксатор амортизатора що використовується у стенді

Існуючий метод фіксації передбачає виготовлення індивідуальної металевої втулки для кожного амортизатора (Рис. 3.10.). Зовнішній діаметр втулки точиться під розмір вуха амортизатора, а внутрішній – під посадковий палець, для фіксації зразка на траверсах і тримачі стенда (Рис. 3.11.).



Рис. 3.10. Приклад верхнього кріплення на стенді



Рис. 3.11. Приклад нижнього кріплення на стенді

Такий підхід має наступні недоліки:

1) Низька оперативність.

Підготовка до випробування нового зразка займає від 1 до 2 годин необхідних токарних робіт.

2) Економічна нераціональність.

Постійні витрати сталі на одноразові втулки та оплата верстатних годин підвищують собівартість одного випробування.

3) Люфти.

Технологічний зазор у ланцюгу «палець-втулка-амортизатор» неминуче призводить до виникнення мікро ударів при зміні напрямку руху штока, що спотворює графік робочої діаграми в точках екстремуму.

З метою усунення зазначених недоліків мною запропоновано перехід на систему «універсального швидкого кріплення» (Рис. 3.12., Рис. 3.13.). Вузол складається з перехідного П-подібного кріплення, силової осі з різьбою по краях, а також двох центрувальних конусів зрізаного типу.

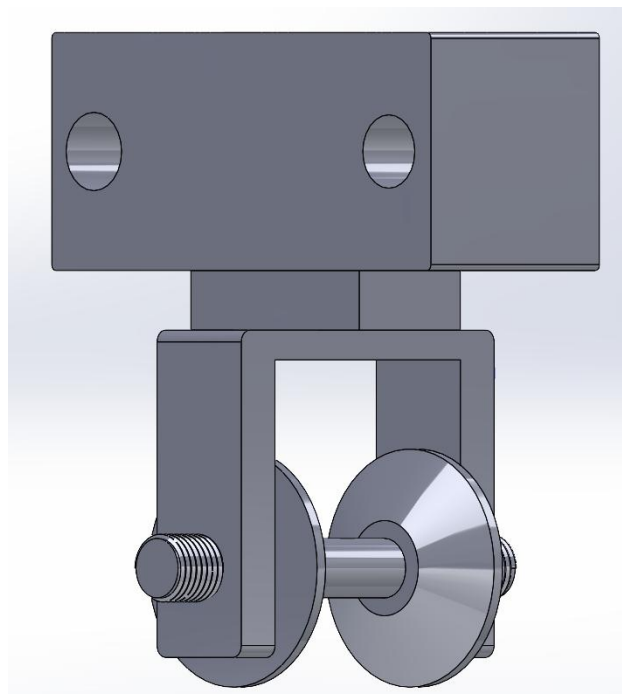


Рис. 3.12. Пропоноване рішення верхнього кріплення

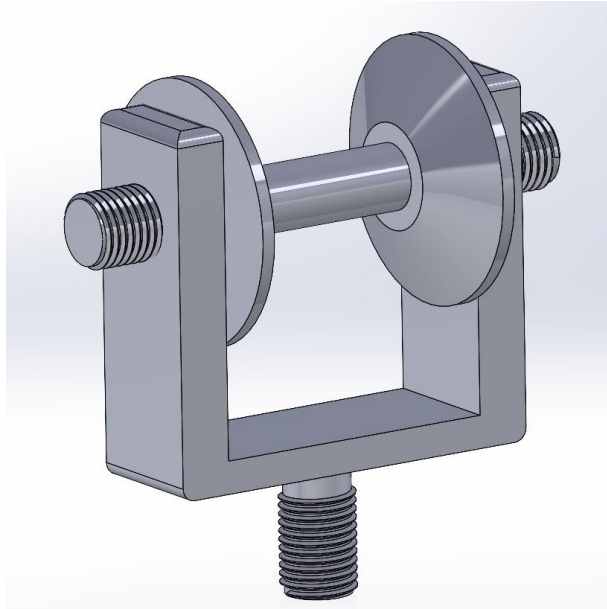


Рис. 3.13. Пропоноване рішення нижнього кріплення

Використання конусних фіксаторів забезпечує наступні переваги:

1) Ефект самоцентрування.

При затягуванні гайок конічні поверхні автоматично вирівнюють вісь отвору амортизатора з віссю навантаження стенду. Це гарантує коаксіальність прикладання сили, виключаючи виникнення паразитних згинальних моментів та бокових зусиль на шток, що критично важливо для чистоти експерименту.

2) Усунення люфтів

Силове замкнення конусних поверхонь створює умовно жорстке з'єднання, повністю прибираючи зазори.

3) Економічна ефективність

Час на підготовку до випробувань зразка скорочується з годин до декількох хвилин. Як наслідок, виключаються витрати на матеріал та послуги токаря.

Результатом ідеї рекомендації є перехід від використання індивідуальних перехідних втулок до впровадження універсальної конусної системи кріплення. Це дозволить скоротити час підготовки до випробувань з годин до хвилин, а також повністю виключити супутні витрати на матеріали та механічну обробку, що суттєво підвищує загальну ефективність експлуатації стенду для випробовування амортизаторів.

Висновок до 3-го розділу:

У розділі було виконано комплексний аналіз випробувального стенду на базі КПІ ім. Ігоря Сікорського та проведено модернізацію шляхом впровадження цифрової системи керування на базі модуля NI USB-6008.

Порівняльні експериментальні дослідження роботи стенду до та після модернізації в частотному діапазоні від 0,2 до 1,42Гц дозволили зробити обґрунтований висновок щодо його метрологічних характеристик. Статистична обробка результатів продемонструвала суттєве зменшення розсіювання пікових значень сили після відмови від осцилографічного методу вимірювання амплітуди. Зокрема для найменшої частоти 0,25Гц відхилення зменшилось зі 105 Н до 28 Н (коефіцієнт підвищення точності $\approx 3,8$), а для найбільшої з досліджуваної частоти 1,42Гц – з 193 Н до 36 Н (коефіцієнт підвищення точності $\approx 5,4$). Впровадження системи автоматичної стабілізації амплітуди дозволило підвищити достовірність результатів випробувань у 3,8-5,4 рази залежно від частоти, забезпечивши стабільну похибку вимірювання не більше 0,6 % у всьому робочому діапазоні.

Окрім модернізації системи керування, у розділі наведено рекомендації щодо вдосконалення або заміни окремих вузлів стенду: маслостанції, динамометричної скоби, системи кріплення випробовуваного зразка у стенді.

