

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра «Інженерія вагонів та якість продукції»

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГОННИХ ВАГІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

МКР. 175.25.12.00. ПЗ

Розробив
здобувач групи 218-ЯСС-Д23
спеціальності 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Сергій МАРТИРОСЯН

Керівник:
доцент кафедри, канд. техн. наук,
доцент

Ганна КОМАРОВА

Рецензент:
професор кафедри, доктор техн. наук,
професор

Едвін ГЕВОРКЯН

2025

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра «Інженерія вагонів та якість продукції»

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВ та ЯП,
професор, д-р техн. наук

_____ І. Е. Мартинов

«____» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
на магістерську кваліфікаційну роботу

Мартиросяну Сергію Робертовичу

1. Тема «Модернізація залізничних вагонних вагів для підвищення точності вимірювання» керівник роботи Комарова Ганна Леонідівна, кан. техн. наук, доцент затверджена розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від “30.09.2024 №41”.

2. Строк подання студентом роботи “30” грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Національна транспортна стратегія України на період до 2030 р.; Технічний регламент безпеки рухомого складу залізничного транспорту; ISO/IEC Guide 99:2007 International Vocabulary of Metrology –Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM); ДСТУ EN ISO 9001:2018; ДСТУ ISO 10012:2005; ДСТУ 2925-94; матеріали переддипломної практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: 1. Метрологічне забезпечення при виконанні зважування вагонів; 2. Аналіз діючих вагонних ваг на залізниці; 3. Розгляд проблем та недоліків існуючих вагонних ваг; 4. Розробка та впровадження нових технологічних рішень для підвищення точності зважування вагонів; Висновки.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: залізничні вагонні ваги, використання тензодатчиків в експлуатації, вигляд вагонних ваг з підземелля, Основні причини похибок при зважуванні вагонних ваг, тензодатчик Dini Argeo-FXC-C6-200kg, заходи для підвищення точності зважування на вагонних ваг, антивібраційні

подушки під назвою Evolo 611, застосування ПЕОМ на мові програмування Python стосовно розробки рекомендацій для практичних, робоче місце оператора зважування вантажних вагонів на станції «А», складене на мові програмування HTML.

6. Дата видачі завдання 16.09.2024.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів	Примітка
1. Аналіз матеріалу, отриманого на базовому підприємстві. Визначення теми кваліфікаційної роботи	02.10-05.10	
2. Написання основних розділів пояснювальної записки	07.10-28.10	
3. Розробка презентацій основної частини роботи	29.10-04.11	
4. Розробка та написання індивідуальної частини роботи	05.11-18.11	
5. Розробка презентаційного матеріалу індивідуальної частини роботи	19.11-25.11	
6. Формулювання висновків кваліфікаційної роботи	26.11-30.11	
7. Перевірка на плагіат	02.12-14.12	
8. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу. Друк	02.12-14.12	
9. Нормоконтроль	16.12-23.12	
10. Рецензування	16.12-23.12	
11. Підписання роботи керівником	16.12-23.12	
12. Підписання роботи завідувачем кафедри	16.12-23.12	
13. Підготовка доповіді до захисту кваліфікаційної роботи	25.12–04.01	
14. Захист кваліфікаційної роботи	06.01	

Магістрант _____ Сергій МАРТИРОСЯН
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Ганна КОМАРОВА
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

С.Р.Мартиросян. Кваліфікаційна магістерська робота другого (магістерського) рівня вищої освіти на тему: **«Модернізація залізничних вагонних вагів для підвищення точності вимірювання»** включає в себе 12 слайдів презентації, 81 аркуш пояснювальної записки формату А4, що включає 17 рисунків, 4 таблиці, 25 літературних джерел.

Ключові слова: ВАГОННІ ВАГИ, ТЕНЗОДАТЧИКИ, АНТИВІБРАЦІЙНІ ПОДУШКИ, ПЕОМ, ПОКРАЩЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ, ЗВАЖУВАЛЬНА ПЛАТФОРМА, ВАНТАЖНИЙ ВАГОН, ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ.

Метою магістерської роботи є розробка практичних рекомендацій щодо впровадження нових технологічних рішень для автоматизованого зважування вагонів.

Об'єктом дослідження є процес зважування вагонів на залізничному транспорті.

Магістерська робота присвячена дослідженню впровадження сучасних матеріалів у конструкції приладів залізничних вагонних ваг для зменшення проценту їх похибки та забезпечення підвищення рівня задоволеності клієнтів. У роботі розкрито теоретичні засади розвитку удосконалення діючих вагонних ваг, які експлуатуються на залізничному транспорті з метою збереження перевезеної продукції та покращення послуг, пов'язаних із зважуванням вантажів.

На основі аналізу діяльності обраного тензодатчика проведено дослідження та прогностні розрахунки основних показників для підвищення їх якості та ефективності експлуатації тензодатчика. Важливим аспектом є регулярне калібрування та моніторинг стану тензодатчика для підтримання високої точності вимірювань. Крім того, впровадження нових алгоритмів обробки даних дозволить зменшити вплив зовнішніх факторів на результати вимірювань. Таким чином можливо забезпечити стабільну та надійну роботу тензодатчика в різних умовах його експлуатації.

Розроблено ряд практичних рекомендацій щодо використання високоякісних тензодатчиків та підтримки їх справності на вагонних вагах. Впровадження сучасних програмних рішень для обробки даних допоможе мінімізувати похибки вимірювань та підвищити ефективність експлуатації обладнання. Запропоновані заходи спрямовані на підвищення точності вимірювання вантажного вагона та його складових. Таким чином, пропозиції сприяють покращенню комерційної діяльності залізниці та забезпеченню безпеки руху поїздів.

ABSTRACT

S.R. Martirosian. Qualification master's thesis of the second (master's) level of higher education on the topic: "**Modernization of railway wagon scales to improve measurement accuracy**" includes 12 presentation slides, 81 pages of explanatory notes in A4 format, containing 17 figures, 4 tables, and 25 references.

Keywords: WAGON SCALES, LOAD CELLS, ANTI-VIBRATION PADS, PEOM, IMPROVEMENT OF RESULTS, WEIGHING PLATFORM, FREIGHT WAGON, QUALITY IMPROVEMENT.

The goal of the master's thesis is to develop practical recommendations for the implementation of new technological solutions for the automated weighing of railway wagons.

The object of the research is the process of weighing wagons on railway transport.

The master's thesis is devoted to the study of the implementation of modern materials in the construction of railway wagon weighing devices to reduce their error percentage and ensure an increase in customer satisfaction.

Based on the analysis of the selected strain gauge's performance, research and predictive calculations of the main indicators were conducted to improve their quality and the efficiency of the strain gauge's operation. A crucial aspect is the regular calibration and monitoring of the strain gauge's condition to maintain high measurement accuracy. Additionally, the implementation of new data processing algorithms will reduce the influence of external factors on measurement results, thus ensuring stable and reliable operation of the strain gauge under various operating conditions.

A range of practical recommendations has been developed regarding the use of high-quality strain gauges and maintaining their functionality in wagon scales. The introduction of modern software solutions for data processing will help minimize measurement errors and increase the efficiency of equipment operation. The proposed measures are aimed at enhancing the accuracy of measuring freight wagons and their components. Consequently, these proposals contribute to the improvement of the commercial operation of the railway and ensure the safety of train movement.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Роль метрологічного забезпечення на залізничному транспорті України	12
1.1 Поняття про метрологічне забезпечення при виконанні зважування вагонів	12
1.2 Мета та основні завдання метрологічного забезпечення	15
1.3 Вплив метрологічного забезпечення на точність зважування	17
2. Аналіз існуючих методів зважування вагонів	20
2.1 Огляд сучасних технологій та систем зважування	20
2.2 Порівняльний аналіз точності різних методів	31
2.3 Проблеми та недоліки існуючих систем	33
3. Удосконалення процесу зважування	39
3.1. Розробка та впровадження нових технологічних рішень для зважування вагонів	39
3.2 Інтеграція автоматизованих систем для підвищення точності вимірювань	42
3.3 Застосування ПЕОМ стосовно розробки рекомендацій для практичних заходів зважування вагонів	69
4. Практичне впровадження та економічна ефективність	76
4.1 Аналіз економічної доцільності впровадження нових методів	76
4.2 Оцінка потенційних економічної вигоди від підвищення точності зважування.	77
4.3 Вимоги до охорони праці при використанні вагонних ваг	78
Висновок	81
Список літератури	84

					МКР. 175.25.12.00. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Модернізація залізничних вагонних вагів для підвищення точності вимірювання	Літ.	Аркуш	Листів
Розроб.		Мартиросян С.Р				А	6	86
Перевір.		Комарова Г.Л.				<i>УкрДУЗТ</i>		
Реценз.								
Н. Контр.		Шовкун В.О.						
Затверд.		Мартинів І.Е.						

Вступ

Актуальність. Покращення якості продукції та послуг є одним з найважливіших завдань будь-якої сучасної організації. Стандартизація та сертифікація виступають ключовими інструментами в досягненні високих стандартів якості. У світі, де конкуренція стає все більш жорсткою, гарантування якості та відповідності вимогам ринку є надзвичайно важливим. Впровадження стандартів дозволяє забезпечити прозорість процесів та зменшити ризики виробництва. Сертифікація, у свою чергу, надає споживачам впевненість у якості продукції або послуг. Важливою складовою підвищення якості є також постійне вдосконалення процесів та продукції.

Постійний моніторинг та оцінка процесів виробництва дозволяють виявляти недоліки на ранніх стадіях і швидко їх виправляти. Важливим інструментом для досягнення високих стандартів є використання сучасних технологій та інноваційних підходів. Таким чином включає в себе автоматизацію виробничих процесів, використання якісних матеріалів та дотримання найсучасніших методик контролю якості. Не менше важливим аспектом є навчання та розвиток персоналу. Професійно підготовлені працівники здатні краще виконувати свої обов'язки, що позитивно впливає на якість [1] кінцевого продукту чи послуги. Крім того, впровадження систем управління якістю, допомагає структурувати і стандартизувати процеси на підприємстві.

Велику роль у підвищенні якості відіграє також зворотний зв'язок від споживачів. Аналізуючи відгуки, компанії можуть краще розуміти потреби та очікування своїх клієнтів і відповідним чином коригувати свої продукти чи послуги. Регулярні аудити та перевірки допомагають підтримувати високий рівень якості та виявляти можливості для покращення.

Сертифікація продукції та послуг також сприяє зміцненню довіри споживачів до підприємств. Воно дотримується встановлених стандартів і готове нести відповідальність за якість свого продукту. Зростання обізнаності серед споживачів

також підвищує їхні очікування щодо якості, що стимулює підприємство постійно вдосконалюватися.

Важливою складовою успішного управління якістю є також планування та прогнозування. Прогнозуючи потенційні проблеми та ризики, компанії можуть завчасно вживати заходів для їх попередження. Інвестиції в якість окупаються у довгостроковій перспективі, адже задоволені клієнтів є більше схильні повертатися та рекомендувати продукцію або послуги своїм знайомим.

Впровадження культури якості на всіх рівнях організації не лише сприяє загальному покращенню діяльності компанії, але й забезпечує основу для точного та безпечного зважування вагонних ваг у системі вантажоперевезень.

Зважування вагонних ваг є важливим етапом у системі вантажоперевезень, оскільки забезпечує точність і безпеку руху перевезення вантажів, контроль за їх ваговими обмеженнями та фінансову прозорість. Проблеми, пов'язані зі зважуванням, можуть призводити до значних фінансових витрат, юридичних спорів, а також серйозних наслідків для забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті.

Зважування вантажних вагонів на вагонних ваг є важливим процесом в управлінні вантажоперевезеннями. Воно передбачає важливі функції контролю за дотриманням норм та стандартів[2], як на національному, так і на міжнародному рівнях. Через необґрунтовану перевантаженість вагонів можуть виникати аварійні ситуації, а також руйнування інфраструктури залізничного транспорту, що завдає шкоди не лише залізничному транспорті, але суспільству в цілому. Таким чином, точність і надійність системи зважування мають критичне значення.

Спостерігаючи за сучасними викликами в сфері залізничного транспорту, можна виділити кілька ключових аспектів, які впливають на якість послуг зважування. По перше, це технічні характеристики вагонних ваг, які повинні відповідати сучасним стандартам точності і надійності. По друге, підготовка та кваліфікація персоналу, який відповідає за операціями з зважуванням, також відіграють важливу роль у забезпеченні якісного сервісу. Системи автоматизації та

новітні технології можуть суттєво підвищити ефективність процесу зважування, проте їх впровадження потребує значних інвестицій.

Використання сучасних технологій в контексті зважування вагонних ваг стає дедалі більше поширеним та ефективним. Інноваційні рішення, такі як автоматичні вагові системи, можуть істотно знизити вірогідність помилок, пов'язаних із людським фактором, а також скоротити час на виконання операцій. Впровадження цифрових технологій та систем моніторингу дозволяє здійснювати контроль за вантажами в режимі реального часу, що покращує прозорість операцій і підвищує рівень довіри між залізничним транспортом та замовниками послуг. У цьому контексті важливо дослідити, як сучасні технології можуть вплинути на якість послуг зважування вагонних ваг.

Якість зважування вагонних ваг також регулюється численними стандартами та нормативними актами [3,4]. Дотримання міжнародних та національних стандартів є обов'язковим для забезпечення безпеки перевезень і уникнення правових спорів. Існує необхідність детального аналізу чинників, які впливають на якість послуг зважування. В умовах постійних змін у законодавстві та вимог ринку, підприємствам залізничного транспорту необхідно адаптуватися та впроваджувати нові метрологічні підходи та процеси для досягнення високих стандартів якості.

Економічні вигоди від впровадження нових технологій можуть бути значними, зокрема у вигляді зниження витрат та підвищення продуктивності. Якість продукції та послуг також впливає на репутацію залізничного транспорту, що в свою чергу, може залучити нових клієнтів. У сучасних умовах важливо адаптуватися до змінюваних вимог ринку і споживачів, щоб залишатися конкурентоспроможними. Продовженням впровадження систем управління якістю може стати важливим кроком у досягненні високих стандартів. Якість зважування вагонних ваг, як частина загальної системи управління якістю, потребує всебічного аналізу та вдосконалення. Успішна реалізація рекомендацій щодо покращення якості може суттєво підвищити ефективність роботи залізничного транспорту. Таким чином, якість продукції та послуг вимагає комплексного підходу, що поєднує технологічні інновації, навчання персоналу та дотримання стандартів.

Якість продукції [3] та послуг у сфері зважування вагонних ваг на залізничному транспорті є надзвичайно важливою. Чинники, що впливають на цю якість, мають комплексний характер і вимагають всебічного дослідження. В даній магістерській кваліфікаційній роботі буде проведено всебічний аналіз чинників, що впливають на якість послуг зважування вагонних ваг, а також розроблено рекомендації щодо їх покращення. Реалізація цих рекомендацій дозволить забезпечити високу точність і швидкість вимірювання, таким чином зменшити людський фактор і помилки.

Таким чином покращується безпека і ефективність роботи залізничного транспорту, що в значній мірі сприятиме розвитку економіки в умовах сучасних викликів. Впровадження новітніх технологій та модернізація інфраструктури дозволять підвищити швидкість перевезень. Особливо актуально в умовах зростаючого попиту на залізничні послуги. Такі зміни також позитивно вплинуть на екологічну ситуацію, зменшуючи викиди вуглекислого газу. Залізниця стане більше привабливою альтернативою автомобільному та авіаційному транспорту. Успішна реалізація цих заходів підвищить конкурентоспроможність української економіки на міжнародному ринку. Крім того, це дозволить створити нові робочі місця та сприятиме розвитку регіонів. Покращення логістики і зменшення часу в дорозі зробить залізничні перевезення більш зручними та привабливими для вантажовласників. Зменшення заторів на автомобільних дорогах сприятиме зниженню рівня аварійності. Інвестиції в залізничну інфраструктуру також допоможуть зменшити залежність від імпорту пального. Розвиток залізничного транспорту сприятиме інтеграції України в європейську транспортну систему, що відкриє нові можливості для економічного співробітництва і торгівлі.

Мета і задачі дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є розробка практичних рекомендацій щодо впровадження нових технологічних рішень для автоматизованого зважування вагонів.

Виходячи з того поставлені наступні задачі:

- Розглянути аналіз сучасних технологічних рішень для автоматизованого зважування вагонів.

- Розробити концепції технологічного рішення для автоматизації процесу зважування вагонів.
- Довести обґрунтування техніко-економічної ефективності впровадження запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є процес зважування вагонів на залізничному транспорті.

Предметом дослідження – є впровадження сучасних матеріалів в конструкції приладів залізничних вагонних ваг для зменшення проценту їх похибки та забезпечення підвищення рівня задоволеності клієнтів.

Науково-практична цінність отриманих результатів. Результати досліджень різних варіантів удосконалення процесу зважування вантажних вагонів, можуть бути використані для подальших наукових розробок, публікацій та конференцій, що сприятиме розвитку теорії та практики управління якістю.

Практичне значення отриманих результатів. Полягає в тому, що при модернізації вагонних ваг, забезпечується точність виміру вантажного вагону та його складових. Таким чином вказані пропозиції впливають на покращення комерційної роботи залізниці та забезпечення безпеки руху поїздів.

Апробація результатів роботи. Основні положення магістерської роботи були висвітлені у доповідях «Проблеми та перспективи розвитку інженерної індустрії України в контексті євроінтеграції». Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології», 25 – 26 жовтня 2024 р. УкрДУЗТ (м. Харків, 2024) [13] та «Впровадження сучасних пристроїв для підвищення точності вимірювання залізничних вагонних вагів» на 84 студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ (м. Харків, 2024) [5].