Аналіз показав що існуюча маслостанція з потужністю 22 кВт має надмірну витрату та високе енергоспоживання. Виконавши підбір маслостанції відповідно до потреб гідравлічного підсилювача РМ-120, було запропоновано сучасне енергоефективне рішення – станцію ПГМ-6240-1500М з потужністю 4 кВт. Розрахунок засвідчив зниження енергоспоживання станції у 5,5 разів, що суттєво підвищує економічну ефективність експлуатації лабораторного обладнання.

Запропоноване рішення заміни непрямого методу вимірювання через деформацію скоби ДОСМ-3-1 на прямий тензометричний метод із використанням датчика Zemic H3-G-C3-2.0t дозволить зменшити розрахункову похибку вимірювання сили з 1,2% до 0,06%.

Також, розроблено концепт універсальної системи кріплення амортизаторів на базі зустрічних конусних фіксаторів. Відмова від виготовлення індивідуальних

перехідних втулок забезпечить самоцентрування амортизатора, ліквідацію люфтів, а також скорочення часу підготовки стенду до випробувань з годин до декількох хвилин, виключивши витрати на матеріали та токарні роботи.

Комплекс проведених заходів з модернізації дозволяє трансформувати стенд у високоточний та енергоефективний вимірювальний комплекс. Досягнуте підвищення точності вже на поточному етапі гарантує високу достовірність отриманих характеристик амортизаторів та підвищує потенціал стенду для подальших дослідницьких робіт.

РОЗДІЛ 4. Інструкція з експлуатації розробленої системи

Розділ зосереджений на забезпеченні надійності, стабільності та довговічності роботи стенду для випробування амортизаторів. У ньому розглядаються основні вимоги до правильної експлуатації обладнання, порядок проведення технічного обслуговування та перевірки стану його складових частин. Також визначаються рекомендації щодо дотримання режимів роботи, своєчасного виявлення несправностей і проведення профілактичних заходів. Виконання цих вимог сприятиме підтриманню оптимальних умов функціонування стенду та запобігатиме передчасному зносу його елементів.

4.1. Призначення та умови експлуатації

1) Стенд (далі – Установа) призначений для проведення лабораторних досліджень робочих характеристик гідравлічних та газонаповнених амортизаторів підвіски автомобілів.

2) Установа забезпечує створення зворотно-поступального руху штока амортизатора із заданими параметрами (частота, амплітуда) та одночасну реєстрацію параметрів "Зусилля-Переміщення".

3) Установа призначена для експлуатації в закритих, сухих та опалюваних лабораторних приміщеннях.

- Рекомендована температура навколишнього середовища: $+15^{\circ}\text{C} \dots +30^{\circ}\text{C}$.
- Відносна вологість повітря: не більше 60%.
- Напруга мережі живлення: $380\text{ В} \pm 10\%$, частота 50 Гц.

Забороняється використовувати установку для випробувань, що перевищують її технічні характеристики, а також для випробування несправних або деформованих зразків.

4.2. Основні технічні характеристики

Для забезпечення коректної експлуатації оператор повинен дотримуватись граничних параметрів Установки:

- Живлення: однофазна мережа 380 В, 50 Гц.
- Тип приводу: гідравлічний, від насосної станції.
- Робочий тиск основного циліндра: $p_{\text{ном}} = 210\text{бар} = 21\text{ МПа}$;
- Корисне зусилля бустера: $P = 65\text{ кН}$;
- Робочий тиск у гідросистемі: 18-25 МПа (залежно від режиму).
- Максимальний хід штока приводу: 100 мм.
- Діапазон частот коливань: 0 – 150 Гц.
- Максимальне зусилля (стиск/відбій): 15000 Н.
- Тип датчика сили: тензометрична скоба ДОСМ-3-1.
- Тип датчика переміщення: лінійний резистивний.
- Інтерфейс передачі даних: USB 2.0.

4.3. Організація безпечної роботи оператора станду

Перед початком роботи на станді для випробування амортизаторів необхідно дотримуватися таких умов:

- 1) До експлуатації станду допускаються особи віком від 18 років, які пройшли спеціальне навчання, вступний, первинний та повторний інструктажі з безпечного користування обладнанням, а також медичний огляд, що підтверджує придатність до виконання робіт.
- 2) Під час роботи обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, зокрема спеціального одягу, захисних окулярів і рукавиць, які запобігають травмуванню під час проведення випробувань.

4.4. Підготовка стенда до роботи

1) Провести візуальний огляд Установки:

- Переконатися у відсутності витоків мастила з гідростанції, шлангів високого тиску (ШВТ) та гідравлічного приводу.
- Перевірити цілісність електричних кабелів живлення та сигнальних кабелів датчиків.
- Перевірити рівень мастила в баку маслостанції.

2) Встановити випробовуваний амортизатор у кріпильні вузли (верхній та нижній). Проконтролювати відсутність люфту зразка.

3) Підключити сигнальний кабель від датчика переміщення до відповідного роз'єму мікроконтролерного блоку.

4) Підключити мікроконтролерний блок до блоку керування гідравлічного приводу для задання частоти. Підключити мікроконтролерний блок до ПК за допомогою USB-кабелю. Заживлення мікроконтролера здійснюється через цей кабель.

5) Подати живлення на ПК, увімкнути його.

6) Запустити на ПК керуюче програмне забезпечення (ПЗ) "LabVIEW".

7) Переконатися, що ПЗ коректно ідентифікувало мікроконтролер (індикатор "Зв'язок" у програмі став зеленим).

8) Виконати процедуру тарування (обнулення) показань датчика сили у програмному забезпеченні, щоб компенсувати вагу штока амортизатора.

4.5. Порядок роботи (Проведення випробування)

1) Переконатися, що Установка готова до роботи (п. 4.4.).

2) В інтерфейсі ПЗ на ПК ввести ідентифікаційні дані зразка (модель, серійний номер).