1. Роль метрологічного забезпечення на залізничному транспорті України

1.1 Поняття про метрологічне забезпечення при виконанні зважування вагонів

Метрологія на залізничному транспорті відіграє ключову роль у забезпеченні точності та надійності різного вимірювання, особливо у процесі зважування вантажних вагонів. Регулювання метрології у цій сфері включає визначені норми, які забезпечують правильність і узгодженість результатів зважування.

Метрологія [6] - це наука про вимірювання та його застосування. Метрологія включає всі теоретичні та практичні аспекти вимірювання, при будь-яких невизначеності вимірювання та сфери застосування У контексті залізничного транспорту метрологія охоплює повну область вимірювання, яке застосовується для забезпечення безпечного та ефективного функціонування транспортної системи. Таким чином вимірювання маси, довжини, швидкості, тиску, температури та інших параметрів, необхідний процес для транспортування вантажів [3].

Метрологічне забезпечення включає комплекс заходів, спрямованих на достовірність точності та надійності вимірювання.

Метрологічне забезпечення дозволяє підтримувати високу якість результатів вимірювання, шляхом впровадження сучасних підходів та технологій. Регулярна повірка та калібрування засобів вимірювання є обов'язковими заходами для забезпечення точності та достовірності даних. Сучасні вимірювальні технології та інтегровані системи контролю якості значно покращують процеси метрологічного забезпечення. При метрологічному забезпеченні можливо негайно виявляти відхилення та неузгодженості у вимірюваннях, забезпечуючи високу надійність даних. Метрологія відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності залізничних перевезень, оскільки точність вимірювання впливає на процеси управління рухом і операцій з навантаженням. В Україні та в більшості країн, існують національні та міжнародні стандарти, що регулюють метрологічні вимоги до вагових пристроїв. Застосування міжнародних стандартів у метрологічному

забезпеченні сприяє узгодженості вимірювання на вищому рівні, підвищуючи довіру до результатів. Інвестиції у розвиток метрологічної системи дозволяють підвищити конкурентоспроможність підприємств на міжнародному ринку. Навчання та підвищення кваліфікації персоналу є важливими аспектами метрологічного забезпечення, оскільки вони впливають на якість вимірювання. Запровадження автоматизованих систем контролю та аналізу даних сприяє підвищенню точності та оперативності у метрологічному забезпеченні. Метрологічне забезпечення включає комплексний підхід до управління якістю, що забезпечує надійність та стабільність виробничих процесів.

Законодавчі основи метрологічного забезпечення в Україні [6] та більшості країн світу відіграють ключову роль у забезпеченні точності та надійності вимірів. Запропоновані основи включають закони, стандарти та нормативні акти, що регламентують порядок виконання вимірювання, калібрування та повірку самих засобів вимірювання.

В Україні основним документом, що регулює метрологічне забезпечення вагонних ваг є Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність". Закон встановлює правові, організаційні та економічні напрямки для діяльності в галузі метрології, а також гарантує право громадян та юридичних осіб на точні виміри [4].

Ключову роль у метрологічному забезпеченні вагонних ваг відіграють національні стандарти (ДСТУ), які розробляються з урахуванням міжнародних стандартів (ISO, IEC, ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, ISO 27001, ISO 27701, ISO 50001, ISO 13485). Вказані стандарти вказують про методи, вимоги до засобів вимірювання, їх калібрування та повірки. Національні стандарти визначають методи та процедури зважування, що гарантує точність і достовірність отриманих даних. Таким чином досягається мета правильного розрахунку вантажу та дотримання вагових обмежень. Стандарти забезпечують єдині правила та вимоги для всіх операторів, що здійснюють зважування. Це сприяє уніфікації процесів зважування, що полегшує контроль і моніторинг. Національні стандарти забезпечують відповідність вимогам законодавства, що регулює перевезення вантажів. Таким чином допомагає уникнути юридичних проблем і штрафів. Впровадження

стандартів підвищує довіру до системи зважування, оскільки споживачі можуть бути впевнені у точності та надійності вимірювання. Дотримання національних стандартів сприяє підвищенню якості послуг, що надаються залізничними перевізниками, та відповідно, підвищує їх конкурентоспроможність на ринку. Національні стандарти можуть бути узгоджені з міжнародними стандартами, що полегшує міжнародні перевезення та торгівлю. Загалом, національні стандарти є важливим інструментом для забезпечення ефективності, безпеки та якості процесу зважування вантажних вагонів, що має значний вплив на всю залізничну галузь.

ДСТУ визначає вимоги до проведення зважування для забезпечення точності та надійності результатів. На момент написання цієї роботи чинні наступні нормативні документи [3,4]:

- ДСТУ OIML R 106-1:2017 Ваги залізничні платформні автоматичні. Частина 1. Загальні технічні вимоги. Методи випробування;
- ДСТУ EN 45501:2017 Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів (EN 45501:2015, IDT);
- ДСТУ 7270:2012 Метрологія. Прилади зважувальні еталонні. Загальні технічні вимоги, порядок та методи атестації.

На даний час виробники залізничних вагонних ваг прагнуть отримати сертифікат відповідності системи управління ISO 9001[3]. Виробники ставлять собі стратегічну мету розробити та впровадити систему управління та оформити сертифікат на відповідність стандарту ISO. Таким чином бути конкурентоспроможними на ринку продажу залізничних ваг.

Функціонує Державна служба України з питань метрології та метрологічної діяльності, яка відповідає за координацію та контроль у галузі метрології. Також існують спеціалізовані установи та акредитовані лабораторії, які проводять перевірку та калібрування засобів вимірювань, тобто вагонних ваг.

Законодавство вимагає, щоб усі засоби вимірювання проходили регулярні перевірки та калібрування. У тому числі це стосується вагонних ваг. Частота та порядок таких перевірок регламентуються стандартами, а також залежать від типу

та призначення засобу вимірювання. Таким чином можливо забезпечується висока точність та надійність у процесі зважування вагонних ваг.

Законодавством встановлено заходи відповідальності за порушення норм метрологічного забезпечення. Таким чином можливі штрафи, конфіскацію засобів вимірювання та інші санкції для юридичних осіб.

1.2 Мета та основні завдання метрологічного забезпечення

Важливим аспектом у забезпеченні точності зважування є регулярний моніторинг стану вагового обладнання. У разі виявлення невідповідностей під час повірки, ваги повинні бути відремонтовані або відрегульовані до повторної сертифікації. Персонал, що працює з засобами зважування, повинен мати доступ до актуальних нормативних документів та інструкцій. Важливо також забезпечити належні умови для експлуатації вагонних вагів, включаючи захист від впливу зовнішніх факторів, таких як волога чи перепади температури. Регулярні навчання та тренінги для персоналу допоможуть знизити ризик помилок під час процесу зважування. Особливу увагу слід приділити документуванню всіх процесів, пов'язаних із зважуванням, для забезпечення прозорості та підзвітності. Важливою частиною сертифікації є проведення тестів на стійкість ваг, щоб гарантувати їх надійність у різних умовах експлуатації. У разі зміни нормативних документів, компанії повинні регулярно адаптувати свої процеси до нових вимог. Підготовка до сертифікації включає не лише технічні аспекти, але й оцінку управлінських процесів у підприємстві. Залучення незалежних експертів для оцінки вагового обладнання може підвищити довіру до результатів вимірювань. З метою підвищення ефективності зважування, варто розглянути можливість інтеграції вагових систем з іншими елементами логістичного процесу. Всі зміни, внесені до технологічного процесу зважування, повинні бути документально оформлені та узгоджені з відповідними органами контролю [4]. Підтримка високих стандартів якості

зважування не лише забезпечує точність вимірювань, але сприяє підвищенню репутації залізничного транспорту на ринку.

Для виконання законодавства України в частині метрологічної діяльності, необхідно дотримуватись вимог ДСТУ. Саме при здійсненні заходів удосконалення вимірів на вагонних ваг, необхідно розробити комплект документів, згідно діючих ДСТУ. Щоб бути впевненими у достовірності показань пристрою здійснення вірного вимірювання, необхідно вжити наступні заходи:

- а) повірку і калібрування вагового обладнання;
- б) сертифікацію вагового обладнання;
- в) розробки технологічного процесу зважування;
- г) навчання персоналу;

Повірка вагового обладнання виконується у наступних випадках[2,4,6]:

- а) перед початком експлуатації;
- б) періодично згідно встановленого графіку;
- в) після проведення ремонтних робіт або модернізації.

Повірка здійснюється шляхом вибору вантажу, якого заздалегідь відома його масу. Враховуючи те, що відома маса тари вантажного вагону кожного типу, при завантаженні, можливо отримати остаточні вірні данні.

Сертифікація вагового обладнання здійснюється в органах державного контролю, шляхом перевірки метрологічних характеристик на їх достовірність діючим нормативним вимогам. Захід виконується у спеціальній сертифікаційній випробувальній лабораторії, яка відповідає незалежності та технічній компетентності. Перевірки стійкості, тобто здатності ваг автоматично повертати вимірювання у вихідне положення, після проїзду вагона. Перевірки стійкості, коли ваги негайно реагують на стан рівноваги. Точність зважування визначається межами основної та додаткової похибки засобу. Класи точності визначають при виробництві вагонних ваг з урахуванням технологічних випробувань.

Ключовий елемент, що забезпечує довіру до результатів вимірювання є отримання сертифікатів відповідності вагонних ваг. Сертифікат повинен бути для офіційного підтвердження відповідності ваг встановленим стандартам та

нормативам. В рамках сертифікації проводяться випробування, які включають оцінку точності, повторюваності і стабільності показань. Крім того, ваги повинні відповідати вимогам безпеки та надійності. Сертифікат якості на вагонні ваги видається державним органам або окремим структурним підрозділом залізниці, тільки певний термін експлуатації вагонних ваг. Сертифікат якості ваг надає підтвердження дотримання вимог нормативним державним документам.

При встановлені на вагонні ваги всі тензодатчики повинні бути відповідати вимогам Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки [6] (далі ТР).

1.3 Вплив метрологічного забезпечення на точність зважування

Вплив метрологічного забезпечення на точність зважування вагонних ваг є критичним фактором для залізничних перевезень. Належне метрологічне забезпечення дозволяє забезпечити точність вимірювання маси вагонів, що є необхідним для безпечного та ефективного транспортування вантажів. Однією з ключових складових метрологічного забезпечення є калібрування вагових систем, що забезпечує точність і надійність їх показань.

Регулярне обслуговування та перевірка вагового обладнання є необхідними для підтримання його в робочому стані і уникнення похибок у вимірюваннях. Використання сучасних технологій, таких як автоматизовані системи зважування і високоточні датчики, сприяє підвищенню точності зважування та зменшенню людського фактору.

Використання інноваційних методів дистанційного контролювання також дозволяє забезпечити точність вимірювання і у режимі реального часу виявляти можливі несправності. Правильне метрологічне забезпечення сприяє оптимальному розподілу ваги у вагонах, що підвищує безпеку руху і знижує ризик аварій.

Недостатнє метрологічне забезпечення[6] може призвести до значних похибок у зважуванні, що впливає на розподіл вантажу, як наслідок, на стійкість і маневреність поїздів. Таким чином може мати серйозні наслідки для безпеки залізничних перевезень і вимагати додаткових витрат на усунення помилок.

Впровадження новітніх технологій у метрологічне забезпечення дозволяє підвищити точність вимірювання і зменшити витрати на обслуговування вагового обладнання. У свою чергу, підвищується ефективність залізничних перевезень і знижується вплив людського фактору на точність зважування.

Метрологічне забезпечення є основою для побудови надійних систем управління вантажопотоком на залізниці. Воно включає не тільки технічні засоби, а також стандарти та методики, що забезпечують точність і відтворюваність вимірювання. Без належного метрологічного забезпечення неможливо досягти високого рівня безпеки і ефективності залізничних перевезень. Правильне метрологічне забезпечення сприяє зменшенню витрат на експлуатацію і ремонт вагового обладнання, що підвищує економічну ефективність залізничних перевезень. Водночас, впровадження нових методів метрологічного забезпечення вимагає додаткових інвестицій у технічне оснащення і навчання персоналу.

Висновок розділу №1: Метрологічне забезпечення є важливим аспектом у забезпеченні точності та надійності вимірювання маси тари вантажних вагонів у залізничному транспорті. Воно охоплює стандартизацію вимірювальних приладів, їх перевірку та калібрування, що дозволяє уникнути похибок у зважуванні і гарантувати достовірність отриманих даних. Зважування вагонів без належного метрологічного забезпечення може призвести до неточних результатів, що в свою чергу може негативно вплинути на безпеку перевезень і економічну ефективність залізничного транспорту.

Метою метрологічного забезпечення є забезпечення точних і надійних вимірювань, що відповідають встановленим стандартам та нормативам. Таким чином необхідна розробка методик вимірювання, вибір і використання відповідних приладів, а також організацію системи контролю якості вимірювань. Основні

завдання метрологічного забезпечення включають забезпечення відповідності вимірювання міжнародним стандартам, регулярне проведення калібрування та перевірок вимірювальних приладів, а також навчання і підготовку персоналу.

Вплив метрологічного забезпечення на точність зважування вагонів є ключовим фактором для забезпечення надійності та безпеки перевезень. Точні вимірювання ваги вантажних вагонів дозволяють уникнути перевантаження, що зменшує ризик аварій і знос залізничної інфраструктури. Крім того, достовірні дані про вагу сприяють оптимізації логістичних процесів, що знижує витрати на транспортування та підвищує ефективність роботи залізничного транспорту.

Завдяки метрологічному забезпеченню підвищується конкурентоспроможність транспортних компаній, а точні вимірювання дозволяють уникати штрафів та додаткових витрат, пов'язаних з перевантаженням вагонів. Також сприяє збереженню інфраструктури, оскільки правильний розподіл навантаження зменшує знос залізничних шляхів і підвищує їхній термін служби.

Метрологічне забезпечення важливе для екологічної безпеки, оскільки точне зважування вагонів дозволяє знизити викиди парникових газів завдяки оптимізації перевезень. Таким чином вдається зменшити вплив залізничного транспорту на навколишнє середовище і сприяє стійкому розвитку транспортної галузі.

Метрологічне забезпечення є невід'ємною частиною ефективного функціонування залізничного транспорту. Воно сприяє підвищенню безпеки перевезень, економічній ефективності та екологічній стійкості. Успішна реалізація заходів метрологічного забезпечення забезпечує точність і достовірність вимірювання, що є основою для подальшого розвитку залізничного транспорту.

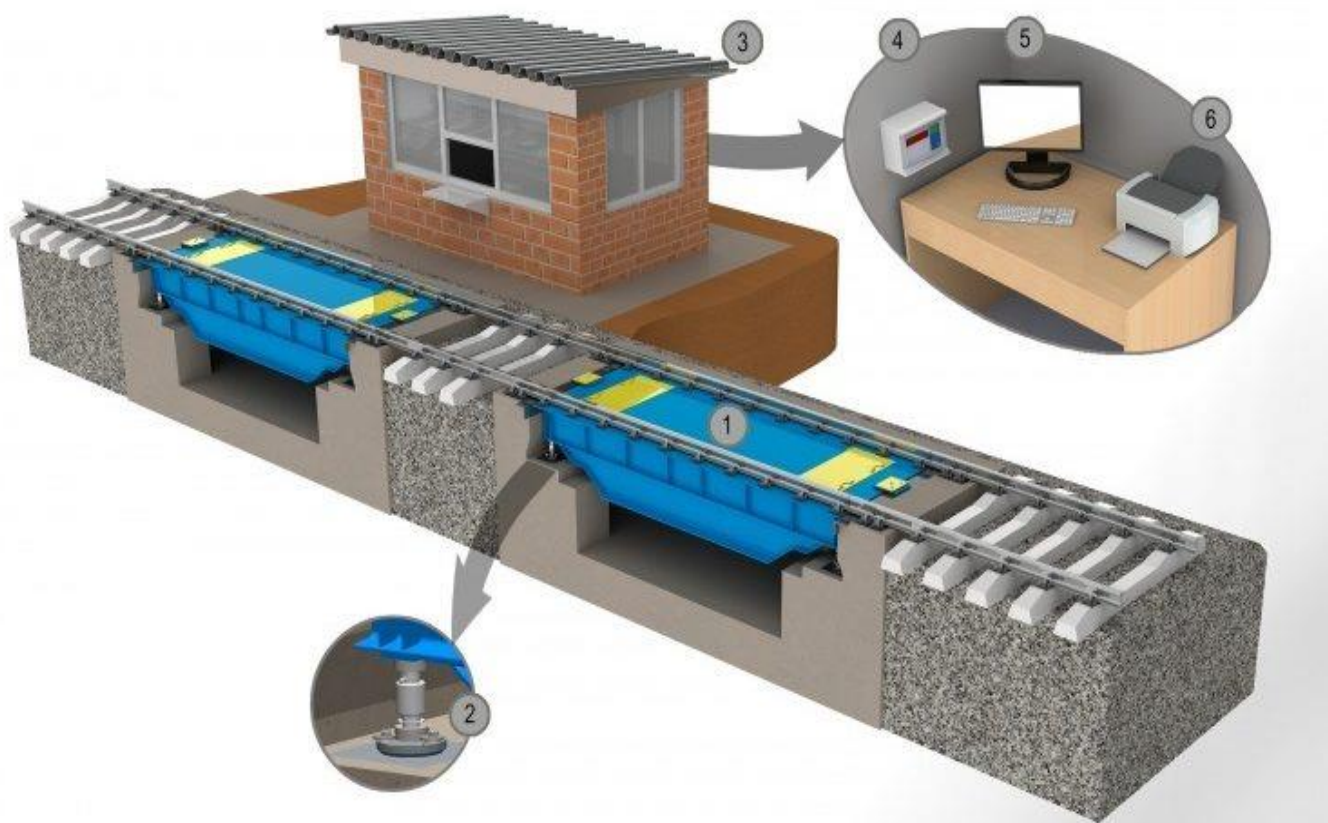
Забезпечення відповідності міжнародним стандартам[2] та постійне вдосконалення методів контролю і калібрування є запорукою успіху метрологічного забезпечення. Таким чином підтримується високий рівень безпеки та надійності перевезень, що сприяє стабільному економічному розвитку та підвищенню конкурентоспроможності залізничного транспорту на міжнародному ринку.

2. Дослідження існуючих залізничних вагонних ваг

2.1 Огляд сучасних технологій та систем зважування

Переважно залізничні вагонні ваги проектуються на коліях у вигляді платформних ваг довжиною від 4,5 м до 16 м з твердою основою. Вимірювальна техніка своєю конструкцією повинна відповідати Правилам Технічної Експлуатації України.

На рисунку 2.1 наглядно показана типова інфраструктура залізничних вагонних ваг на території станції.



- 1 – Вантажопідйомна платформа, 2 – Датчики вимірів,
3 – Приміщення управління вагами, 4 – Контролер ваговий,
5 – Комп'ютер, 6 – Принтер.

Рисунок 2.1 - Залізничні вагонні ваги

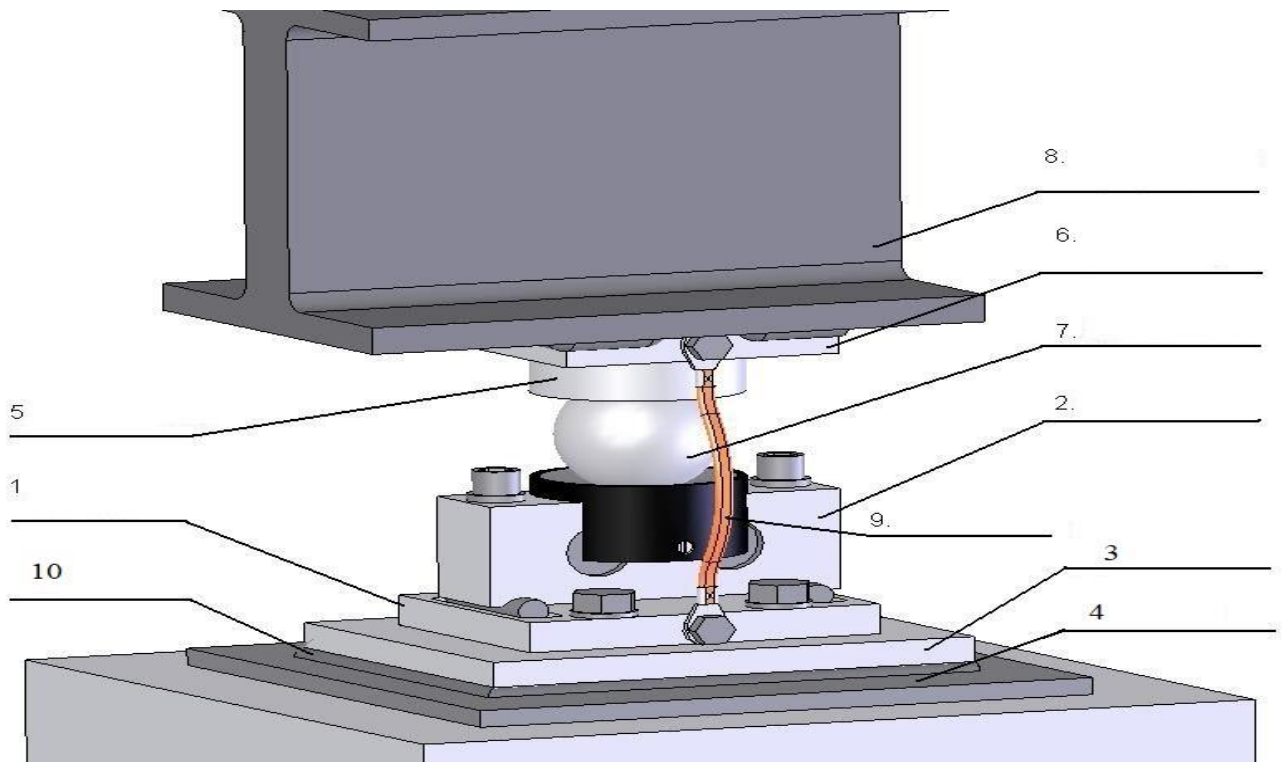
Виробники вагонних ваг вказують свої вимоги експлуатації засобів у паспортах[4]. У цих документів вказано керівництво у використанні ваг, які підлягають до виконання причетних працівників. Перед початком роботи з технологічним процесом зважування вантажних вагонів, причетні працівники повинні бути ознайомлені.

Таблиця 2.1 - розповсюджені метрологічні характеристики залізничних вагонних ваг.

Параметри	Значення
Номінальне навантаження	60 т, 80 т, 100 т, 120 т та більше.
Похибка, що допускається	± 0.1 т, ± 0.2 т, $\pm 0.5\%$ т, $\pm 1\%$ т.
Дискретність виміру	0.01 т, 0.1 т
Робоча температура	-40°C до +50°C
Час стабілізації	1-5 секунд
Стійкість до вібрацій	До 5 Гц
Захист від вологи	IP65, IP67
Технологія, що використовується	Статичне, динамічне вимірювання
Матеріал платформи	Сталь, бетон
Енергопостачання	Мережа 220 В.

Ваги з тензодатчиками використовуються в різних сферах для точного вимірювання навантажень.

Розуміння принципу роботи цих пристроїв допомагає забезпечити точність і надійність вимірювань. Сучасні технології зробили можливим використання тензодатчиків для різноманітних потреб. Приклад використання тензодатчика на вагонних ваг вказаний на рисунку 2.2.



- 1 - Кріпильна плита тензодатчика, 2 – Тензодатчик,
 3 - Нижня опорна плита, 4 - Заставний фундамент,
 5 - Втулка (чашка), 6 – Верхня опорна плита,
 7 - Сталевий удар, 8 - Вантажопідйомна платформа,
 9 – Заземлення, 10 – Зварний шов

Рисунок 2.2 – Використання тензодатчиків в експлуатації

Тензодатчик - це пристрій, який використовується для вимірювання сили або навантаження, що діє на певну ділянку конструкції, в даному випадку на платформу вагових систем вагонів. Датчики працюють за принципом зміни електричного опору під впливом механічної деформації [4].

Тензодатчики на вагонних ваг зазвичай виготовляються з декількох видів матеріалів, включаючи:

1. З металів, які найчастіше використовуються металеві сплави, такі як сталь або алюміній, які забезпечують необхідну міцність та стабільність;
2. З напівпровідникових матеріалів для підвищення чутливості;

3. Використання спеціальних композиційних матеріалів [5], які мають легку вагу та високу міцність.

У тензодатчиках встановлених на вагонних вагах зазвичай використовуються такі види металевих сплавів:

1. Нержавіюча сталь (марки AISI 304 або AISI 316) використовується завдяки своїй корозійній стійкості та міцності. Вони добре справляються з впливом різних кліматичних умов та агресивних середовищ.
2. Вуглецева сталь забезпечує високу міцність, але менше стійка до корозії.
3. Алюмінієві сплави (види 6061 або 7075) відрізняються гарною міцністю та малою вагою, що робить їх ідеальними для використання в тензодатчиках, особливо коли важлива висока чутливість та легкість конструкції.

Вибір конкретного сплаву залежить від вимог до точності, вартості та умов експлуатації.

Зазвичай на залізниці використовується ваги[4] максимальною вантажопідйомністю до 200 т, встановлюються на аналогові датчики класу точності С3, що дозволяє отримати ціну поділки 50 кг з максимумом ваг до 150 т і 100 кг з максимумом ваг понад 150 т.

Клас точності динамічних вагонних ваг підтверджується проведенням випробувань перед пуском вагонів.

Згідно внутрішніх вимог нормативних документів на залізниці, маса вагона визначається у тонах до десятої у застосовуванні в сполученні з одиницями СІ. Таким чином вагонні ваги повинні відображати результат виміру у тонах до десятої.

Основними параметрами тензодатчиків є клас точності (наприклад С2, С3, С4, С5) та максимальна кількість перевірочних поділів (клас С2-2000, С3-3000, С4-4000, С5-5000) відповідно до рекомендацій міжнародної організації законодавчої метрології МОЗМ OIML R60. Класи точності тензодатчиків визначають рівень точності вимірювання, який може забезпечити тензодатчик. Вони класифіковані наступним чином:

Клас 0.1: Найвища точність, використовується для наукових досліджень та виробництва, де потрібна найвища точність вимірювань;

Клас 0.2: Висока точність, використовується в промислових системах, де вимагається висока точність, але не на рівні класу 0.1;

Клас 0.5: Середня точність, використовується в більш загальних промислових застосуваннях, де точність вимірювань є важливою, але не критичною;

Максимальна кількість перевірочних поділів ($n_{\max}$) визначається в залежності від класу точності та максимального навантаження тензодатчика. Важливо для визначення максимальної роздільної здатності тензодатчика. Наприклад:

Клас 0.1: $n_{\max} = 2000$

Клас 0.2: $n_{\max} = 3000$

Клас 0.5: $n_{\max} = 5000$

Клас 1.0: $n_{\max} = 10000$

Вищевказані значення вказують, про кількість перевірочних поділів[4], що можуть забезпечити тензодатчик на іншу одиницю вимірювання.

Тензодатчики мають різні геометричні розміри та характеристики. Наприклад тензодатчик RLWS RL75223-50K (рис 2.3) виробництва США, виконаний із нікельованої легованої сталі та має ступінь захисту від пилу та вологи – IP 67. На сьогоднішній день існує багато типів тензодатчиків, деякі з них вказані у таблиці 2.1. Тензодатчики встановлені на вагонних ваг, зазвичай складаються з наступних основних компонентів:

1. Елемент виявлення, основна частина тензодатчика, яка деформується під впливом навантаження. Зазвичай використовується металева пружина чи балка.
2. Тензорезистори, вони розміщені на елементі вимірювання, які змінюють свій опір залежно від деформації елемента. Такі резистори можуть бути виконані з металів чи напівпровідників.
3. Ізоляція та захисний корпус тензодатчиків захищені від зовнішніх впливів (волога, пил, механічні пошкодження) за допомогою ізоляційних матеріалів та захисних оболонок.
4. Перетворення змін опору на електричний сигнал, який можна виміряти.



Рисунок 2.3 - Тензодатчик RLWS RL75223-50K

Також у інших державах розповсюджений в експлуатації тензодатчик Dini Argeo-FXC-C6-200kg виробництва Італії, зображений на рисунку 2.4. Свою перевагу між іншими він отримав через допуск до експлуатації при температурах – 20°C/+60°C.



Рисунок 2.4 - Тензодатчик Dini Argeo-FXC-C6-200kg

Таблиця 2.2- Деякі характеристики тензодатчиків

№	Види тензодатчиків	Вплив температури	Час відгуку	Стійкість до вібрації	Термін експлуатації, років.	Точність вимірювання	Максимальне навантаження
1.	Мостовий	$\pm 0,1\%$ на 10°C	< 1 мс	Середня	5-10	$\pm 0,1\%$ - $\pm 0,5\%$	до 50 т
2.	Стружечний	$\pm 0,2\%$ на 10°C	< 2 мс	Середня	5-7	$\pm 0,1\%$ - $\pm 0,5\%$	до 30 т
3.	Плівковий	$\pm 0,3\%$ на 10°C	< 5 мс	Помірна	3-5	$\pm 0,5\%$ - $\pm 2\%$	до 10 т
4.	На основі полімерів	$\pm 0,5\%$ на 10°C	< 10 мс	Низька	2-3	$\pm 1\%$ - $\pm 3\%$	до 5 т

Кожен із цих видів тензодатчиків має свої переваги та особливості, які можуть бути обрані в залежності від конкретних умов експлуатації вагонних ваг та вимог до точності вимірювання.

Коли конструкція[8] спеціальної платформи (рис. 2.5) чинить тиск на тензодатчик, він деформується, що призводить до зміни опору матеріалу.

Такі зміни перетворюються на електричний сигнал, який потім обробляється для визначення ваги вагона або вантажу.

Отриманий електричний сигнал направляється до центральної обробної системи, де він аналізується та порівнюється з контрольними значеннями. Це дозволяє точно визначити вагу і за необхідності скорегувати дані для забезпечення максимальної точності вимірювання.



1 – платформа; 2 - шунт блискавкозахисної системи;
 3 – тензодатчик; 4 – коробка з'єднувальна;
 5 – укріплена опорна тумба.

Рисунок 2.5 – вигляд вагонних ваг з підземелля

Використання тензодатчиків дозволяє досягати високої точності вимірювання та забезпечує надійність роботи вагонних ваг.

Технічним умовам, які безумовно узгоджені з відповідними підрозділами АТ «Укрзалізниця». Вагонні ваги пройшли оцінку дотриманням вимогам Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки по модулю В (перевірка типу) та виданий відповідний сертифікат [1].

Вагонні ваги розміщуються при наступних умовах[4]:

- наявність просідаючих ґрунтів в місці установки ваг;
- високий рівень ґрунтових вод;
- наявність сипучих ґрунтів.

Засоби вагонних ваг у експлуатації поділяють на статистичні та динамічні методи зважування. Динамічний метод полягає в тому, що вимірювання може здійснюватися з швидкістю руху вантажних вагонів до 5 км/ч. Статистичний метод полягає в тому, що вимірювання маси тари вагона здійснюється коли вагон знаходиться у нерухомому стані.

2.1.2 Динамічний тип вагонних ваг

За типом зважування вантажних вагонів в експлуатації застосовується динамічний метод (табл 2.3). Він відповідає вимогам ДСТУ OIML R 106-1:2017, який на даний час має статус чинного. Даний засіб вимірювання полягає в тому, що загальна маса поїзда зважування розраховується складанням кожного вагону, який рухається на визначеній швидкості через спеціальну зважувальну платформу.

Переваги використання динамічних ваг:

- здатні обчислювати інформацію про навантаження в умовах реального часу, що дозволяє негайно реагувати на зміни;
- можливість оцінки впливу різних факторів (швидкість, стан колії) на навантаження;
- своєчасне виявлення несправностей у перевантаженні ваг, що може запобігти аваріям і поломкам.

Недоліки використання динамічних ваг:

- вимагає спеціального обладнання та налаштування;
- високі витрати на установку та обслуговування системи;
- вихідні данні вимірювання можуть спотворюватися через коливання, удари та інші динамічні впливи.

Згідно з ДСТУ OIML R 106-1[4] вагонні ваги для динамічного зважування поділяються на 4 класи точності, детальніше у таблиці 2.3.

Межа допустимої похибки під час зважування вантажного вагону або окремо візка повинна відповідати найбільшому з наступних значень: а) значенню, обчисленому за таблицею 2.3 і округленим до найближчого значення, кратного ціні розподілу шкали значенню, обчисленому за таблицею 2.3 для маси. Що становить до 35% від найбільшого значення маси вагона, і округленому до найближчого значення, кратного ціні розподілу шкали ваг.

Таблиця 2.3- Класи точності при динамічному зважуванні вагонних ваг.

Класи точності	Відсоток від значення маси одного вагона	
	Під час проведення оцінки відповідності, періодичної повірки	під час експлуатації
1	2	3
0,2	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$
0,5	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$
1,0	$\pm 0,5$	$\pm 1,00$
2,0	$\pm 1,00$	$\pm 2,00$

Приклад зважування одного напіввагона моделі 12-7023 (вантажопідйомність 70,3 т, маса тари 23,7 т [9]) для вагонних ваг динамічного зважування 2-го класу точності.

Маса контрольного вагона складає 90 т, найбільша маса вагона $M_{\max} = 94$ т розподіл шкали 0,2 т. Межа допустимої похибки відповідно до таблиці 2.3, складає $1\% \cdot 90 \text{ т} = 0,9 \text{ т}$, 35% від $M_{\max} \cdot 90 \text{ т} = 31,5 \text{ т}$, таким чином $1\% = 0,315 \text{ т}$ або 0,32 т (округлене значення).

Вище вказаний метод переважно використовується на місцях логістичної сфері, де в місцевих умовах великого вантажного потоку, переважно має швидкість вимірів. Слід зазначити в цьому випадку точність при такому випадку зважування вантажних вагонів суттєво зменшується. Менше вимог до стабільності знаходження вагона, але важливо, щоб швидкість руху була оптимальною для забезпечення точності вимірювання. Приклад динамічного типу вагонних вагон відображений на рисунку 2.6.