3) Задати параметри випробування у відповідних полях програми:

- Амплітуда коливань (мм).
 - Частота коливань (Гц).
 - Тривалість тесту (кількість циклів або час у секундах).
- 4) Подати живлення на маслостанцію та увімкнути її задавши робочий тиск.
 - 5) Запустити цикл випробування, натиснувши кнопку "Старт" в інтерфейсі ПЗ.
 - 6) Установка почне зворотно-поступальний рух. На моніторі ПК в реальному часі відображатимуться графіки (робоча діаграма "Сила-Переміщення").
 - 7) Під час тесту оператор обов'язково повинен візуально контролювати роботу Установки, стежити за відсутністю сторонніх шумів, вібрацій та витоків мастила, контролювати тиск у системі за показниками манометра.
 - 8) Після виконання заданої кількості циклів Установка автоматично припинить рух і зупиниться у вихідному положенні.
 - 9) Зберегти отримані дані (протокол випробування) у файл на ПК за допомогою відповідної команди в меню ПЗ.
 - 10) Для проведення наступного тесту зразка повторити кроки 4.5.3 – 4.5.9.
 - 11) Для завершення роботи перейти до розділу 4.6.

4.6. Порядок завершення роботи

- 1) Переконавшись, що цикл випробувань завершено і привід станда нерухомий.
- 2) Вимкнути гідравлічну насосну станцію (кнопкою "Стоп").
- 3) Коректно закрити програмне забезпечення на ПК.
- 4) Вимкнути живлення мікроконтролерного блоку (витягнути з'єднувальний кабель).
- 5) Вимкнути ПК.
- 6) Вимкнути загальне живлення Установки (від'єднати від мережі 220 В).
- 7) Тільки після вимкнення гідростанції та падіння тиску, провести демонтаж випробовуваного амортизатора.
- 8) Очистити робочу зону від бруду або технічних рідин (якщо вони з'явилися).

4.7. Дії в аварійних ситуаціях

1) У будь-якій незрозумілій чи аварійній ситуації оператор зобов'язаний негайно натиснути червону кнопку "АВАРІЙНА ЗУПИНКА".

(Примітка: Ця кнопка повністю зупиняє систему керування).

2) Ознаки аварійної ситуації:

- Сильний нехарактерний стук.
- Руйнування амортизатора.
- Розрив шланга ШВТ.
- Поява диму або вогню.
- Ураження людини струмом.

3) Після натискання "Аварійної зупинки":

- Повністю знеструмити стенд, вимкнувши його з розетки 220 В.
- Повідомити керівника лабораторії.
- У разі розливу мастила – локалізувати його за допомогою тирси або абсорбенту.
- У разі пожежі – вжити заходів для гасіння за допомогою порошкового вогнегасника (використовувати воду заборонено!).
- У разі ураження когось струмом – надати першу до медичну допомогу.

4.8. Технічне обслуговування

1) Щоденне обслуговування (ЩО):

- Виконується оператором після завершення робіт (п. 4.5).
- Включає: очищення Установки, візуальний огляд на предмет механічних пошкоджень, перевірка відсутності витоків мастила.

2) Планове обслуговування (ТО-1):

- Виконується 1 раз на місяць або кожні 50 годин роботи.
- Включає: перевірку рівня мастила в гідробаці, перевірку затягування різьбових з'єднань кріплень, очищення контактів.

3) Сезонне/Річне обслуговування (ТО-2):

- Виконується 1 раз на рік кваліфікованим персоналом.
- Включає: заміну мастила та фільтруючого елемента в гідросистемі, перевірку та калібрування датчиків сили та переміщення за допомогою еталонних приладів.
- Результати калібрування та ТО заносяться у журнал експлуатації Установки.

4.9. Можливі несправності та методи їх усунення

№	Ознака несправності	Можлива причина	Метод усунення
1	Установка не вмикається	Відсутня напруга мережі 220 В	Перевірити кабель живлення, автомат у щитку.
2	ПЗ не бачить мікроконтролер	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відсутнє живлення мікроконтролера. 2. Некоректно встановлено драйвер. 3. Поганий контакт в USB-кабелі. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Перевірити живлення блоку. 2. Перевстановити драйвер пристрою. 3. Перепідключити USB-кабель.
3	Гідростанція працює, але привід не рухається	<ol style="list-style-type: none"> 1. Недостатній рівень мастила в баку. 2. Низький тиск у системі. 3. Несправність гідророзподільника. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Долити мастило до рівня. 2. Відрегулювати редукційний клапан. 3. Звернутись до технічного відділу підприємства-виробника, або до торгового представника

			для подальшого діагностування.
4	Некоректні (нелогічні) показники датчика	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поганий контакт у роз'ємі датчика. 2. Датчик потребує калібрування. 3. Електромагнітні перешкоди 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Перепідключити роз'єм. 2. Провести калібрування (п. 4.8). 3. Перевірити цілісність екранування кабелів.
5	Витік гідравлічного мастила	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пошкоджене ущільнення. 2. Ослаблення затяжки різьбового з'єднання ШВТ. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. негайно зупинити стенд (п. 4.7.). 2. Затягнути ущільнення або підтягнути з'єднання (тільки після скидання тиску!).

Таблиця 4.1. Можливі несправності та методи їх усунення

У разі виникнення збоїв у роботі стенду, що не вдається владнати вище зазначеною інструкцією, слід припинити подальшу його експлуатацію та звернутися на підприємство-виробник або до торгового представника.

Висновок до 4-го розділу:

У розділі зосереджено увагу на створенні інструкції з використання стенду для випробовування амортизаторів. Враховуючи перехід від ручного керування до цифрового, було розроблено принципово новий алгоритм дій оператора. Для забезпечення коректної експлуатації наведено граничні параметри стенду. Затверджено порядок проведення випробувань, їх завершення, а також дії в аварійних ситуаціях. Додатково приділено увагу розділу з технічного обслуговування, а також перелік можливих несправностей стенду та методи їх усунення. Дотримання вищезазначених вимог дозволяє мінімізувати ризик пошкодження дороговартісної електроніки та виконавчих механізмів внаслідок помилок оператора.

РОЗДІЛ 5. Розробка стартап-проєкту

Розвиток проєкту передбачає розширення початкової ідеї шляхом створення універсального стенду для випробування амортизаторів. Такий підхід дозволить не лише проводити комплексні експериментальні дослідження, а й сформуванню багатofункціональний продукт, придатний для використання в наукових лабораторіях, станціях технічного обслуговування автомобілів, а також на заводах автовиробників. Проєкт сприятиме підвищенню ефективності процесів тестування та стимулюватиме подальший розвиток інновацій у сфері транспортного машинобудування. Розділ виконаний за використання методичних рекомендацій КПІ ім. Ігоря Сікорського. [14]

5.1 Опис ідеї проєкту (товару, послуги, технології)

Таблиця 5.1. Аналіз змісту ідеї та напрямків застосування

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Опис
Стенд для випробування амортизаторів транспортних засобів оснащений цифровим керуванням	1. Випробувальні лабораторії	Виконання сертифікації та визначення робочих характеристик отриманих зразків амортизаторів. Оптимізація роботи, зниження витрат електроенергії, покращення продуктивності й точності.
	2. Станції технічного обслуговування	Точкова перевірка компонентів підвіски автомобіля при технічному

		обслуговуванні. Оптимізація роботи, зниження витрат електроенергії, покращення продуктивності й точності.
	3. Підприємства з виготовлення автомобілів	Перевірка відповідності амортизаторів заявленим характеристикам. Оптимізація роботи, зниження витрат електроенергії, покращення продуктивності й точності.

5.1.1 Аналіз технічно-економічних переваг ідеї

Технічно-економічні характеристики проєкту:

Гідравлічний привод: точне, надійне та швидке управління станом.

Електронне управління: швидке виконання дослідів/перевірок.

Модульність: адаптація до різних моделей амортизаторів.

Таблиця 5.1.1. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї

№ п/п	Технічно-економічні характеристики	Мій проєкт	Конкурент 1	Конкурент 2	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
1	точність та швидкість управління стендом	Висока	Висока	Висока			+
2	Енергоефективність	Висока	Висока	Середня		+	
3	Простота інтеграції	Висока	Середня	Середня			+
4	Вартість	Середня	Висока	Середня			+

5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

В цьому розділі проведено технічний аудит, який дає чітке уявлення про етапи технологічного аудиту та його основні завдання, що допоможуть здійснити повний аналіз ідеї проєкту.

Таблиця 5.2. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Вимірювання робочих характеристик стійок амортизаторів	Виробництво спеціалізованого стенду	Наявні на ринку	Доступні
2	Створення універсального робочого стенду для досліджень	Виконання змінних кріплень для фіксації амортизаторів	Наявні на ринку	Доступні
3	Автоматизоване вимірювання параметрів під час досліджень	Модернізація стенду шляхом впровадження електронного керування	Наявні на ринку	Доступні
4	Отримання робочих характеристик	Програмне забезпечення для кодування (python, MatLab)	Наявні на ринку	Доступні

Обрана технологія реалізації ідеї проєкту:

- 1) Виробництво спеціалізованого стенду. Реалізується завдяки зварюванню стенду, деталі якого отримані шляхом лазерної порізки. Деталі стенду можна замовити у відповідних постачальників металу.
- 2) Виконання змінних кріплень для фіксації амортизаторів. Використовуються для надійної фіксації досліджувальних зразків. Їх можна замовити у профільних підприємств з токарними верстатами.

3) Модернізація стенду шляхом впровадження електронного керування. Забезпечення точного управління системою завдяки впровадженню мультифункціонального модуля. Вибір падає на NI USB-6008 через його доступність та гнучкість.

4) Програмне забезпечення для кодування (python, MatLab). Це програмне забезпечення дає можливість швидкого та точного контролю під час випробувань. Ідентифікація потреб потенційних користувачів у поєднанні з урахуванням актуальних тенденцій розвитку галузі дає змогу адаптувати технології з метою підвищення ефективності технічних процесів і зменшення енергоспоживання. Такий підхід сприяє зміцненню конкурентоспроможності стартапу та забезпечує розроблення інноваційних рішень, що відповідають сучасним вимогам ефективності й технологічним стандартам.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Для оцінки ринкового потенціалу проєкту, в розділі буде проведено аналіз основних показників ринку, динаміки його розвитку та бар'єрів для входу.

5.3.1 Аналіз попиту: стан ринку

Таблиця 5.3.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	10-12 компаній
2	Динаміка ринку	Зростає. 2-4% щорічного зростання завдяки виходу на ринок нових виробників амортизаторів, а також через відкриття нових станцій технічного обслуговування.
3	Наявність обмежень для входу	Необхідність сертифікації, висока конкуренція з

		провідними брендами.
№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність методам випробовувань за ГОСТ 34339-2017.
5	Середня норма рентабельності в галузі, %	25-30

Ринок демонструє стабільне зростання, що робить його привабливим для виходу на нього, однак високі бар'єри входу зумовлюють необхідність ретельної підготовки та стратегічного планування.

5.3.2 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Проведено аналіз основних груп потенційних клієнтів, а також їхніх потреб і вимог до продукції.

Таблиця 5.3.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги споживачів до товару
1	Простота конструкції	СТО, автоспортивні команди, випробувальні центри, автовиробники.	Висока точність та швидкодія, відповідність державним стандартам випробовувань.
2	Можливість універсального використання	СТО, автоспортивні команди, випробувальні центри, автовиробники.	Можливість використовувати з різними видами амортизаторів що мають різні кріплення.

3	Покращення ефективності	СТО, автоспортівні команди, випробувальні центри, автовиробники.	Оптимізація роботи, зниження витрат електроенергії, покращення продуктивності й точності.
---	-------------------------	--	---

5.3.3 Аналіз ринкового середовища: загрози та можливості

З метою всебічної оцінки ринку визначено основні фактори, що формують його загрози та можливості.

Таблиця 5.3.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока конкуренція	Домінування великих компаній на ринку	Випуск через інноваційність продукту у співвідношенні ціна-якість
2	Залежність від замовників	Відсутність потрібної кількості замовлень на початку випуску	Залучення спеціалізованих партнерів-споживачів

Таблиця 5.3.3.1. Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання світового автомобільного ринку	Підвищений попит на пост-гарантійне обслуговування	Залучення спеціалізованих партнерів технічного обслуговування станцій
2	Зростання кількості спеціалізованих лабораторій для випробовувань	Збільшення попиту на випробувальні стенди	Збільшення обсягів виробництва з можливим залученням інвестицій

5.3.4 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Таблиця 5.3.4. Ступеневий аналіз конкуренції

Особливості конкурентного середовища	Прояви	Вплив на діяльність підприємства
Рівень конкурентної боротьби	Локальний	Використання локальних партнерських умов для масштабування
Галузева конкуренція	Внутрішньогалузева	Конкуренція між виробниками стендового обладнання.
Тип конкуренції	Олігополія	Потреба у заохоченні ціною та якістю продукції.