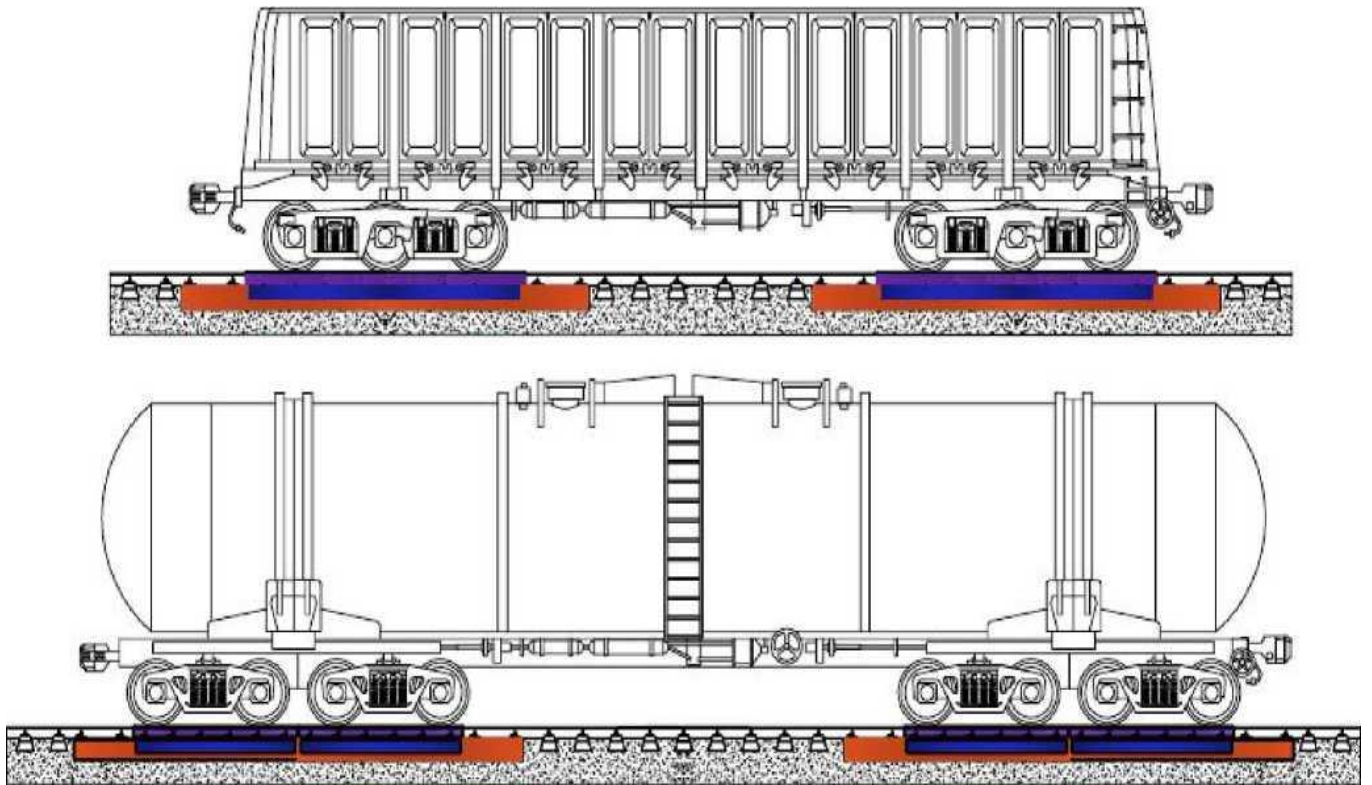


Рисунок 2.6 – Вантажні вагони в процесі операції зважування.

2.1.3 Статичний тип вагонних ваг

За типом зважування вантажних вагонів в експлуатації застосовується статистичний метод. Він відповідає вимогам ДСТУ EN 45501:2017, який на даний час має статус чинного. Статистичний метод ваг, дозволяє вимірювати навантаження на вісь вагона в статичному стані, зазвичай під час стоянки або при завантаженні та розвантаженні, тобто стоїть нерухомо. Зважування проводиться в момент, коли весь вагон повністю розташований на спеціальній платформі.

Переваги:

1. Легше встановити і налаштувати, оскільки не потрібно враховувати динамічні фактори;
2. Менше чутливі до зовнішніх впливів, що забезпечує стабільність результатів;

3. Зазвичай дешевше в установці та експлуатації порівняно з динамічними системами.

Недоліки:

1. Не дозволяють отримувати інформацію про навантаження під час руху;
2. Можуть не відображати реальні умови експлуатації тензодатчиків, що призводить до недооцінки ризиків;
3. Для підтримки актуальності даних потрібні регулярні перевірки.

Зібрані дані обробляються з використанням статистичних методів, що дозволяє визначати середні, максимальні і мінімальні значення ваги для різних типів вагонів та вантажів. Аналіз статистичних даних дозволяє створювати моделі для прогнозування навантажень на залізничну мережу, що допомагає у плануванні перевезень і обслуговуванні інфраструктури[4]. Використання таких моделей сприяє ефективному управлінню ресурсами та запобіганню перевантаженням. Завдяки цьому, залізнична мережа може працювати з більшою надійністю і стійкістю.

2.2 Порівняльний аналіз точності різних методів

Зважування вагонів є важливим етапом у логістичному процесі, оскільки точність зважування впливає на ефективність транспортування[8] та розрахунок тарифів. Як вже писав, існують два основні методи зважування вагонів: статистичний та динамічний. Статистичне зважування здійснюється на стаціонарних вагах, де вагони зважуються у стані зупинки. Динамічне зважування здійснюється під час руху вагону, що дозволяє зменшити час, витрачений на процес зважування. Один з головних факторів, що впливають на точність зважування, є тип ваг, який використовується.

Статистичне зважування забезпечує високу точність за рахунок стабільності стану вагону під час зважування. Динамічне зважування може мати нижчу точність через вплив зовнішніх факторів, таких як швидкість руху вагону та стан колій.

Точність статистичних ваг залежить від стабільності платформи та відсутності сторонніх впливів під час зважування.

Динамічні ваги залежать від правильного калібрування та рівномірності руху вагону. Однією з основних похибок статистичних ваг є можливість неправильної стабілізації вагону під час зважування. Динамічні ваги можуть мати похибки через нерівномірність руху вагону або вплив сторонніх факторів. Статистичне зважування може забезпечити більше точні результати, але вимагає більше часу на виконання процедури.

Динамічне зважування дозволяє швидше зважувати вагони, але точність може бути нижчою. Використання статистичних ваг може бути доцільним у випадках, коли точність є пріоритетом. Динамічне зважування може бути вигідним для великих обсягів транспортування, де швидкість процесу є ключовим фактором.

Порівняння точності цих двох методів вимагає аналізу реальних умов експлуатації та експериментальних даних. Статистичні ваги можуть мати меншу похибку, але потребують більше складного обладнання. Динамічні ваги є більш простими у встановленні та обслуговуванні, але вимагають регулярного калібрування. Точність зважування вагонів важлива для безпеки транспортування та розподілу навантаження на колії. Похибки в зважуванні можуть призвести до перевантаження вагонів та пошкодження колій. Статистичні ваги забезпечують високу точність, але можуть бути дорогими для встановлення та обслуговування. Динамічні ваги є більше економічними, але їх точність може залежати від багатьох факторів. Використання комбінованих методів зважування може забезпечити баланс між точністю та швидкістю процесу.

Наприклад, статичне зважування може бути використане для базового зважування, а динамічне – для контролю. Розробка нових методів зважування, таких як модернізація тензодатчиків, може забезпечити високу точність та швидкість процесу. Використання автоматизованих систем зважування може знизити ризики помилок та підвищити точність. Порівняння точності різних методів вимагає проведення експериментальних досліджень у реальних умовах. Важливо

враховувати всі аспекти процесу зважування, такі як точність, швидкість, витрати на обслуговування та встановлення обладнання.

Порівняння різних методів зважування може допомогти залізниці знайти оптимальне рішення для своїх потреб. Точність зважування вагонів є ключовим фактором для забезпечення належного функціонування залізничної системи та безпеки руху[10].

2.3 Проблеми та недоліки існуючих систем

Неправильні показання вагонних ваг є найпоширенішим показником у процесі експлуатації. Неправильні показання вимірів можуть виникнути, коли ваги не були вчасно відкалібровані належним чином або використовувались неправильно. Невірні показання можуть призвести до помилок у вимірювання ваг, що може спричинити проблеми з навантаженням та транспортуванням, а також з керуванням запасами та виробничими процесами. Щоб уникнути цієї проблеми, важливо переконатися, що вузли ваг правильно відкалібровані та використовуються відповідно до технологічної інструкції виробника.

Розміщення ваг на нерівній поверхні може суттєво вплинути на точність показань. Нерівні поверхні можуть спричинити нестабільність, що призведе до неточних вимірів. Тензодатчики ваг можуть не мати належного контакту з поверхнею, що призведе до невірних показань.

На засоби виміру також впливають зовнішні фактори такі як, температура повітря[4], перепади напруги в мережі, вологість повітря, пил та бруд.

У процесі експлуатації забороняється використовувати вагонні ваги при наступних умовах:

- відсутності метрологічної повірки, згідно термінів;
- деформовані надписи метрологічної повірки тавра або місця їх нанесення;
- втрата технічного паспорту засобу;

- в останніх записах технічного паспорта про перевірку зазначено, що в процесі огляду та перевірки були внесені зміни, які не підписані уповноваженими особами;
- під час перевірки засобу зафіксовано невідповідність фактичних значень метрологічних характеристик до нормативним.

Залежність чутливості від температури і вологості, тензодатчики можуть демонструвати зміни у своїй чутливості в залежності від коливань температури і вологості навколишнього середовища. Підвищення або зниження температури, а також зміни у вологості можуть впливати на вихідний сигнал тензодатчика, що може призводити до невірних показань вимірювання. Однак, варто зазначити, що багато сучасних тензодатчиків обладнані механізмами або програмним забезпеченням для компенсації цих впливів, що дозволяє зменшити або усунути цю проблему.

Причини невірних вимірів тензодатчиків під час експлуатації:

- перевищення допустимого навантаження на платформу;
- стрибків напруги, короткого замикання, удару блискавки;
- попадання вологи або хімічно агресивних речовин;
- ударні, вібраційні навантаження;
- пошкодження кабелю (у тому числі зміни його довжини);
- виходу з ладу сполучених конструкцій та електричних вузлів вагового обладнання;
- неправильної установки, виробничий брак.

На вагонних ваг можуть бути розміщені тензодатчики різних класів точності [4], проте це рішення потребує ретельної аргументації та розуміння наслідків. Розглянемо деякі фактори та приклади, які допоможуть зрозуміти ситуацію.

Переваги використання тензодатчиків різних класів точності:

1. У деяких випадках встановлення тензодатчиків нижчого класу точності на певних ділянках ваг, таким чином можливо знизити загальні витрати на обладнання. Наприклад, на ділянках, де не потрібна висока точність вимірювання, можна використовувати меншої вартості тензодатчики;
2. Тензодатчики різних класів можуть бути спеціалізовані до різних завдань. Наприклад, для контролю великих вантажів, таких як вагони з матеріалами, можна

використовувати тензодатчики з меншою точністю, у той час як для чутливих вимірювань, наприклад для визначення маси вантажу з високою точністю, необхідні тензодатчики більш високого класу точності;

3. Використання тензодатчиків високого класу точності у всіх місцях може бути зайвим. Наприклад, для певних ділянок ваг, де очікується невелика варіація маси, недоцільно використовувати тензодатчики з високою точністю, оскільки їхня висока вартість підвищують їх придбання;

Недоліки використання тензодатчиків різних класів точності:

1. Використання тензодатчиків різних класів може призвести до невідповідності у показаннях та ускладнення інтерпретації результатів;

2. Якщо тензодатчики мають різну точність, буде складніше проводити калібрування та підтримувати стандарти якості. Можливо, знадобиться більш часте калібрування для підвищення точності тензодатчиків, що збільшить експлуатаційні витрати.

Якщо на вагонних вагах використовуються тензодатчики класу 0.1 і 0.5 і вони працюють в одній системі вимірювання, різниця в показах може викликати плутанину і подальші помилки. Якщо тензодатчики з різною точністю [24] встановлені окремо на різних ділянках, у певних умовах це може бути цілком прийнятним.

Потребує вирішення проблеми зниження точності [4] вимірювання в умовах вібрації при слідуванні вагонів. Тензодатчики є чутливими до механічних впливів, а наявність вібрацій в середовищі експлуатації може призводити до спотворення невірних результатів вимірювань. Вібрація також може викликати зміни в сприйманні тензодатчиками вимірювання, що ускладнює точну фіксацію значень. Спеціальні матеріали, які зменшують передачу вібрацій на ваги, пропоную використовувати віброізолятори або антивібраційні подушки.

Антивібраційні подушки – це спеціальні пристрої, призначені для зменшення вібрацій та коливань, що виникають в процесі вимірювання тари вагонів. Вони використовуються в системах вагового контролю, щоб забезпечити точність вимірів та стабільність роботи ваг.

Антивібраційні подушки[23] можуть бути виконані з різних матеріалів, наприклад композитів, гуми, піни або метал-гумових композицій, які здатні поглинати та знижувати рівень вібрації на ваги.

Враховуючи низький рівень фінансування залізничного транспорту на вагонних вагах не встановлюються додаткові матеріали для зниження вібрації.

Антивібраційні подушки зазвичай встановлюються під опори вагонних ваг, а саме на спеціальні зважувальні платформи, щоб ефективно знизити рівень вібрації та підвищити точність вимірювання. Одним з виробників антивібраційних подушок є шведська компанія Trelleborg [11]. Серед великого переліку продукції, Trelleborg виготовляє антивібраційний пристрій під назвою Evolo 611. Даний продукт (рис 2.7) виготовлений з алюмінію та сталі, спроможний витримувати навантаження до 400 кг.



Рисунок 2.7 – Антивібраційна подушка Evolo 611

Висновок розділу №2: у ході дослідження залізничних вагонних ваг було встановлено, що їх метрологічне забезпечення є ключовим елементом для забезпечення точності та надійності вимірювання вантажних вагонів.

Вагонні ваги динамічного типу дозволяють вимірювати масу вагонів під час їх руху, що забезпечує швидкість та зручність процесу, зменшуючи час простою.

Статистичні ваги, використовуючи тензодатчики, надають високу точність вимірювання і збирають детальні дані для подальшого аналізу. Завдяки цьому, оператори можуть краще планувати навантаження і забезпечувати безпеку перевезень. Використання обох типів вагонних ваг є оптимальним рішенням для підвищення ефективності та точності управління залізничними перевезеннями. Таким чином, вони доповнюють один одного, забезпечуючи всебічний підхід до вимірювання та обліку маси вантажів.

Калібрування вагонних ваг є критичним процесом для забезпечення точності вимірювання маси вантажних вагонів. Використання еталонів [8] дозволяє здійснювати точну перевірку та налаштування ваг. Регулярне калібрування допомагає виявляти і коригувати будь-які відхилення, що виникають з часом або через експлуатаційні умови. Вважаю, що дані заходи забезпечать стабільність вимірювання та підвищать довіру до даних, які використовуються для обліку та планування перевезень. Таким чином, застосування еталонів у калібруванні вагонних ваг є ключовим елементом для підтримки високих стандартів точності та надійності процесу зважування.

Зовнішні умови, такі як температурні коливання, стан рейкового шляху та вібрації можуть значно впливати на точність вимірювання. Тому правильне встановлення та технічне обслуговування ваг відіграють критичну роль у забезпеченні їх стабільної роботи. Навчання персоналу, відповідального за експлуатацію та обслуговування вагонних ваг, також є важливим аспектом, оскільки кваліфіковані фахівці здатні своєчасно виявляти та усувати можливі проблеми. Зовнішні умови, такі як температурні коливання, стан рейкового шляху та вібрації можуть значно впливати на точність вимірювання. Тому правильне встановлення та технічне обслуговування ваг відіграють критичну роль у забезпеченні їхньої стабільної роботи.

Крім того, інтеграція сучасних технологій у процес експлуатації вагонних ваг може значно підвищити ефективність транспортних операцій. Комплексний підхід до метрологічного забезпечення, що включає технічні, організаційні та методичні заходи, є найефективнішим. Таким чином можливо покращити точність вимірювань,

а також підвищити загальну безпеку та ефективність роботи залізничного транспорту.

В результаті, мого дослідження наголошую на важливості системного підходу до метрологічного забезпечення вагонних ваг[1,6], що в кінцевому підсумку сприяє покращенню якості послуг та підвищенню конкурентоспроможності залізничного транспорту.

Для забезпечення безпечного руху вагонів та запобігання аваріям на залізничному транспорті точність вимірювань критично важлива. Оскільки різні класи точності можуть давати різні результати, це може призвести до недостатньої надійності, що потенційно загрожує безпеці.

Перевірка зважування окремих візків вантажних вагонів є важливим аспектом забезпечення безпечного і ефективного транспортування вантажів. Зважування дозволяє визначити рівномірність розподілу вантажів по вагону, що запобігає можливому пошкодженню вантажу та самої транспортної одиниці. Процес включає зупинку вагона на ваговій платформі з подальшим зважуванням кожного візка окремо. Отримані дані аналізуються для визначення відхилень у навантаженні. Якщо виявлені дисбаланс, вантаж може бути перерозподілений або переміщений. Таким чином можливо уникнути перевантажень окремих осей колісних пар та покращити експлуатацію вагону під час руху. Використання сучасного обладнання для зважування, такого як динамічні ваги, значно підвищує точність вимірювань. Надання точних звітів про результати зважування є ключовим для подальшого аналізу та планування. Впровадження автоматизованих систем зважування значно скорочує час та підвищує ефективність перевірок. Дотримання технологічних процесів під час зважування забезпечує надійність і безпеку перевезень. Зважування візків є критично важливим для уникнення нерівномірного зносу елементів ходової частини вагону. Правильне зважування допомагає зменшити витрати на ремонт та обслуговування вагонів. Вагон з правильно розподіленим навантаженням забезпечує стабільну та безпечну роботу під час транспортування. Збалансоване навантаження дозволяє оптимально використовувати вантажопідйомність вагону.

3. Удосконалення процесу зважування

3.1. Розробка та впровадження нових технологічних рішень для зважування вагонів

Принцип роботи вагонних ваг ґрунтується на перетворенні сили тяжіння, створеної вантажем, за допомогою тензодатчиків в електричний сигнал, пропорційний масі вантажу. Вагон діє на платформу за допомогою ваг, створюючи силу, що дорівнює його масі, помноженій на прискорення вільного падіння. Коли вагон заїжджає на вагову платформу, його вага передається на цю платформу, яка, своєю чергою, має бути спроектована так, щоб сприймати цю силу.