5.3.5 SWOT-аналіз стартап-проєкту

Таблиця 5.3.5. Опис SWOT-аналізу стартап-проєкту

SWOT-аналіз	Опис
Сильні сторони	Можливість адаптації стенду під увесь спектр існуючих амортизаторів. Енергоефективність. Швидкість проведення дослідів. Простота конструкції.
Слабкі сторони	Високі початкові витрати на маркетинг. Обмеженість ресурсів на ранніх етапах розвитку.
Можливості	Зростання попиту завдяки виходу на ринок нових виробників амортизаторів, а також через відкриття нових станцій технічного обслуговування. Потенціал для партнерства з великими компаніями та університетами.
Загрози	Висока залежність від постачальників компонентів. Значна конкуренція сильних гравців на ринку у даному вузькопрофільному сегменті.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту

Для успішного виходу стартапу на ринок необхідно ідентифікувати цільові групи споживачів, проаналізувати їхні потреби та рівень готовності до сприйняття запропонованого продукту.

5.4.1 Визначення стратегії охоплення ринку

Таблиця 5.4.1. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції у сегмент	Простота входу у сегмент
1	Випробувальні лабораторії	Висока	20-30 стендів щорічно	Середня	Середня
№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції у сегмент	Простота входу у сегмент
2	Станції технічного обслуговування	Висока	80-100 стендів щорічно	Висока	Низька
3	Автовиробники	Середня	10-15 систем щорічно	Висока	Низька

Обрані цільові групи:

- 1) Випробувальні лабораторії, які визначають робочі характеристики отриманих зразків амортизаторів.
- 2) Станції технічного обслуговування, які перевіряють справність амортизаторів автовласника і роблять заключення потребують вони заміни чи ні.
- 3) Автовиробники, які виконують перевірку відповідності характеристик амортизатора заявлених виробником-постачальником.

Обрано стратегію диференційованого маркетингу, яка передбачає розроблення індивідуальних програм для кожного сегмента з урахуванням їхніх особливих потреб.

5.4.2 Визначення базової стратегії розвитку

Для діяльності в обраних ринкових сегментах визначено стратегічні напрями розвитку, що узгоджуються з рівнем конкурентоспроможності стартапу.

Таблиця 5.4.2. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
1	Співпраця з випробувальними центрами	Концентрований маркетинг	Висока точність, надійність, простота конструкції	Стратегія спеціалізації
2	Співпраця зі станціями технічного обслуговування	Концентрований маркетинг	Модульність, конкурентна ціна	Стратегія спеціалізації

5.4.3 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Аналіз стратегії конкурентної поведінки здійснюється з урахуванням унікальних характеристик продукту та потенціалу залучення нових споживачів.

Таблиця 5.4.3. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проєкт «новинкою» на ринку	Компанія буде шукати нових споживачів чи орієнтуватись на існуючих?	Компанія збирається копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Орієнтація на залучення нових та заохочення діючих клієнтів продукції.	Ні	Стратегія лідерства
№	Чи є проєкт «новинкою» на ринку	Компанія буде шукати нових споживачів чи орієнтуватись на існуючих?	Компанія збирається копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
2	Ні	Орієнтація на залучення нових та заохочення діючих клієнтів продукції.	Так	Стратегія технічного наслідування.

5.4.4 Визначення стратегії позиціонування

Таблиця 5.4.4. Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентно-спроможні позиції	Вибір асоціацій, які мають сформулювати позицію проєкту
1	Точність, швидкодія, енергоефективність,	Стратегія оптимізації	Точність, енерго-ефективність, швидкість	«Безпека», «Професійний підхід», «Швидкість

	відповідність стандартам			проведення випробувань»
2	Багато-функціональність, конкурентна ціна	Стратегія розвитку продукту	Доступність, модульність	«Доступність», «Якість», «Варіативність»

Розроблено ринкову стратегію стартапу, яка поєднує стратегію спеціалізованого залучення випробувальних центрів, а також станцій технічного обслуговування. Стратегія концентрованого маркетингу дозволить зосередити всі зусилля на одному сегменті ринку, ставлячи за мету максимально задовольнити потреби цієї єдиної групи споживачів, формуючи унікальну ринкову позицію через асоціації «професійний підхід», «варіативність», та «доступність».

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для оцінювання конкурентоспроможності товару здійснено аналіз основних потреб цільових груп споживачів, визначено запропоновані продуктом вигоди та його ключові переваги порівняно з конкурентами.

5.5.1 Формування маркетингової концепції товару

Таблиця 5.5.1. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Переваги перед конкурентами
1	Простота досліджень	Автоматизований процес досліджень через використання цифрового модуля	Швидкодія системи, висока точність управління.
2	Зниження витрат на дослідження	Значна економія енергоресурсів, а	Інтеграція енергоефективних компонентів.

		також робочого часу працівник лабораторії	
3	Модульність	Індивідуальні налаштування під різні типи амортизаторів	Модульна конструкція, сумісність з усіма типами амортизаторів.

5.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару

В розділі наведено модель товару, що враховує основну потребу споживача, технічні характеристики продукції та особливості її пост-продажного обслуговування.

Таблиця 5.5.2. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
Товар за задумом	Задоволення потреби у енергоефективності, а також підвищенні ефективності проведення досліджень.
Товар у виконанні	- Властивості: автоматичне визначення робочих характеристик амортизаторів; змінні кріплення що входять до комплекту надають можливість досліджень усіх видів амортизаторів.
	- Якість: відповідність стандартам ISO, ГОСТ, ДСТУ.
	- Пакування: екологічно чисті матеріали.
Товар із підкріпленням	- До продажу: онлайн-консультація, гарантія 4 роки.
	- Після продажу: технічна підтримка.

5.5.3 Визначення цінових меж

Для встановлення ціни враховувалися товари-аналоги, рівень доходів цільових груп і конкурентні пропозиції.

Таблиця 5.5.3. Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін товарів-аналогів	Рівень доходу цільової групи	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	17000-19000\$	19500-22000\$	Високий	20000-21000\$

5.5.4 Визначення оптимальної системи збуту

Обрано модель власної системи збуту через спеціалізовані канали та партнерські програми з випробувальними лабораторіями, а також станціями технічного обслуговування.

Таблиця 5.5.4. Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Купівля через партнерів-представників: випробувальні лабораторії, а також станції технічного обслуговування.	Гарантія якості; забезпечення цілодобової підтримки	Однорівневий	Партнерські спеціалізовані представництва
2	Інтернет-магазин	Доставка, гарантія якості, забезпечення цілодобової підтримки	Прямий	Власна платформа електронної комерції

5.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій

Розроблена комунікаційна стратегія включає цільове позиціонування, вибір каналів зв'язку та ключові меседжі.