Виникає гравітаційний вплив коли кожен об'єкт, перебуваючи під впливом сили тяжіння, створює тиск на поверхню, де він стоїть. У разі з вагоном цей тиск передається на спеціальну вагову платформу[4,8]. Сила тяжіння, що діє на вагон, дорівнює добутку його маси (включаючи вантаж) на прискорення вільного падіння (приблизно $9,81 \text{ м/с}^2$).

Передача сили на вагову платформу відбувається коли вагон заїжджає на спеціальну вагову платформу, його колеса доторкуються платформи, що призводить до передачі ваги безпосередньо на конструкцію. Платформа повинна бути міцною та жорсткою, щоб правильно сприймати це навантаження. Необхідно мінімізувати деформацію платформи [22] та створити умови для точного виміру.

Появи деформації вагової платформи під впливом ваги вагова може спричинити деформацію. Пропоную задіяти тензодатчики, які здатні вимірювати таку деформацію. У разі збільшення навантаження (ваги вагона) деформація платформи збільшується, і тензодатчики фіксують цю зміну. На вагову платформу встановити спеціалізовані тензодатчики, які фіксують зміни, що діє на платформу. Пропоную долучати тензодатчики, які розміщені на електричних ваг та на модернізованих механічних пристроїв.

У сучасних вагонних ваг часто використовуються тензодатчики, які використовують принцип вимірювання деформації. Електронні датчики встановлені під зважувальною платформою[22] та деформуються у відповідь на тиск, що створюється вагоном. Завдяки цій деформації змінюється електричний опір тензодатчика, і ця зміна перетворюється на сигнал, який може бути точно виміряний. Зазвичай такі тензодатчики розташовуються у чотирьох кутах платформи для забезпечення точності.

Коли вагон знаходиться на ваговій платформі[4], датчики акумулюють інформацію про силу, що на них впливає. Інформація обробляється спеціальними контролерами, які обчислюють масу вагона виходячи з отриманих даних. В результаті, вага відображається на дисплеї у вигляді цифрового значення.

Правильна установка та точна робота тензодатчиків, мають вирішальне значення для досягнення надійних та повторюваних результатів зважування. Тензометричні датчики, які встановлені наприклад на динамічних залізничних ваг є системою зважування визначення ваги осей колісних пар, окремо візків (рис 3.1), вагонів та локомотива.



Рисунок 3.1 - Вагонні ваги повізкового зважування під час руху складаються з однієї ваговимірювальної платформи

Конструктивно ваги складаються з металоконструкції масою 3400 кг, що є основою з вузлами вбудованих для тензодатчиків, виготовлених під рейку довжиною 4.83 м. До складу ваг входить вантажоприймальна платформа та рама. Для визначення наїздів та з'їздів колісних пар локомотива та вагонів встановлено 4 тензодатчики в отвір, просвердлений у рейці на межі ваг. Рама та вагова платформа встановлена на стандартні шпали, що лежать на ґрунті.

Зважувальна платформа[4] для ваг міцна прямокутна, виготовлена з сталі або бетону, призначена для підтримки ваги залізничного вагона. Платформа зазвичай має довжину 10-20 м і ширину 3-4 м.

Рама мостових ваг складається з структурної рами, яка підтримує платформу та тензодатчики навантаження. Рама розроблена таким чином, щоб витримувати великі навантаження та гарантувати точні вимірювання ваги.

Тензометрична частина складається з кількості (наприклад 10 шт.) S-подібних тензодатчиків номінальним навантаженням 10 т, встановлених у вузол із внутрішньої та зовнішньої сторони за допомогою болтів. Сумарне хвильове навантаження в процесі зважування обробляється 6-тиканальним аналого-цифровим перетворювачем, 4 канали якого працюють з колійними тензодатчиками і 2 канали з ваговимірювальними датчиками включеними паралельно по 10 штук з кожного боку.

Механічні датчики менш поширені в експлуатації, переважно вони встановлені на діючих механічних вагових системах, які використовують гирьові або пружинні механізми для вимірювання. Вони також можуть бути встановлені під платформою, але їх використання найчастіше пов'язане зі старими моделями ваг. Переваги механічних датчиків є їх простої конструкції та довговічності. Недоліками є низька точність, необхідність регулярного обслуговування, складність зчитування показань. Мета полягає досягти за допомогою тензодатчиків наступних характеристик на переваг у вагонних ваг:

1. Високу точність, коли ваги для зважування залізничних вагонів призначені для точного вимірювання, забезпечуючи ефективне та безпечне транспортування вантажів.

2. Надійність, коли ваги експлуатуються таким чином, щоб витримувати суворі умови навколишнього середовища та інтенсивне використання.
3. Простота використання, коли виконано п.1, п.2, блок індикатора та контролера забезпечує операторам зручний інтерфейс для моніторингу та контролю вірного вимірювання процесу зважування.

Комплексна система ваг може зберігати та надавати звіти про операції зважування, допомагаючи операторам залізниць оптимізувати свою роботу та зменшити витрати.

3.2 Інтеграція автоматизованих систем для підвищення точності вимірювань

Для поліпшення точності вимірювання окремих вузлів вагонів можливе використання тензодатчиків з більш сучасних матеріалів, таких як наноматеріали [12,21], що може підвищити точність та стабільність роботи тензодатчиків.

Застосування наноматеріалів у тензодатчиках, встановлених на вагонних вагах, може надати кілька значних переваг[17].

Наноматеріали - це матеріали, властивості та характеристики яких суттєво змінюються в порівнянні з макроскопічними аналогами за рахунок зменшення їх розміру до нанометрового діапазону (зазвичай від 1 до 100 нанометрів). У цьому розмірі виявляються унікальні фізичні, хімічні та біологічні властивості, які можуть суттєво відрізнятися від властивостей більших зразків того самого матеріалу.

Наноматеріали [21] володіють низкою унікальних фізичних властивостей, які відрізняють їх від макроскопічних матеріалів. Наприклад, вуглецеві нанотрубки мають неймовірну міцність і здатні витримувати величезні навантаження. Нанотрубки також характеризуються високою електропровідністю, що робить їх перспективними для електроніки. Наноматеріали на основі графену мають чудову теплопровідність і можуть ефективно відводити тепло від електронних пристроїв. Крім того, наночастинки золота демонструють унікальні оптичні властивості,

включаючи плазмонний резонанс, що дозволяє їм змінювати колір залежно від розміру. У хімічному плані, наноматеріали мають високу реакційну здатність завдяки великій поверхневій площі. Таким чином можливе ефективне використання каталізаторів в різних хімічних реакціях. Наприклад, наночастинки платини використовуються як каталізatori в паливних елементах для виробництва електроенергії. В цілому, наноматеріали представляють собою потужний інструмент для різних галузей науки і техніки, дозволяючи створювати нові продукти і технології з унікальними властивостями та функціями.

Основні характеристики та видів наноматеріалів:

1. Збільшена міцність та легкість за рахунок таких, як вуглецеві нанотрубки, мають високу міцність і малу вагу, що робить їх ідеальними для різних конструктивних додатків.
2. Підвищена чутливість наночастинки можуть використовуватися в сенсорах та детекторах завдяки своїй високій реакційній здатності та площі поверхні.
3. Покращена провідність за рахунок деяких наноматеріалів, наприклад, графен, демонструють видатну електропровідність, що робить їх перспективними для створення ефективніших електронних пристроїв.

Використання наноматеріалів відкриває нові можливості для створення інноваційних рішень точності вимірювання окремих вузлів вагонів, наприклад окремий візок.

Значні переваги наноматеріалів:

1. Висока чутливість за допомогою наноматеріалів[12], такі як вуглецеві нанотрубки або графен, здатні підвищувати результативність тензодатчиків. Таким чином дозволяє більш точно вимірювати навантаження та деформацію, що особливо важливо для визначення ваги вагонів.
2. Покращує стійкість до механічних впливів. Наноматеріали можуть збільшити міцність та довговічність тензодатчиків, що робить їх більш стійкими до фізичних ушкоджень, вібрацій та інших механічних навантажень, характерних для роботи в умовах залізничного транспорту.

3. Зниження маси дозволяє використовувати наноматеріалів та сприяти зменшенню ваги тензодатчиків, що важливо для мінімізації додаткових навантажень на конструкцію ваг та самих вагонів.

4. Стійкість до навколишніх умов за допомогою наноматеріалів сприятимуть високу стійкість до корозії та інших негативних впливів навколишнього середовища, що значно продовжує термін служби тензодатчиків.

5. Наноматеріали можна використовувати для створення сенсорів, які легко інтегруються з існуючими електронними та цифровими системами, забезпечуючи більш точний та комплексний аналіз даних.

Для підвищення точності вимірювань та стійкості до зовнішніх перешкод рекомендую впровадити систему калібрування тензодатчиків з використанням методу динамічної компенсації, що дозволить мінімізувати похибки, спричинені термічними коливаннями та механічними впливами.

Метод калібрування[6] динамічної компенсації є підходом, який використовується для підвищення точності вимірювання у системах, що піддаються зміні зовнішніх умов, таких як температура, вібрації або навантаження. Цей метод ґрунтується на аналізі та обліку динамічних ефектів, що впливають на показання датчиків.

Ключові аспекти методу динамічної компенсації включає:

1. Збір даних, тобто на етапі калібрування проводяться вимірювання в різних умовах (різні температури, навантаження тощо), щоб визначити, як кожен із цих факторів впливає на показання тензодатчиків;

2. Математичне моделювання, яке на основі зібраних даних створюється математична модель, яка описує залежність показань тензодатчика від різних зовнішніх факторів. Таким чином можливо виявити закономірності та характерні зміни у показаннях;

3. Компенсація похибок полягає в тому, що розроблені алгоритми використовуються для корекції вихідних сигналів тензодатчиків у реальному часі, що дозволяє зменшити похибки, що виникають у результаті динамічних факторів;

4. Тестування та валідація використовується після впровадження системи динамічної компенсації проводиться тестування та валідація для забезпечення її ефективності та точності в різних умовах експлуатації.

Метод динамічної компенсації особливо корисний у вагонних ваг, де стабільність та точність критично важливі, оскільки він дозволяє забезпечити більш надійні виміри та зменшити вплив зовнішніх факторів на результати. Математичне моделювання вагонних ваг з використанням тензодатчиків дозволяє точно аналізувати залежність показань від зовнішніх факторів. Один з прикладів математичної моделі для цього завдання:

1. Вхідні дані:

- Р - показання тензодатчика;
- Т - температура навколишнього середовища;
- Н – вологість;
- V - швидкість вітру;
- W - вага вантажу.

2. Залежності:

- Ввожу коефіцієнти а, b, c, d, які визначають вплив відповідних зовнішніх факторів.
- Загальна формула залежності може бути представлена як:

$$P=a \cdot W+b \cdot T+c \cdot H+d \cdot V+e \quad (3.1)$$

де е - константа, що враховує систематичні похибки та інші невраховані фактори.

3. Аналіз даних:

- Виявлення залежностей та закономірностей проводиться шляхом оцінки коефіцієнтів а, b, c, d.
- Наприклад, високе значення коефіцієнта b може вказувати на значний вплив температури на показання тензодатчиків.

Така математична модель допомагає виявити та описати закономірності впливу зовнішніх факторів на показання тензодатчиків, що використовується для покращення точності та надійності вагонних ваг.

Калібрування тензодатчиків може бути описане через лінійну модель:

$$F_m = k \cdot (V_{out} - V_0) \quad (3.2)$$

де F_m - виміряна сила,

k - коефіцієнт чутливості датчика,

V_{out} - вихідна напруга тензодатчика,

V_0 - нульове (базове) значення вихідної напруги.

Модель компенсації

Для динамічної компенсації можна використовувати рівняння, що враховує зовнішні множники:

$$F_c = F_{me} + \Delta F(t, P, M) \quad (3.3)$$

де F_c - скоригована виміряна сила;

$\Delta F(T, P, M)$ – коригуючі значення, яке залежить від температури t , тиску P і механічних впливів M .

Поєднавши всі ці рівняння, можна виразити скориговане значення сили:

$$F_f = k \cdot (V_{out} - V_0) + a_1 \cdot T + a_2 \cdot P + a_3 \cdot M \quad (3.4)$$

Це рівняння визначає фінальне значення виміряної сили після застосування динамічної компенсації, що призводить до більш точних результатів.

Одним із заходів для підвищення вимірювання вагонних ваг є встановлення на них антивібраційних подушок. Таким чином можна поліпшити стабільність

вимірів за рахунок зменшення коливань, спричинених рухом вагонів чи зовнішніми факторами. Для цього необхідно виконати наступні пропозиції:

1. Встановити на вагонні ваги необхідну кількість подушок. Зазвичай рекомендую встановлювати антивібраційні подушки під кожен основну опору ваг. Залежно від конструкції ваг та їх розмірів це може бути 4-6 подушок, по одній під кожній опорі;
2. Антивібраційні подушки повинні розташовуватися так, щоб рівномірно розподіляти навантаження та підтримувати стійкість ваг. Важливо, щоб кожна опора була забезпечена подушкою, щоб подушки не знаходилися в місцях, де можуть бути пошкоджені або виштовхнуті.
3. Використовувати спеціальні антивібраційні подушки, які підходять для даного навантаження та конструкції ваг. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як гума, піна або інші матеріали, що амортизують.

Щоб досягти підвищеної точності[2,6] вимірювання вагонних ваг за допомогою антивібраційних подушок необхідно провести тестування. Для визначення рівня вібрації та стабільності вимірювань. Можливо, потрібне коригування кількості або розташування подушок. Даний захід треба проводити з технологічним зв'язком розміщення на ваги тензодатчиків, керуючись їх виробничими характеристиками.

Тензодатчики підвищеною результативності вимірювання, повинні відповідати положенням, що регулюють їх введення в експлуатацію з урахуванням місцевих кліматичних умов. Вони повинні бути приведені їх у відповідність з вимогами ТР. На вагонні ваги можна встановлювати тензодатчики, після отримання від виробника складену технічну документацію, а саме:

1. Відображати конструкцію, процес виробництва та функціонування і давати змогу проводити оцінку їх відповідності вимогам цього ТР;
2. Відображати метрологічні характеристики;
3. Загальний опис засобу вимірювальної техніки;
4. Ескізний проект і виробничі креслення.
5. Виробничі операції для забезпечення стабільного виготовлення засобів вимірювальної техніки;

6. Функціонування;

7. Список національних стандартів з переліку національних стандартів або список технічних специфікацій, , що застосовані повністю або частково;

8. Результати конструкторських розрахунків, досліджень;

9. У разі потреби результати відповідних випробувань для доведення того, що тип тензодатчиків відповідає вимогам ТР у заявлених нормованих робочих умовах та за встановленого впливу навколишнього середовища;

10 Сертифікати перевірки типу стосовно тензодатчиків, які містять деталі, ідентичні тим, що наведені у проектній документації.

Виробник визначає місце нанесення пломб і маркувань тензодатчиків, також виробник у разі потреби застереження щодо сумісності з інтерфейсами та вузлами.

Після проведення вимірювальних експериментів на вагонних вагах здійснюється опрацювання результатів вимірювань з метою визначення кінцевого результату, тобто наприклад кінцевої мети виміру одного візка вагона, на прикладі рисунку 3.2.

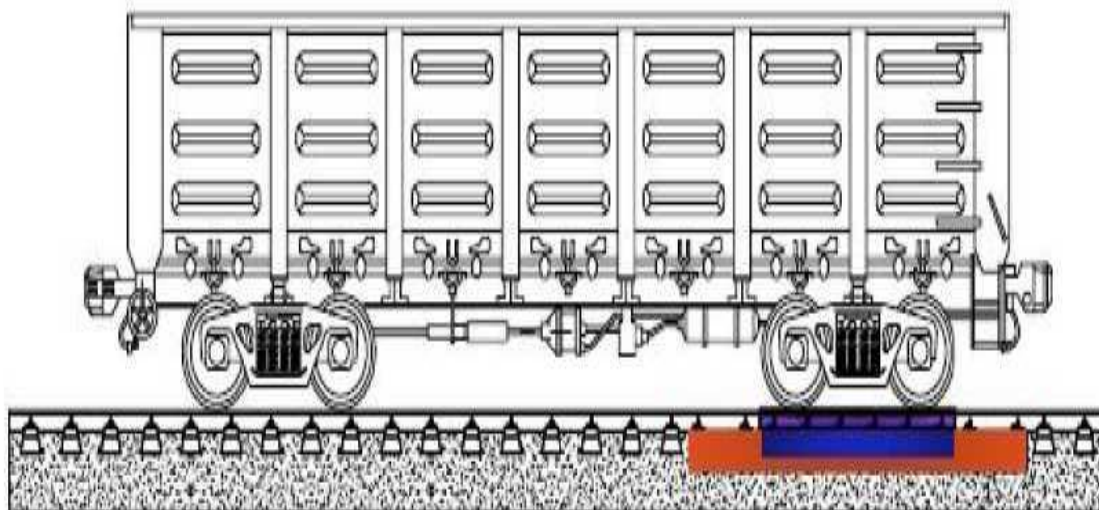


Рисунок 3.2 – Вантажний вагон в процесі операції зважування одного візка

При опрацюванні результатів працівнику залізничного транспорту необхідно розв'язати дві задачі:

- знайти найкращу оцінку значення вимірюваної величини;
- оцінити характеристики точності вимірювання у вигляді характеристик похибки чи

невизначеності (непевності) результату вимірювання [4,8].

Якщо вимірювання величини x провести багато разів, то їх результати можуть бути представлені гістограмою, вісь абсцис якої уявляє собою результат вимірювань, а вісь ординат – частоту попадання цього результату довільні інтервали, на які поділена (розбита) вісь абсцис (рис. 3.3).

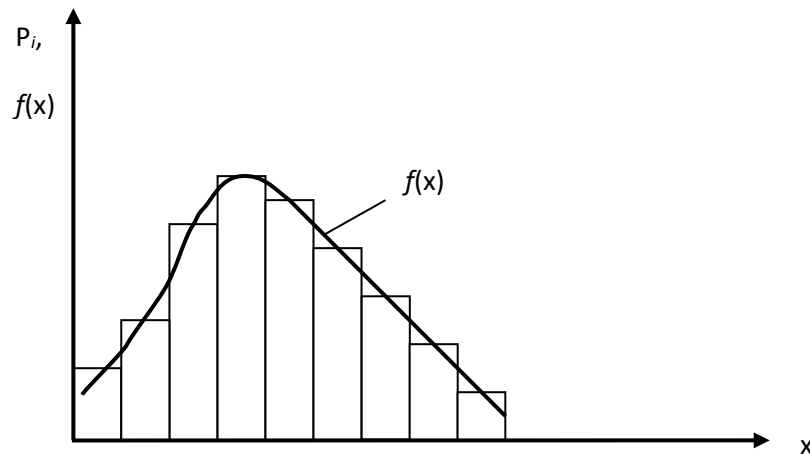


Рисунок 3.3 - Гістограма вимірюваної величини

Після згладжування гістограми одержують плавну криву щільності ймовірності $f(x)$ для даної неперервної величини x .

Для вивчення розподілу випадкових величин користуються рядом числових характеристик: мір центральної тенденції, мір мінливості, форми кривої розподілу.

Рівняння, яке описує криву називають законом розподілу випадкової величини x .

Площа під кривою $f(x)$ уявляє собою імовірність появи події x . Очевидно, що імовірність попадання поточного вимірювання(x_i) в інтервалі від мінус нескінченності до плюс нескінченності дорівнює одиниці, тому

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (3.5)$$

Крива розподілу щільності ймовірності може мати різну форму (рис. 3.4).

Прямокутник (рис. 3.4) відображає закон рівномірної щільності, коли можливі

значення випадкових похибок однаково імовірні.

Трикутник (рис. 3.4) вказує, що ці похибки розподіляються за законом Симпсона, або «законом трикутника».

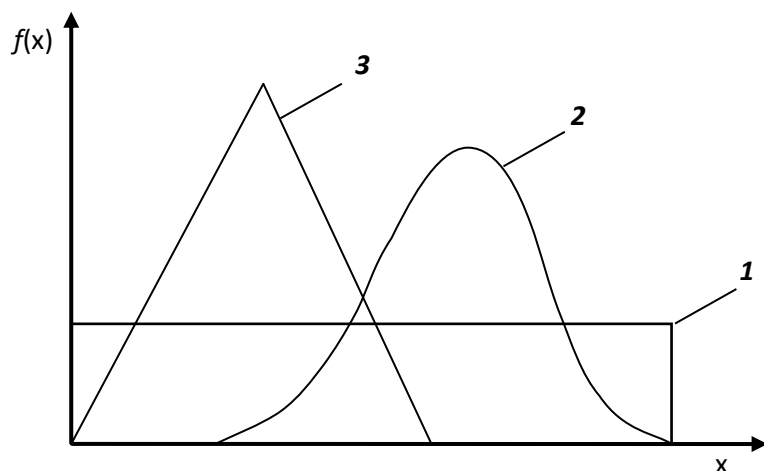


Рисунок - 3.4 Форми кривих розподілу щільності ймовірності

Основним методом розрахунку пружних елементів тензодатчиків є метод міцності (більшість типів датчиків мають точність від 3000 до 5000 перевірочних поділів). Таким чином, даний тип тензодатчиків мають межу для точності (5000 перевірочних поділів), що є недоліком. Раціоналізація полягає в тому, що використовувати метод багатодіпазонності, тим самим збільшити межу точності до 6000 перевірочних поділів.

Даний напрямок підвищення точності є перспективним та актуальним, що дозволить проводити вимірювання, калібрування, перевірку вагонних ваг на якісно новому рівні.

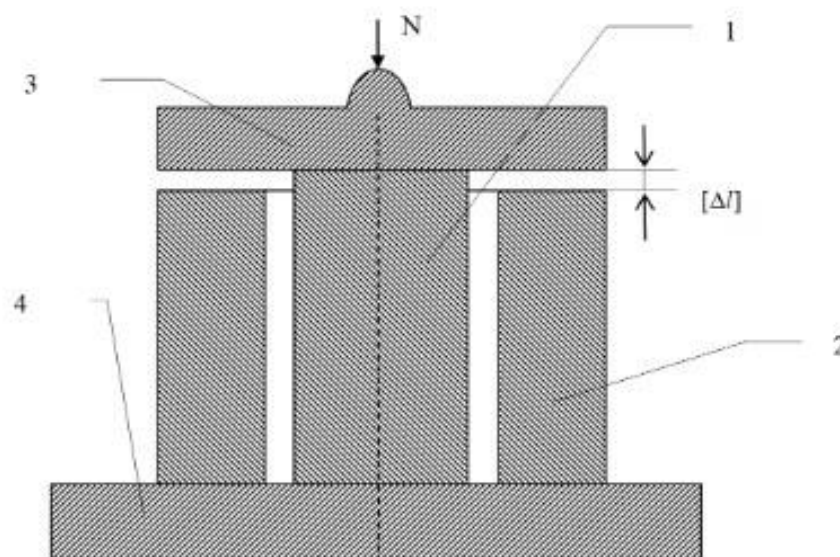
Точність тензодатчиків [4] заснована на отриманні лінійних та стабільних характеристик пружного елемента тензодатчика. Застосовуючи багатодіпазонний тензодатчик в контурі управління ваг, можна отримати більший діапазон вимірювання, використовуючи при цьому два тензодатчика. Пропонується створення методики розрахунку параметрів пружних елементів високоточного багатодіпазонного тензодатчика в цифрових системах ваг. Щоб досягти цієї мети необхідно виконати наступні задачі:

1. Підготувати методику розрахунку напруги межі пружності для пружних елементів стрижневого, трубчастого типів та основних конструктивних параметрів;
2. У наведеній методиці врахувати прикладене навантаження;
3. У розрахунку величини максимальної напруги пружного елемента врахувати значення допустимої межі напруги та коефіцієнта запасу;
4. Складання діаграми розтягування (стиснення) пружних елементів;
5. Визначите межу напруги пружних елементів залежно від напруги межі пропорційності.

Пропоную для широкого застосування для використання вагонних ваг використання пружні елементи стрижневого, трубчастого типів[13]. Пружні елементи виготовляють з конструкційні-леговані сталі, що містять хром, нікель та інші добавки, що мають високу межу пропорційності, межу пружності, межу плинності, невелику температурну нестабільність. Точність пружних елементів багато в чому визначається його характеристикою при навантаженні і розвантаженні.

Розглянемо ситуацію, що на вагонних ваг встановлений робочий діапазон першого тензодатчика, визначається характеристиками пружного елемента стрижневого типу, вказаного на рисунку 3.5. Другий тензодатчик повинен мати свій робочий діапазон в області навантаження першого датчика. Вибравши зазор в роботу включається другий тензодатчик, виконаний у вигляді трубки, робоча характеристика якого визначається параметрами навантаження першого тензодатчика пружного елемента 1, подальша деформація визначається сумарною жорсткістю пружних елементів 1 і 2.

Гістерезис спостерігається у матеріалах, з якого виготовляється тензодатчик. Гістерезис пружного елемента проявляється при розбіжності діаграм навантаження-деформації пружного елемента. Величина гістерези для різних сталей має різні значення в залежності від напруги, що виникає при деформації в структурі металу.



- 1 - перший пружний елемент стрижневого типу (сталь 40Х),
 2 - другий пружний елемент трубчастого типу (сталь 40Х),
 3 - пристрій навантаження (сталь 40Х),
 4 - основа (сталь 40Х); $[\Delta l]$ - зазор між першим пружним елементом та другим пружним елементом.

Рисунок 3.5 - Багатодіапазонний тензодатчик

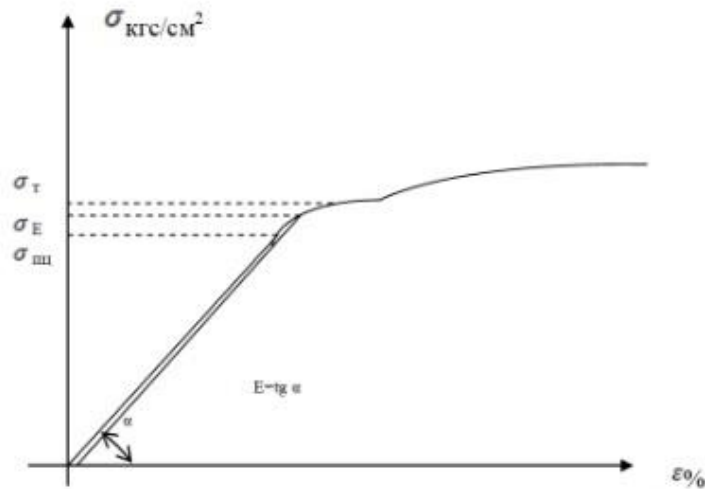
На діаграмі розтягування в координатах $P \rightarrow L$ відображається подовження зразка в залежності від прикладеної сили, потім отримана діаграма перетворюється на діаграму з координатами $\sigma \rightarrow \epsilon$ (розрахунковим шляхом рис 3.6) де:

$$\text{tg}_a = \frac{\sigma}{\epsilon} = E \quad (3.6)$$

де E - модуль пружності, Н/м^2 .

Величину максимальної напруги пружного елемента розраховується виходячи із значенням межі пружності. Тензодатчики визначають свої експлуатаційні характеристики відповідно до закону Гука за різних умовах експлуатації. Основним

параметрам, що не допускає залишкових деформацій є межа пружності, виходячи з якої визначається допустима напруга для пружних елементів.



σ_T - напруга межі плинності, кгс/см²; σ_E - напруга межі пружності, кгс/см²; σ_{III} - напруга межі пропорційності, кгс/см²; ε - залишкова деформація, %; E - модуль пружності, Н/м²

Рисунок 3.6 - Діаграма розтягування (стиснення) пластичного матеріалу

Для отримання більш високого стабільного значення параметра σ_E необхідно обов'язково проводити термообробку[25], тим самим змінюючи структуру сталі з спрямованістю на отримання дрібнозернистості, яка покращує властивості пружного матеріалу.

Після проведення термообробки сталі пружного елемента необхідно визначити: модуль пружності, напруга умовної межі пружності, напруга умовної межі пропорційності, напруга умовної межі плинності.

Для визначення напруги умовної межі пружності як основного параметра необхідно розглянути докладніше. Межею пружності $\sigma_E = \sigma_{0,05}$ називається напруга, при якому залишкова деформація досягає 0,05% від тензометричної бази. Значення подовження пружного елемента визначається з допомогою тензометра випробувальної машини. Програмне забезпечення випробувальної машини може

використовувати графічний метод для визначення при отриманні діаграми розтягування (стиснення) $P \rightarrow L$. Напруга межі пружності визначається:

$$\sigma_E = \frac{P_y}{F_0} \quad (3.7)$$

де P_y - сила, що відповідає межі пружності, Н;

F_0 - площа поперечного перерізу зразка.

Таким чином, розрахунок напруги межі пружного елемента зроблений з умов пружності при розтягуванні (стисненні) стрижневої конструкції тензодатчика, при цьому повинна дотримуватися вимога для круглого стрижня, де l - довжина пружного елемента, d - діаметр, для виключення виникнення згинального моменту при стиску $\sigma_E = \sigma_{0,05}$.

Допустима напруга

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{0,05}}{n} \quad (3.8)$$

де n – коефіцієнт запасу, $n=1.4$;

Коефіцієнт запасу вибирається зі значенням у якому $[\sigma] < \sigma_{пл}$, тобто допустима напруга набуває значення менше межі пропорційності. Теза перевіряється шляхом зняття діаграми розтягування (стиснення) на випробувальних машинах. Найбільша розрахункова напруга в пружному елементі стрижневого типу не повинна перевищувати допустиму напругу (5% і бути менше 10%) тобто $90\% [\sigma] < \sigma_p < 105\% [\sigma]$.

За параметрами пружного матеріалу елемента і навантаження необхідно підібрати розміри поперечного перерізу.

$$F \geq \frac{N}{\sigma_p} \quad (3.9)$$

де N - внутрішнє зусилля, кг;

σ_p - розрахункова напруга, кгс/см².

При дії допустимого навантаження на пружного елемента 150% діапазон дії закону Гука матиме робочий діапазон 1.0 і 0.5 навантаження від номінального навантаження тензодатчика, тобто розрахункова напруга.

$$\sigma_{pl} = \frac{2}{3} \sigma_p \quad (3.10)$$

Отже, розрахую перший стрижневий пружний елемент багатодіапазонного тензодатчика з матеріалу пружного елемента σ_p сталі 40Х. Далі термообробка, загартування, HRC = 42-45, межа пружності $\sigma_p=8500$ кгс/см² для загартованої та відпущеної сталі 40Х. Навантаження на тензодатчик 20т. Тоді допустима напруга

$$[\sigma] = \frac{\sigma_E}{n} = 8500/1,4 = 6071 \text{ кгс/см}^2$$

З урахуванням діапазону $\sigma_p < 90\% [\sigma]$, $\sigma = 0,9 \cdot 6071 = 5464$ кгс/см²

$$\sigma_{pl} = \frac{2}{3} \cdot \sigma_p = \frac{2}{3} \cdot 5464 = 3643 \text{ кгс/см}^2$$

Розмір поперечного перерізу

$$F \geq \frac{N}{\sigma_p} = \frac{20000}{3643} \quad 3 = 5,5 \text{ см}^2, \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,5}{3,14}} = 2,65 \text{ см}$$

де діаметр стрижня d , мм.

Перевірка параметрів пружного елемента умовою жорсткості проводиться розрахунком жорсткості пружного елемента. Жорсткість стрижня визначається параметрами: $C=E \cdot F$ де E - модуль пружності матеріалу, F - площа поперечного

перерізу, визначаючи значення допустимої деформації $[\Delta l]$. Розмір $[\Delta l]$ також залежить від чутливості (розмірів перетворювачів) зі зняттям параметрів переміщення в електричний сигнал, тобто. задаючи максимальне необхідне переміщення за номінального навантаження тензодатчика.

$$\Delta l = \sigma_{pl} \cdot \frac{l}{E} \quad (3.11)$$

Так для пружного елемента при довжині $l = 8$, $E = 2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²

$\Delta l = 3643 \cdot 8 / 2100000 = 0,0138$ см, так $\Delta l = 0,0138$ см = 140 мкм.

$$F = \frac{P \cdot L}{E} [\Delta l] \quad (3.12)$$

Необхідно перевірити підібрану величину поперечного перерізу стрижня F , де $P = 20000$ кг, $E = 2,1 \cdot 10^6$ кгс/см², $l = 8$ мкм.

$$F = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^2}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 1,4} = 5,44 \text{ см}^2$$

Сумарна площа поперечного перерізу стрижня і трубки без урахування зазору знаходиться в межах розрахункових значень.

Далі робимо розрахунок другого поздовжнього пружного елемента у вигляді трубки. Площа поперечного перерізу трубки:

$$F = \frac{P \cdot L}{E [\Delta l]} \quad (3.13)$$

іє $P = 40000$ кг, $E = 2,1 \cdot 10^6$ кгс/см², $l = 7,986$, $\Delta l = 70$

$$F_1 = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 7,986 \cdot 10^2}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,7} = 21,76 \text{ см}^2$$

Площа труби $F_2 = F_1 - F = 21,76 \cdot 5,44 = 16,32 \text{ см}^2$

Внутрішній діаметр труби d_0 з обліком зазору $\sigma = 4 \text{ мм}$

$$d_0 = d + \sigma = 2,65 + 0,4 = 3,05 \text{ см}$$

Зовнішній діаметр стержня трубки D

$$F_2 = 0,7854 \cdot (D^2 - d_0^2) \quad (3.14)$$

$$D = \sqrt{\frac{F_2}{0,7854}} + \sqrt{d_0^2} = \sqrt{\frac{16,32}{0,7854}} + \sqrt{3,05^2} = 5,49 \text{ см}$$

З урахуванням зазору $\sigma = 4 \text{ мм}$ зовнішній діаметр трубки $D = 5,49 \text{ мм}$ внутрішній діаметр трубки $d_0 = 3,05 \text{ см}$.

У ході дослідження з'ясував специфіку роботи багатодіапазонного цифрового тензодатчика. Результатом дослідження є використання двох пружних елементів з кількома діапазонами виміру[4], що дозволить створити багатодіапазонний цифровий тензодатчик підвищеної точності з контролем межі навантаження. Вихідним основним параметром до розрахунку є визначення умовної межі пружності $\sigma_E = \sigma = 0,05$, тобто напруга, що виникає при залишковій деформації 0,05% та вимірюється за допомогою тензометра випробувальної машини.

Використання коефіцієнта запасу рівного $n = 1,4$ для визначення допустимої напруги. Визначення меж для значення розрахункової напруги пружного елемента в залежності від допустимого, має бути меншим за значення межі пропорційності.

Інноваційна діяльність впровадження таких технологій у тензодатчиків може підвищити ефективність та надійність роботи вагонних ваг, що в свою чергу вплине на операційні процеси та безпеку руху на залізничному транспорті[8].

Ще одним заходом покращення точності вимірів тензодатчиків, використання більш якісних тензорезисторів з високою чутливістю та стабільністю. Тензорезистори - це датчики деформації, які приєднанні до пружного корпусу тензодатчиків. Застосування технологій, таких як тонкоплівкові тензорезистори, які можуть забезпечити більш високу точність та менші похибки.