Таблиця 5.5.5. Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки клієнтів	Канали комунікацій	Ключові позиції	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Досвідчені особи у сфері досліджень та випробувань	Спеціалізовані форуми	Точність, надійність, доступність	Інформування про переваги продукту, модульність конструкції.	«Простота конструкції – запорука надійності»
2	Автомайстри	Спеціалізовані форуми, соцмережі		Інформування про переваги продукту, модульність конструкції.	«Один стенд – будь-яке авто»

Розроблена маркетингова програма передбачає формування унікальної ціннісної пропозиції, адаптованої до потреб різних сегментів споживачів. Використання сучасних каналів комунікації, оптимальної цінової політики та власної системи збуту сприятиме ефективному виходу стартапу на ринок і зміцненню його конкурентних позицій.

Висновок до 5-го розділу:

Динаміка розвитку автомобільної промисловості невідмінно зростає. Проведений аналіз підтверджує доцільність ринкової комерціалізації проекту, а високий рівень рентабельності в галузі (25–30%) є тому підтвердженням.

Перспективи впровадження проекту є високими, враховуючи вихід на ринок великої кількості нових виробників автомобільних амортизаторів, а також відкриття все більшої кількості станцій технічного обслуговування автомобілів. Хоча на ринку вже є сильні гравці, запропонована розробка забезпечує високу конкурентоспроможність.

Рекомендованою альтернативою ринкового впровадження є використання концентрованого маркетингу, орієнтованого на конкретних споживачів. Розвиток мережі збуту через партнерів-представників та інтернет-магазин.

Проект є доцільним для подальшої імплементації через його сучасне технічне рішення, конкурентоспроможні технічні характеристики, а також завдяки модульності: можливість використання стенду з будь-яким типом кріплень амортизаторів. Результатом чіткого окреслення розробленої маркетингової стратегії є висока ймовірність успішного запуску продукту.

Отже, стартап-проект має значний потенціал для формування конкурентних переваг і здатен посісти вагому нішу на ринку випробувальних стендів для амортизаторів.

РОЗДІЛ 6. Безпечна експлуатація об'єкта проєктування

6.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі в приміщенні де здійснюється перевірка роботи амортизаторів

В цьому розділі проводиться аналіз охорони праці у приміщенні, на робочому місці, під час випробувань роботи амортизатора. Розглянемо небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на працівника відповідно до класифікації, наведеної у ГОСТ 12.0.003-74 [15]. Робоче місце знаходиться в закритому приміщенні де встановлені різного роду експериментальні установки. Відповідно до цього на працівника діють небезпечні виробничі фактори.

6.1.1 Фізичні фактори.

Рухомі машини і механізми; рухомі частини експериментального обладнання. Джерелами є механізми і апарати, задіяні у дослідженні роботи амортизаторів (поздовжні рухи досліджуваного об'єкту, частини конструкції що здійснюють рух).

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань.

Основними джерелами є асинхронний двигун, гідравлічний. Частина електромагнітної енергії з електродвигуна випромінюється в навколишній простір.

Підвищений рівень шуму на робочому місці.

Джерелами є механізми, що задіяні у стенді для дослідження (електродвигун, обертальні частини конструкції самого стенду).

Відсутність або нестача природного світла.

Джерело – недостатня площа вікон або їх недоцільне розташування у приміщенні.

6.1.2 Психофізіологічні фактори.

Фізичні перевантаження (перенапруження м'язів).

Джерело – вантажно-розвантажувальні роботи з прийому зразків на дослідження, встановлення та їх підготовка перед початком роботи установки.

Нервово-психічні перевантаження (перенапруження аналізаторів, монотонність праці, зоровий дискомфорт).

Джерело – контроль роботи по забезпеченню коректної поведінки стенду під час випробувань.

6.2 Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при дослідженні робочих характеристик амортизатора

Механізми і рухомі частини виробничого обладнання.

Захист від механічних травм полягає в установці загороджувальних пристроїв, що перешкоджають попаданню людини або його органів в небезпечну зону під час роботи стенду.

Небезпечне значення напруги в електричному ланцюзі та безпека його замкнення крізь тіло людини.

Всі елементи електричних приладів, по яких проходить струм мають бути надійно захищені від випадкового дотику. Металеві та неметалеві електропровідні конструкції, комунікації та виробниче обладнання повинні бути заземленими. Не можна залишати без нагляду не виключені електроприлади, допускати до них сторонніх осіб.

Підвищений рівень шуму на робочому місці.

Важливим для зниження небезпечного впливу шуму на організм людини є правильна організація режиму праці та відпочинку, забезпечення

постійного медичного спостереження за станом здоров'я, організація лікувально-профілактичних заходів, обов'язкова вітамінізація та ін.

Існують дві основні групи заходів щодо боротьби з шумом і вібраціями: організаційні та технічні. Організаційні заходи включають в себе використання обладнання з мінімальними динамічними навантаженнями, правильний монтаж, належну експлуатацію, регулярне обслуговування та застосування засобів індивідуального захисту від шуму і вібрацій.

Основним джерелом виникнення вібрації є електродвигуни. Причинами вібрації є неврівноважені сили, що виникають внаслідок незбалансованості або нерівномірного зносу вузлів та механізмів, неправильного центрування осей агрегатів під час переходу обертання за допомогою сполучної муфти, ослаблення кріплення устаткування на фундаменті або його стійкості, незадовільний стан підшипників, а також інші фактори, спричинені місцевими умовами експлуатації обладнання.

Технічні заходи включають ізоляцію фундаментів обладнання від несучих конструкцій та технологічних комунікацій, а також використання звукоізоляційних кожухів для приводів. [15]

Нестача або відсутність природного світла.

Головне призначення освітлення в приміщеннях полягає у створенні оптимальних умов для зорової активності. Цього можна досягти лише за допомогою освітлювальної системи, що відповідає таким критеріям: освітленість на робочому місці, яка враховує характер зорової роботи, заснований на об'єкті розрізнення, фоні та контрасті об'єкта.

Для забезпечення рівномірного природного освітлення в приміщеннях застосовується комбіноване освітлення. Використання світлих фарб для стелі, стін та обладнання сприяє рівномірному розподілу яскравості в зоні видимості.

Підвищена вологість повітря.

Простим та ефективним способом є створення потрібного мікроклімату в робочій зоні за допомогою сучасних систем кондиціонування, які підтримують температуру, чистоту і рівень вологості повітря в приміщенні на заданому рівні. Дослідженнями було доведено, що кондиціонування повітря на робочому місці сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню кількості нещасних випадків, а також зниженню захворюваності працівників.