Досягти зниження впливу температури шляхом використання тензорезисторів з низьким температурним коефіцієнтом для зменшення впливу температурних коливань. Тензорезистори з низьким температурним коефіцієнтом мають меншу чутливість до змін температури. Це означає, що їх опір змінюватиметься менше при коливаннях температури, що у свою чергу зменшує похибки у вимірах, спричинені термічними ефектами. Тензорезистори з низьким температурним коефіцієнтом забезпечують стабільніші вихідні сигнали при змінах температури навколишнього середовища. Це особливо важливо для вагонних ваг, які можуть експонуватися до різних кліматичних умов. Зниження впливу температури на показання тензодатчиків дозволяє досягти більш високої точності вимірювання навантаження. Це критично для забезпечення коректності даних про вагу вагонів, що може бути важливим для обліку вантажоперевезень та безпеки. Збільшення кількості тензорезисторів у тензодатчиків може дозволити розширити діапазон вимірювань. Наприклад, використання тензорезисторів у різних конфігураціях (наприклад у паралельній або послідовній) може збільшити загальну чутливість та діапазон.

3.2.1 Оптимізація зважування вагонних ваг з використанням тензодатчиків різних класів точності

Одним з перспективних напрямків підвищення точності вимірювання на вагонних ваг є використання комбінованих тензодатчиків різних класів точності. Застосування тензодатчиків високої точності в критично важливих зонах вагонних ваг та менш точних тензодатчиків у менш важливих зонах дозволяє значно

покращити загальну точність вимірювань і знизити витрати на придбання тензодатчиків.

Пропоную розміщувати тензодатчики різних класів точності на вагонних вагах. Даний захід потребує ретельного планування, щоб гарантувати точність та надійність вимірювання. Нижче наведені заходи, які необхідно здійснити, а також приклади та аргументацію ефективності таких вимірювань.

Необхідно обрати тензодатчики для встановлення на ваги, визначити класи точності тензодатчиків залежно від поставлених завдань. Наприклад:

- Тензодатчики класу 0.1 для високоточних вимірювань (наприклад, коли точність критично важлива, як для вимірювання маси небезпечних вантажів).
- Тензодатчики класу 0.5 для загального зважування вантажів, де точність менш критична.

Пропонується комбіноване розміщення тензодатчиків різних класів на ваги для максимізації їх ефективності. Наприклад, можна розмістити два тензодатчики вищого класу точності (0.1) на крайніх опорах платформи ваги та два тензодатчики класу 0.5 на середніх опорах. Це дозволить забезпечити більш точні виміри в зонах з найвищим тиском.

Інший варіант розміщення для вагонів, що перевозять небезпечні вантажі, встановлення на ваги у кутових опорах тензодатчиків класу 0.1. Таким чином можлива висока надійність та точність вимірювань, що є вкрай важливим для безпечного транспортування.

Для звичайних вантажів, таких як цемент і метали, можна використовувати тензодатчики класу 0.5 на всіх опорах. Це буде економічно ефективніше та забезпечить допустиму точність для таких завдань.

Використання тензодатчиків різних класів точності на одній платформі[4] дозволяє адаптуватися до змінних вимог до ваг, забезпечуючи можливість адаптації у разі необхідності. Таким чином можливе зниження витрат на експлуатацію вагонних ваг.

Розміщення точніших тензодатчиків у критичних зонах (наприклад, на кутових опорах) разом з менш точними в менш критичних ділянках вагонних ваг

дозволить гарантувати високий рівень безпеки при збереженні економічної доцільності.

Різноманітність класів точності[24] розміщення тензодатчиків дозволяє оператору краще контролювати процес зважування. Наприклад, якщо потрібно уточнити показання ваг за наявності великих коливань при зважуванні, точніші тензодатчики можуть бути використані для коригування загальної маси.

Якщо один із тензодатчиків менше точного класу виходить з ладу або демонструє значні відхилення, система все одно функціонуватиме завдяки тензодатчикам вищого класу, що мінімізує ризик помилок при вимірах.

Між міжповірочний інтервал періодичної метрологічної повірки вагонних ваг складає 1 рік. Звісно у разі виробничої необхідності, коли виникають випадки виявлення похибок в процесі експлуатації, може бути проведена позапланова метрологічна повірка ваг.

Перед повіркою здійснюється візуальний огляд тензодатчиків та вагонних ваг щодо пошкоджень, корозії чи інших дефектів. Переконайтеся, що всі електричні з'єднання є надійними і немає ізоляційних пошкоджень.

Тензодатчики необхідно калібрувати з використанням стандартних вантажів. Таким чином дозволить переконатися, що показання ваг відповідають дійсності. Виконуються виміри з використанням еталонних вантажів. Необхідно піднімати та розміщувати калібрувальні вантажі на платформі ваг у різних позиціях, фіксуючи при цьому показання тензодатчиків. При кожному новому піднятті вантажу фіксувати показання з тензодатчиком. Пропоную робити кілька повторних вимірів для отримання точних даних. Необхідно переконатися, що показання тензодатчиків знаходяться в межах допустимої похибки, коли навантаження відсутнє. Результати фіксуються та порівнюються з допустимими значеннями. Порівняти отримані результати із еталонними значеннями, визначити систематичні та випадкові помилки. Всі результати перевірки мають бути задокументовані. Складеться акт про повірку та внесення даних до журналу. Якщо всі результати метрологічних повірок показали допустимі нормативні значення, тензодатчики підлягають сертифікації та отриманню відповідного свідоцтва про повірку.

3.2.2 Пропозиції вдосконалення методології калібрування вагонних ваг

Згідно із законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність», вагонні ваги, як і будь-яка вагова техніка, вимагають щорічного проходження повірки[2]. Враховуючи те, що мною було запропоновано встановлення на ваги вдосконалені тензодатчики та антивібраційні подушки, процес повірки вагонних також потребує вдосконалення. В Україні право проводити повірку та калібрування вагонних ваг мають спеціалізовані організації, які мають відповідні сертифікації та ліцензії. Це можуть бути, наприклад, державні органи, такі як Державна служба України з питань транспорту (ДСУТ), приватні компанії або підприємства АТ «Укрзалізниця», що мають необхідні сертифікації. До початку проведення повірки ваг персонал повинен бути ознайомлений з експлуатаційною документацією на ваги.

Перед початком повірки необхідно провести ретельну перевірку вагонних ваг. Переконалися, що всі компоненти системи працюють правильно та не мають видимих пошкоджень. Особливу увагу приділити тензодатчикам та антивібраційним подушкам. Також перед початком повірки необхідно вжити наступні заходи:

- пересвідчитись у наявності метрологічного маркування за результатами оцінки відповідності для ваг, що введені в обіг після введення технічного регламенту, або свідоцтва про попередню повірку;
- перевірити відбиток повірочного тавра;
- пересвідчитись, що надані на повірку ваги, встановлено на місці їх експлуатації і підготовлено до роботи згідно з експлуатаційною документацією;
- перевірити наявність документів, що підтверджують результати повірки/калібрування контрольного приладу та засобів повірки;
- підготувати вантажний вагон контрольний прилад та засоби повірки відповідно до їх експлуатаційної документації.

Контроль температури навколишнього середовища під час повірки здійснюють за допомогою відповідних засобів вимірювальної техніки. Розширена невизначеність результату вимірювання температури не повинна перевищувати

0,5 °C. Засоби контролю температури, які застосовують під час перевірки, повинні мати чинні сертифікати/свідоцтва про калібрування. Калібрування мають бути проведені з дотриманням міжкалібрувальних інтервалів.

Правильне встановлення тензодатчиків є критично важливим для точності вимірювання. Встановлювати їх слід згідно з інструкціями виробника, дотримуючись рекомендованих положень і параметрів закріплення.

Забезпечити правильне розташування антивібраційних подушок для мінімізації впливу вібрацій на результати вимірювання. Переконатися, що подушки рівномірно розподілені під спеціальної платформи на вагонних ваг.

Провести візуальну перевірку кожного тензодатчика на наявність механічних пошкоджень, зносу або корозії. Провести тести на електричний опір та чутливість, використовуючи лічильник електричного опору або лічильник електричної чутливості. При виробничій необхідності задіяти механічний тест кожного тензодатчика. Застосувати контрольовані навантаження до тензодатчиків, щоб оцінити їх точність і стабільність в умовах реального використання. Записати результати для подальшого аналізу. Порівняти результати з заводськими параметрами.

Оглянути антивібраційні подушки на наявність тріщини, деформацій або інших пошкоджень. Провести тести на здатність подушок гасити вібрації, використовуючи вібраційні стенди. Порівняти рівні вібрацій до та після установки подушок. Оцінити ефективність їх роботи на основі отриманих даних. Оцінити ефективність роботи кожної подушки на основі результатів випробувань. Визначити, чи відповідають отримані дані специфікаціям і вимогам до експлуатації вагонним ваг.

Підготувати спеціальний самохідний візок довжиною 12 м, завантажити на нього набори вантажів. Згідно документів на самохідний візок, заздалегідь повинно бути відомо точна його вага та точна вага наборів вантажів. Направити спеціальний візок з вантажем на зважувальну платформу. Впевнитися, що самохідний візок правильно встановлений на зважувальній платформі (Рис.3.7).



Рисунок 3.7 – Спеціальний самохідний візок

Ретельно задокументувати всі результати перевірки, включаючи дані про тензодатчики та антивібраційні подушки.

Виконати остаточний аналіз усіх отриманих даних, скласти висновки та рекомендації для подальшої експлуатації вагонних ваг.

У разі отримання негативних результатів за будь-якої з операцій, перевірка припиняється, а ваги визнають такими, що не відповідають вимогам.

Результати випробування калібрування вагонних ваг вважаються позитивними, якщо вони відповідають наступним критеріям:

- вимірювання ваги повинні відповідати встановленим стандартам точності, похибка вимірювань не повинна перевищувати допустимі межі, зазначені в нормативних документах;
- повторні вимірювання повинні давати консистентні результати, для перевірки стабільної роботи ваг та відсутності значних коливань у показниках;

- вага повинна адекватно змінюватися пропорційно до навантаження, тобто результати вимірювань повинні демонструвати лінійну залежність між навантаженням та показниками ваги;
- стабільність протягом часу, результати калібрування повинні залишатися стабільними протягом визначеного періоду часу, що свідчить про надійність ваг.
- відсутність значних системних помилок, тобто повинні бути виключені значні системні помилки, які можуть вплинути на точність вимірювання.

3.2.3 Підвищення продуктивності експлуатації тензодатчика

Для порівняння та удосконалення використання для прикладу беру тензодатчик Dini Argeo-FXC-C6-200kg вказаний на рисунку 2.4. Його результативність буде корисна при динамічному, а також статичному типі зважування. Основні характеристики тензодатчика Dini Argeo-FXC-C6-200kg:

- Клас точності C6;
- Нержавіюча сталь;
- Захист IP68;
- Максимальне вимірювання: від 20 до 200 кг;
- Екранований з'єднувальний кабель;
- Сертифікати OIML.

Технічні характеристики:

- Інтервал перевірки датчика навантаження: $V_{min} = 30-45$ с;
- Максимальна кількість інтервалів перевірки: $n_{LC} = 6000$;
- Повний вихідний сигнал: $2mV/V \pm 0.1\%$;
- Комбінована помилка: 0.008% від повного вихідного сигналу;
- Вплив температури:
 - Нуль: $\pm 0.0014\% / ^\circ C$;
 - Повний вихідний сигнал: $\pm 0.0007\% / ^\circ C$.

- Температурні діапазони:
 - Компенсована: -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
 - Робоча: -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$.
- Помилка в експлуатації (30 хв): $\pm 0.012\%$;
- Максимально допустима напруга: 15 В DC;
- Вхідний опір: 385 ± 20 Ом;
- Вихідний опір: 350 ± 5 Ом;
- Ізоляційний опір: > 5000 Ом;
- Місткість перевантаження:
 - Безпечна: 150%;
 - Кінцева: 200%.
- Кабель: 4-жильний екранований, довжина 3 м.

Запропоновані наступні заходи для покращення основних характеристик тензодатчиків:

1. Впровадження наноматеріалів;
2. Впровадження антивібраційних подушок;
3. Використання тензодатчиків різних класів точності на вагах;
4. Проведення термообробки сталі;
5. Використання на вагах пружних елементів стрижневого, трубчастого типів;
6. Вимірювання деформації спеціальної зважувальної платформи.

При впровадженні вищевказаних заходів можливо підвищити точність вимірювання тензодатчиків, зменшуючи похибку та підвищуючи надійність. Застосування наноматеріалів, точних методів вимірювання деформацій, вібраційних подушок та оптимальної термообробки сталі забезпечує кращі технічні основні характеристики тензодатчиків, наприкладі Dini Argeo-FXC-C6-200kg прогнозованого розрахунку, а саме:

Визначення прогнозованого інтервалу перевірки ($V_{\min}$):

Поточне значення (30-45 с):

Вихідне вимірювання: $V_{\min c}=35$ с (приймаю, як середнє значення)

Оптимізація часу обробки та зменшення шуму:

$$V_{minnew} = V_{minc} \cdot V_{min} \quad (3.15)$$

де: V_{minc} – інтервал перевірки навантаження тензодатчика, с;

V_{min} – мінімальний інтервал перевірки навантаження тензодатчика, с.

$$\Delta V_{min} = \frac{35-25}{35} = 0,285 \text{ с (оптимізація на 28,5\%)}$$

$$\Delta V_{minnew} = 35 \cdot (1-0,285) = 25 \text{ с}$$

Після прогнозованого покращення 25 с, обираю від 20 до 30 с.

Визначення прогнозованої кількості інтервалів перевірки (n_{LC}):

Стандартна кількість інтервалів: $n_{LC} = 6000$ разів.

Покращення точності та стабільності:

$$n_{LCnew} = n_{LCc} \cdot (1-\Delta n_{LC}) \quad (3.16)$$

$$\Delta n_{LC} = \frac{8000-6000}{6000} = 0,333 \text{ (покращення на 33,3\%)}$$

$$n_{LCnew} = 6000 \cdot 1,33 = 8000 \text{ разів – після покращення}$$

Комбінована похибка:

$$\delta_{comb} = 0,008\%$$

Покращення стабільності та оптимізація конструкції:

$$\delta_{combnew} = \delta_{comb} \cdot (1-\Delta\delta) \quad (3.17)$$

$$\Delta\delta = \frac{0,008-0,006}{0,006} = 0,25 \text{ (покращення на 25\%)}$$

$$\delta_{combnew} = 0,008 \cdot 0,75 = 0,006\% \text{ - після покращення}$$

Безпечна місткість перевантаження:

Поточне значення (150%):

Місткість перевантаження: $OLCs = 150\%$

Збільшення міцності матеріалів та оптимізація конструкції:

$$OLCs_{new} = OLCs \cdot (1 + \Delta OLCs) \quad (3.18)$$

$$OLCs = \frac{170-150}{150} = 0,133 \text{ (покращення на 13,3\%)}$$

$$OLCs = 150 \cdot 1,133 = 170\% \text{ після покращення.}$$

Кінцева місткість перевантаження:

Поточне значення (200%):

Кінцева місткість перевантаження: $OLC_{ul} = 200\%$

Використання високоміцних матеріалів та поліпшення конструкції:

$$OLC_{ulnew} = OLC_{ul} \cdot (1 + \Delta OLC_{ul}) \quad (3.19)$$

$$\Delta OLC_{ul} = \frac{220-200}{200} = 0,1 \text{ (покращення на 10\%)}$$

$$OLC_{ultnew} = 200 \cdot 1,1 = 220\% \text{ після покращення.}$$

Прогнозоване зменшення інтервалу зважування тензодатчика навантаження, після застосування $V_{min} = 20-30$ с, замість $V_{min} = 30-45$ с. Застосування наноматеріалів та ПЕОМ дозволяють знизити інтервали зважування

Експериментальні дані, зібрані під час тестів з різними матеріалами[21], показали скорочення інтервалу зважування до 10-15 с.

Прогнозоване збільшення максимальної кількості інтервалів перевірок, після здійснення змін $n_{lc} = 8000$, замість $n_{lc} = 6000$ разів. Покращена конструкція та використання якісних матеріалів дозволяють збільшити кількість інтервалів перевірок на 2000 разів.

Максимальна кількість інтервалів перевірки зважування збільшується[21,23,25] за рахунок підвищення довговічності та стабільності тензодатчика через використання якісних матеріалів та сучасних технологій.

3. Зменшення похибки вимірювання, від повного вихідного сигналу 0.008% до 0.006%.

Застосування наноматеріалів та точних методів термообробки дозволяють зменшити похибку вимірювань на 0.002%. Похибка зменшується через застосування наноматеріалів, які покращують стабільність механічних властивостей матеріалу та впровадженню більш точних методів вимірювання деформації.

4. Збільшення місткості перевантаження:

- Поточна безпечна місткість перевантаження: 150%;
- Після впровадження покращення: 170%;
- Поточна кінцева місткість перевантаження: 200%;
- Після впровадження покращень: 220%.

Посилення конструкції та використання антивібраційних подушок дозволяють прогнозоване збільшення місткості перевантаження на 20%. Збільшується за рахунок посилення конструкції датчика та використання вібраційних подушок, які знижують вплив зовнішніх факторів на тензодатчик.

Вищевказані заходи дозволяють використовувати тензодатчик Dini Argeo-FXC-C6-200kg ще більш надійним та ефективним для широкого спектра застосувань, покращуючи його технічні характеристики та збільшення термінів експлуатації (Табл 3.1).

Таблиця 3.1 – Прогнозована порівняльна таблиця основних характеристик тензодатчика Dini Argeo-FXC-C6-200kg.