6.3 Характеристика робочої зони

Приміщення в університеті, де відбуваються випробовування має наступні параметри:

Висота = 4 м

Довжина = 10 м

Ширина = 4 м

Кількість працівників: 3 особи.

Опираючись на ці дані, визначено площу та об'єм виробничого цеху:

$$S = 10 \cdot 4 = 40 \text{ м}^2$$

$$V = 10 \cdot 4 \cdot 4 = 160 \text{ м}^3$$

Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 [16] з розрахунку на одне робоче місце, встановленими норми: площа – не менше 10 кв. м.

У лабораторії одночасно працює до 3-ох працівників. Проаналізувавши отримані дані, площа та об'єм на одного працівника лабораторії повністю відповідає нормам.

6.4 Освітлення

Недостатнє або надмірне освітлення, а також нерівномірність його розподілу можуть призводити до втомленості очей, що впливає на зниження продуктивності праці та збільшення ризику помилок і нещасних випадків. Занадто яскраве освітлення може викликати головний біль, дискомфорт в

очах, порушення гостроти зору та тимчасове засліплення від світлових відблисків.

Освітлення поділяють на два типи: природне та штучне.

Як правило, приміщення де облаштовані робочі місця людей повинні мати природне освітлення, але і йому властиві недоліки: непостійність в різні періоди доби та року, в різну погоду; нерівномірно розподіляється по площі виробничого приміщення; при незадовільній його організації може викликати засліплення органів зору. [16]

Штучне освітлення передбачається в усіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень у темний період доби. При розрахунку необхідної кількості штучного освітлення мають бути дотримані сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи, а також мають бути враховані їх економічні показники.

Фактори, які мають бути враховані у підрозділі “Освітлення” охорони праці для лабораторії наступні:

1. Забезпечення на робочій поверхні освітленості, що відповідає характеру роботи і відповідає встановленим нормам.
2. Рівномірний розподіл освітлення по всій робочій поверхні, задля уникнення постійної переадаптації органів зору.
3. Зведення до мінімуму кількості відблисків виробничого обладнання та освітлювальних приладів.
4. Використовуване штучне світло, за спектральним складом, має бути наближеним до природного.
5. Освітлювальне обладнання має проходити регулярні перевірки та обслуговування, бути надійним та простим в експлуатації, відповідати естетичним та економічним вимогам.

6.4.1 Розрахунок освітленості

Для освітлення лабораторії використовують люменісцентні лампи. Розрахунок буде проведений методом використання світлового потоку. [17] Для визначення необхідної кількості світильників, котрі забезпечать нормований рівень освітленості, що падає на робочу поверхню, скористаємось наступною формулою:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}$$

F - світловий потік, що розраховується, Лм;

E - нормована освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S - площа освітлюваного приміщення; S= 40 м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення (приймається в межах 1,1... 1,15), Z=1.1

K - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп. Його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому. Для нашого розрахунку K =1.8.

η - коефіцієнт використання світлового потоку. Визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення і, коефіцієнтів відбиття стін (р.с.) та стелі (р.в.). Для нашого приміщення показники наступні: р.с.=40% ; р.в.=60% ;

Індекс приміщення обчислюємо за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A + B)} = 0,96$$

S – площа приміщення, S = 40м²; h – розрахункова висота підвісу, h = 3 м;

A – ширина приміщення, A = 4 м; B – довжина приміщення, B = 10 м.

Отримавши значення індексу приміщення, за таблицею 4 [ДБН В.2.5-28-2006] обираємо значення $\eta = 0.74$.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку F:

$$F = 41108 \text{ Лм}$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу philips tl-d 18w/54-765, світловий потік яких складає приблизно 5000 Лм.

Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою:

$$N = F/F_{\text{л}} = 41108/5000 = 8.22$$

N – кількість ламп, що визначається; F - світловий потік, F = 41108 Лм;

F_л- світловий потік лампи, F_л = 5000.

Тому, необхідним є встановлення 9 ламп у світильники для забезпечення норми освітлення.

Дотримання цих вимог відповідно до нормативних документів та стандартів допоможе забезпечити належне освітлення у лабораторії, знизити ризик нещасних випадків та покращити комфорт працівників. Це сприятиме безпеці, здоров'ю та продуктивності робітників лабораторії університету.

6.5 Пожежна безпека

Розділ "Пожежна безпека" для охорони праці у лабораторних приміщеннях передбачає ряд вимог, спрямованих на запобігання пожеж та забезпечення безпеки працівників. Виконання цих правил допоможе знизити ризик пожежі і забезпечити безпеку працівників.

Відповідальний за проведення дослідів повинен визначити обов'язки посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку приміщення, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання й експлуатацію засобів протипожежного захисту.

Рекомендації з плану пожежної безпеки включають створення докладного плану евакуації, який повинен бути розміщений на видному місці. Він має включати маршрути евакуації, місцезнаходження пожежних виходів, а також процедури сповіщення про пожежу та виклику пожежної служби.

Для забезпечення пожежної безпеки у виробничих приміщеннях обов'язковою є наявність вогнегасників правильного типу та кількості. Вогнегасники з класом пожежі В можуть бути використані в разі пожеж,

спричинених займанням рідких, або твердих речовин. Важливим є розміщення вогнегасників у легкодоступних і помітних місцях, поблизу потенційних осередків пожежі. Визначення категорії приміщення за пожежною безпекою регламентує ДСТУ Б В. 1.1.-36.2016. [18]

Легкозаймисті речовини мають зберігатись відповідно до вимог пожежної безпеки, в окремих контейнерах, які відповідають стандартам.

Працівники повинні бути інструктовані та навчені з питань пожежної безпеки. Це включає ознайомлення з процедурами евакуації, використанням вогнегасників та правилами поведінки під час пожежі. Регулярні тренування та інструктажі допоможуть підготувати працівників до дій в екстрених ситуаціях.

Забезпечення пожежної безпеки у лабораторних приміщеннях є необхідним для запобігання пожежам та забезпечення безпеки працівників. Виконання рекомендацій щодо плану пожежної безпеки, використання вогнегасних засобів, дотримання електробезпеки, видалення пожежної небезпеки та проведення інструктажу та навчання допоможе забезпечити безпеку працівників і зменшити ризик пожежі у приміщенні де проводять дослідження.

Висновок до 6-го розділу:

Мною було проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, а також технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів в приміщенні де досліджуються робочі характеристики амортизаторів.

Особливу увагу приділено освітленню та пожежній безпеці. Було проведено розрахунок необхідної кількості освітлення, а також був обраний тип вогнегасників, що відносяться до категорії В.

Поліпшення умов праці, підвищення її безпеки та нешкідливості має велике соціальне та економічне значення і безпосередньо впливає на підвищення продуктивності праці.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення достовірності та ефективності випробувань амортизаторів транспортних засобів шляхом комплексної модернізації системи керування та апаратного забезпечення стенду. На основі системного аналізу методів діагностики встановлено, що експрес-методи без демонтажу вузла не забезпечують необхідної точності для отримання об'єктивних робочих характеристик, тому було обґрунтовано доцільність модернізації наявного лабораторного стенду на базі гідравлічного підсилювача РМ-120. Ключовим напрямком роботи стала заміна застарілої аналогової системи керування що базувалася на генераторі ГЗ-110 та осцилографі, на сучасну цифрову систему, що в результаті дозволило усунути вплив людського фактору, підвищити точність і продуктивність досліджень.

Ключовим результатом роботи є розробка та практична реалізація нової архітектури системи керування на базі програмно-керованого модуля NI USB-6008. Це дозволило створити інтегровану систему «Управління-Вимірювання», яка забезпечує повну автоматизацію циклу випробувань, синхронізацію даних у реальному часі та виконання складних сценаріїв навантаження, скорочуючи час тестування з годин до хвилин. Ефективність цього рішення було підтверджено експериментально під час порівняльних досліджень у частотному діапазоні від 0,25Гц до 1,42Гц. Впровадження автоматичної стабілізації амплітуди дозволило суттєво зменшити розсіювання пікових значень сили: на найменшій частоті 0,25Гц відхилення зменшилось зі 105 Н до 28 Н, а на найвищому значенні частоти 1,42Гц – зі 193 Н до 36 Н. Розрахунковий коефіцієнт підвищення точності склав від 3,8 до 5,4 разів, що гарантує стабільну похибку вимірювання не більше 0,6% у всьому робочому діапазоні.

Після проведеної модернізації було обґрунтовано та рекомендовано низку технічних рішень для підвищення енергоефективності та метрологічних характеристик апаратної частини стенду. Зокрема, заміну маслостанції з потужністю 22 кВт на сучасний варіант ПГМ-6240-1500М потужністю 4 кВт

дозволить знизити енергоспоживання у 5,5 разів при збереженні необхідних тягових характеристик. Перехід на прямий тензометричний метод вимірювання з використанням датчика Zemic H3-G-C3-2.0t здатний забезпечити зменшення похибки вимірювання сили з 1,2% до 0,06%. Крім того, надано технічне рішення з поліпшення стенду завдяки розробці універсальної системи кріплення зразків на базі зустрічних конусних фіксаторів. Це конструктивне рішення забезпечує самоцентрування амортизатора, ліквідацію люфтів та виключає необхідність виготовлення індивідуальних втулок, що суттєво підвищує експлуатаційну ефективність обладнання.

Завершальним етапом роботи стала оцінка комерційної привабливості розробки. Розроблений стартап-проект продемонстрував високий потенціал впровадження модернізованого стенду на ринку обладнання для станцій технічного обслуговування завдяки конкурентним технічним характеристикам та модульності конструкції. Також розроблено та впроваджено комплекс заходів з безпечної експлуатації, що гарантує безпеку експлуатації стендового обладнання та відповідність санітарно-гігієнічним нормам. Таким чином, сукупність виконаних завдань дозволила трансформувати лабораторну установку у високоточний, енергоефективний та комерційно перспективний вимірювальний комплекс.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобільні амортизатори [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://fotocvetov.com/allinnews/sp-office&com&uu/view/avtomobilni/uk/amortizator-avtomobilni-amortizatori.html#m1>.
2. Пояснювальна записка на тему \"Проектування задньої підвіски автомобіля категорії М2\" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eir.zp.edu.ua/server/api/core/bitstreams/03f4775a-4a49-45a6-a7ed-0516c2cd60ad/content>.
3. Фото листових ресор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ressora.ua/images/photosmain3/5-min.jpg>.
4. Фото листових ресор встановлених на авто [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/63/Leafs1.jpg/330px-Leafs1.jpg>.
5. Фото авто Mors 110HP [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/40/Jacques_Salleron%2C_troisi%C3%A8me_du_Paris-Madrid_1903_%28sur_Mors_Z_au_d%C3%A9part%29.jpg/1200px-Jacques_Salleron%2C_troisi%C3%A8me_du_Paris-Madrid_1903_%28sur_Mors_Z_au_d%C3%A9part%29.jpg.
6. Фото автомобільні амортизатори [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.elit.ua/upload/5f/e8/5fe84befeadc08ceb5000b226b279b93.png>.
7. Різновид автомобільних амортизаторів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://vnedorognik.ua/blog/stati/yakimi-buvayut-avtomobilni-amortizatori?srsltid=AfmBOoq8UmqlpkipBUz3P_MmF2H3eSPnpBG4gNV1QLVqteQaunBdz4tS.

8. Біліченко В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів . - Вінниця: ВІТУ, 2012. - 118 с.
9. Наказ про затвердження Змін до Порядку затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ips.ligazakon.net/document/view/RE37070?an=8016>.
10. Інструкція з експлуатації MS1000+ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://servicems.com.ua/for-diagnostics-of-shock-absorbers/test-bench-msg-ms1000.html>.
11. Олива Liqui Moly Hydraulic Oil HLP 46 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://liqui-moly.com.ua/ru/spetsprogrammy/gidravlicheskie-i-kompressornye/liqui-moly-hydraulikoil-hlp-46-20l?srsltid=AfmBOoqmL6eStQmoLlxzntAJdMvkq-q4yduRaEYZvYcYGQQS1YaPVyQ7>.
12. Основи метрології та вимірювальної техніки / М.М. Дорожовець, В.О. Мотало – Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2005. – 532 с.
13. Маслостанція ПГМ-6240-1500М [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://promhydraulic.com.ua/ua/p1738455433-maslostantsiya-pgm-6240.html?srsltid=AfmBOorPA3efLZP1z4eUUjKaD72HcZoQ280N_OSIRZMxmcFbhWOkygF0.
14. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
15. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://budinfo.org.ua/doc/1810987/DST-12-0-003-74-SSBT-Nebezpechni-i-shkidlivi-virobnichi-faktori-Klasifikatsiia>.
16. Вимоги до організації роботи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>.
17. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький. – Львів, 2005. – 319 с.
18. Визначення категорій приміщень [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759