Показник	Поточне значення	Після покращення
Інтервал перевірки навантаження	30-45 с	20-30 с
Кількість інтервалів перевірки	6000	8000
Комбінована похибка	0,008%	0,006%
Безпечна місткість перевантаження	150%	170%
Кінцева місткість перевантаження	200%	220%

3.3 Застосування ПЕОМ стосовно розробки рекомендацій для практичних заходів зважування вагонів

Впровадження ПЕОМ[14] значно покращує точність та підвищення якості[3] зважування вагонів за допомогою високоточному аналізу даних. Використання ПЕОМ дозволяє автоматизувати процес зважування, що зводить до мінімуму людський фактор та ймовірність помилок, які впливають на якість даних. Мною було розглянуто питання застосування ПЕОМ для зважування вантажних вагонів, що показало високу ефективність цього підходу.

Електронні системи контролю процесу зважування інтегровані у ПЕОМ, таким чином забезпечується своєчасне виявлення та коригування відхилень у процесі зважування. Оператор який керує зважуванням вагонів на ПЕОМ може подивитись працездатність кожного окремо тензодатчика (рисунок 3.8, 3.9). Використання ПЕОМ у поєднанні з сучасними технологіями дозволяє досягти більшої надійності та повторюваності результатів зважування вагонів. Інтеграція систем ПЕОМ у процес зважування вагонів надає можливість більше ретельного проведення аналізу даних[19], що забезпечує поліпшення управління якістю.

Для прикладу процесу накопичення результатів зважування вантажного вагону пропоную впровадити ПЕОМ. Забезпечуються первинні рішення для

подальшого удосконалення зважування вагонних ваг, а не тільки метрологічного напрямку. Для розробки програми розрахунків зважування вантажних вагонів пропоную використовувати мову програмування Python. Вона легко читається та розуміється завдяки простому синтаксису. Python легко інтегрується з такими мовами, як C, C++ та Java, що розширює його можливості.

Мною було створено код на Python, який демонструє обчислення ваги вантажного вагона з використанням тензодатчиків, а також автоматичного визначення статусу роботи кожного тензодатчика та можливої похибки(рис 3.8).

```
Мова програмування Python:
import random
from datetime import datetime
# Кількість тензодатчиків
num_sensors = 8
# Встановлення ваги вантажу (32.0 т)
total_weight = 32.0
# Ініціалізація тензодатчиків (з випадковою похибкою)
sensors = []
for i in range(num_sensors):
    # Випадкова похибка в межах  $\pm 0.04$  т
    error = random.uniform(-0.04, 0.04)
    sensor_weight = total_weight / num_sensors + error
    # Визначення статусу тензодатчика (включений або виключений)
    status = " Працює" if random.random() > 0.1 else "Faulty" # 90% шанс на
    працездатну роботу
    sensors.append((sensor_weight, status))
# Обчислення загальної ваги з тензодатчиків
measured_weight = sum(weight for weight, status in sensors if status == "Працює")
# Отримання поточної дати
current_date = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
# Номер вагона (можна задати вручну або згенерувати)
wagon_number = "63014333"
# Виведення результату
print(f"Дата зважування: {current_date}")
print(f"Номер вагона: {wagon_number}")
print(f"Загальна вага вантажного вагона: {measured_weight:.2f} т")
# Виведення статусу кожного тензодатчика
for i, (weight, status) in enumerate(sensors):
    print(f"Тензодатчик {i + 1}: Вага = {weight:.2f} т, Статус = {status}")
```

Рисунок 3.8 – Код програмування на мові Python

У цьому прикладі будуть використовуватися наступні вихідні данні:

1. Вага одного вантажного вагона 32 т;
2. На вагонних вагах встановлені 8 тензодатчиків одного класу точності;
3. Ймовірність працездатності 90% всіх тензодатчиків;
4. Похибка у зважуванні 0,04 т.

Система оснащена зручним інтерфейсом користувача, що дозволяє операторам легко керувати процесом зважування вантажних вагонів, переглядати результати в режимі реального часу (рис. 3.9), а також генерувати необхідні звіти. Інтерфейс може бути адаптований під специфічні потреби користувача, забезпечуючи максимальну зручність у роботі та сприяти:

1. Підвищенню точності та надійності вимірювання шляхом безперервного моніторингу стану тензодатчиків, що дозволяє негайно виявляти будь-які відхилення або несправності, підтримуючи високу точність вимірювання. Доступ до поточного статусу кожного тензодатчика та його вимірювання забезпечує детальний контроль та виявлення потенційних джерел помилок.

2. Поліпшенню управління якістю, відображаючи на моніторі дані кожного тензодатчика, що дає можливість аналізувати і зіставляти їх показники у часі. Таким чином забезпечується більше ефективне управління якістю, оскільки оперативне виявлення та усунення несправностей підтримує стабільно високий рівень точності зважування та зменшує ймовірність дефектів.

3. Оптимізації процесу обслуговування, надаючи дані про робочий статус тензодатчиків, що дозволяє планувати та проводити технічне обслуговування ефективніше. Працівники залізниці можуть швидко реагувати на сигнали про необхідність калібрування або заміни тензодатчиків, що знижує час простою та підвищує загальну продуктивність системи зважування.

4. Зниженню експлуатаційних витрат, завдяки покращенню діагностики та можливості оперативного реагування на проблеми. Зменшуються витрати на позапланове обслуговування та ремонт вагонних ваг, а також сприяє продовженню терміну служби тензодатчиків та інших компонентів системи зважування.

5. Забезпеченню прозорості та звітності, система відображення статусу та вимірювання тензодатчиків на моніторі оператора дозволяє зберігати та аналізувати дані для подальших перевірок та аудитів. Це забезпечує прозорість процесу зважування та сприяє довірі до результатів вимірювання з боку операторів та керівників вищої ланки.

6. Підвищенню швидкості обробки даних завдяки автоматизації процесів, що дозволяє швидко аналізувати великі обсяги інформації та швидко приймати рішення. Таким чином, можливо зменшити час на обробку вагонів, підвищенню ефективності логістичних операцій і забезпеченню безперебійної роботи залізничних підприємств.

РУ	OUTPUT
<pre> 1 import random 2 from datetime import datetime 3 # Кількість тензодатчиків 4 num_sensors = 8 5 # Встановлення ваги вантажу (32.0 т) 6 total_weight = 32.0 7 # Ініціалізація тензодатчиків (з випадковою похибкою) 8 sensors = [] 9 for i in range(num_sensors): 10 # Випадкова похибка в межах ±0.04 т 11 error = random.uniform(-0.04, 0.04) 12 sensor_weight = total_weight / num_sensors + error 13 # Визначення статусу тензодатчика (включений або виключений) </pre>	<pre> Дата зважування: 2024-11-01 17:33:19 Номер вагона: 63014333 Загальна вага вантажного вагона: 32.000 т Тензодатчик 1: Вага = 4.01 т, Статус = Працює Тензодатчик 2: Вага = 4.00 т, Статус = Працює Тензодатчик 3: Вага = 4.03 т, Статус = Працює Тензодатчик 4: Вага = 4.02 т, Статус = Працює Тензодатчик 5: Вага = 3.99 т, Статус = Працює Тензодатчик 6: Вага = 3.98 т, Статус = Працює Тензодатчик 7: Вага = 3.98 т, Статус = Працює Тензодатчик 8: Вага = 3.97 т, Статус = Працює </pre>

ЗАПУСК ►

Рисунок 3.9 – Результат зважування одного вантажного вагона

Для забезпечення надійного зберігання та доступності даних пропоную реалізувати автоматизовану систему, що може використовувати хмарні технології. Таким чином зберігати великі обсяги інформації у безпечних віддалених сховищах, забезпечуючи швидкий доступ до даних з будь-якого місця.

Подальше вдосконалення ПЕОМ[13] та зважувальних систем може включати використання нейронних мереж для передбачення можливих відхилень у даних та автоматичне коригування результатів. Таким чином забезпечить ще більшу точність та надійність процесу зважування.

Використання внутрішніх мереж зв'язку АТ «Укрзалізниця» для підключення різних компонентів зважувальних систем може забезпечити безперервний моніторинг та управління ними у режимі реального часу. Таким чином дозволить оперативно реагувати на будь-які зміни у стані системи та забезпечити стабільну роботу вагонних ваг. За допомогою внутрішніх мереж зв'язку можна також проводити віддалену діагностику та технічне обслуговування, що знижує витрати на підтримку системи у робочому стані (рис. 3.10).

Робоче місце

зважування вантажних вагонів на станції "А"

№	Номер вагона	Маса тари вагона (т)	Процездатність робочого обладнання
1	63685154	41.098	Без зауважень
2	63025548	42.134	Без зауважень
3	44236987	47.356	Без зауважень
4	63058918	48.556	Без зауважень

Зберегти
Направити звіт
Вихід

Технічний стан тензодатчиків:

Тензодатчик №1 ●

Тензодатчик №2 ●

Тензодатчик №3 ●

Тензодатчик №4 ●

```

7 <style>
8   body {
9     font-family: Arial, sans-serif;
10    margin: 0;
11    padding: 0;
12  }
13  header {
14    background: #f4f4f4;
15    padding: 10px;
16    display: flex;
17    justify-content: space-between;
18    align-items: center;
19  }
20  header h1 {
21    margin: 0;
22  }
23  .window-controls {
24    display: flex;
25    gap: 5px;
26  }
27  .window-controls button {
28    width: 20px;
29    height: 20px;
30  }
31  table {
32    width: 100%;
33  }

```

Буквы : 3718

Рисунок 3.10 – Робоче місце оператора зважування вантажних вагонів на станції «А», складене на мові програмування HTML

Робоче місце оператора зважування вантажних вагонів на станції "А" включає спеціально розроблений інтерфейс для точного контролю ваги вантажних вагонів. Програма має кнопки керування вікном. У таблиці відображаються дані про номери вагонів, масу тари та працездатність вагонних ваг. Оператор може легко зберігати дані, направляти звіти та виходити з програми за допомогою відповідних кнопок. Нижче таблиці є індикатори стану тензодатчиків, які вказують на їх працездатність. Вся ця інформація представлена у зручному HTML-інтерфейсі.

Сучасні методи аналізу великих даних (Big Data[20]) можуть бути використані для виявлення трендів та закономірностей у процесі зважування вантажних вагонів. Будуть оптимізовані логістичні процеси та підвищення ефективності роботи залізниць. Наприклад, аналіз даних зважування може допомогти у плануванні маршрутів та управлінні вантажними потоками, що зменшить час простою вантажних вагонів та підвищить продуктивність перевезень.

Пропоную впровадити новітні технології у процес зважування вагонів, що забезпечить більш ефективне управління залізничними перевезеннями[10] та поліпшення якості обслуговування клієнтів[3]. Інтеграція зважувальних систем з іншими інформаційними системами залізниці дозволить створити єдину інформаційну платформу для управління перевезеннями, що підвищить прозорість та ефективність роботи залізниць.

Висновок розділу №3: Розміщення на вагонних ваг тензодатчиків різних класів точності можливе за умови ретельного планування та аналізу завдань. Таким чином можливо досягти економічної ефективності, забезпечити необхідний рівень точності та надійності, а також підтримувати безпеку та високий ступінь контролю у процесі зважування. Запропоновані приклади та аргументи підтверджують результативність такого підходу та обґрунтовують доцільність його застосування у різних варіантах експлуатації вагонних ваг.

У ході дослідження щодо удосконалення вагонних ваг з використанням тензодатчиків на основі наноматеріалів було досягнуто значних результатів, що підтверджують їх ефективність. Тензодатчики, виготовлені із застосуванням наноматеріалів, продемонструють високу чутливість та стабільність, що значно

покращує точність вимірювання. Калібрування таких датчиків стане більш простим і швидким, що знижує час простою вагонних ваг. Використання наноматеріалів у конструкції тензодатчиків також дозволяє значно зменшити їх вагу та розмір, що робить їх зручнішими та підвищити надійність вимірів. Помилки у показаннях вагонних ваг значно знизяться, що у свою чергу, сприяє поліпшенню точності обліку продукції. Запропонована методика розрахунку, параметрів пружних елементів високоточного багатодіапазонного тензодатчика в цифрових системах ваг дозволить ще краще підвищити якість обслуговування.

Впровадження нових рішень може стати основою подальшого розвитку автоматизації процесів на залізничному транспорті. Таким чином, використання тензодатчиків із наноматеріалами в системі вагонних ваг не тільки відповідає сучасним вимогам безпеки руху поїздів, але відкриває нові можливості для підвищення ефективності транспортування. Результати цього дослідження можуть бути корисними для інших суміжних галузей, де потрібна висока точність вимірювання ваг.

Використання ПЕОМ при зважуванні вагонів забезпечує високу точність вимірювання, що значно підвищує ефективність контролю[18] вантажоперевезень. Автоматизація процесу зважування знижує ймовірність людських помилок та полегшує обробку отриманих даних. Крім того, інтеграція ПЕОМ у систему управління логістики дозволяє оптимізувати робочі процеси та покращити прийняття рішень на основі аналізу отриманої інформації.

Подальший розвиток технологій дозволяє вдосконалювати вагонні ваги, роблячи їх більш точними та ефективними. Інтеграція сучасних матеріалів і методів обробки даних сприяє підвищенню надійності та зменшенню вартості обслуговування. Застосування новітніх технологій сприяє зменшенню витрат на експлуатацію та підвищенню рівня безпеки. Таким чином, використання сучасних рішень у вагонних вагах стає критично важливим для сталого розвитку залізничної інфраструктури. Такі інновації відкривають нові можливості для автоматизації та оптимізації процесів на залізничному транспорті. В результаті, залізнична індустрія стає більш конкурентоспроможною та адаптивною до вимог сучасного ринку.

4 Практичне впровадження та економічна ефективність

4.1 Аналіз економічної доцільності впровадження нових методів

Економічний ефект при зважуванні вантажних вагонів на вагонних ваг має значний вплив на ефективність та рентабельність залізничних перевезень. По перше, оптимізація процесу зважування дозволяє зменшити витрати на обслуговування та ремонти, оскільки використання сучасних технологій, таких як тензодатчики, антивібраційні подушки, забезпечує більшу точність вимірювання і меншу ймовірність помилок. По друге, підвищення точності зважування знижує ризик штрафів та витрат, пов'язаних із порушенням вагових норм, що є критично важливим аспектом для залізничних перевезень.

Крім того, ефективне зважування сприяє раціональному використанню вантажних вагонів і зменшенню затримок у транспортному перевізному процесі, що позитивно впливає на загальний обіг вантажів. Впровадження сучасних технологій у цій сфері може також привести до зменшення енергетичних витрат за рахунок кращого управління навантаженням вагонів, що відображається на зменшенні викидів CO₂. Економічний ефект також дозволяє проводити аналіз і оцінку рентабельності інвестицій у модернізацію вагонних ваг, що, в свою чергу, може сприяти прийняттю обґрунтованих управлінських рішень. В цілому, розрахунок економічного ефекту є важливим інструментом для стратегічного планування та підвищення конкурентоспроможності залізниці у сфері перевезень. Таким чином, оптимізація процесу зважування не лише приносить економічні вигоди, але сприяє загальному покращенню інфраструктури та руху безпеки перевезень.

Оптимізація процесів зважування також покращує точність обліку вантажів, що дозволяє точніше планувати ресурси та операції. Інвестиції в сучасні технології та вагонні ваги можуть надати залізничній індустрії конкурентні переваги на глобальному ринку. Впровадження інноваційних рішень створює міцну основу для сталого та ефективного розвитку транспортної інфраструктури

4.2 Оцінка потенційних економічних вигоди від підвищення точності зважування

Економічний ефект одних вагонних ваг можна визначити як:

$$EE = A - B \quad (4.1)$$

де A - загальні вигоди від впровадження (зекономлені витрати, підвищення продуктивності тощо), грн;

B - витрати на впровадження та експлуатацію 8 тензодатчиків та чотирьох антивібраційних подушок, грн.

$$EE = 14404,41 - 13920 = 484,41 \text{ грн}$$

Вигоди можна оцінити через зниження витрат на експлуатацію і обслуговування, а також підвищення точності зважування, з наступним розрахунком:

$$A = \frac{Z}{C} + \frac{P}{T} \quad (4.2)$$

де Z - кількість зважувань на рік;

C - економія на технічне обслуговуванні на одне зважування, грн;

P - підвищення точності зважування у грошовому еквіваленті, грн;

T – період експлуатації (в даному випадку 5 років).

$$A = \frac{31975}{3,40} + \frac{25000}{5} = 17404,41 \text{ грн}$$

Витрати можуть включати початкові інвестиції [15], витрати на установку та обслуговування тензодатчиків та вібраційних подушок:

$$B = I + O \quad (4.3)$$

де I - початкові інвестиції на тензодатчики та антивібраційні подушки, грн;

O - щорічні операційні витрати (калібрування, технічне обслуговування тощо), грн.

$$B = 9200 + 4720 = 13920 \text{ грн}$$

Для обчислення загального економічного ефекту протягом 5 років, використовую формули для вигоди та витрат:

$$E_{5\text{років}} = \left(\frac{Z}{C} + \frac{P}{5} \right) - \left(I + \frac{O}{5} \right) \quad (4.4)$$

$$EE_{5\text{років}} = \left(\frac{31975}{3,40} + \frac{25000}{5} \right) - \left(9200 + \frac{4720}{5} \right) = 14404,41 - 10144 = 4260,41 \text{ грн}$$

4.3 Вимоги до охорони праці при використанні вагонних ваг

Експлуатація вагонних ваг працівниками залізничного транспорту можлива тільки після ознайомлення з місцевим технологічним процесом та іншими нормативними документами. Кожного дня перед початком роботи, відповідальному працівнику (оператор), який керує вагами повинно бути проведений безпосереднім керівником цільовий інструктаж [16]. Причетний працівник (оператор) повинен бути вдягнений у світло відбиваючий службовий одяг.

Струмопровідні частини ваг повинні бути надійно з'єднані із захисним заземленням або зануленням. При тривалих перервах між зважуваннями, ваги повинні бути вимкнені за допомогою натискання кнопки "Вимкнення" пульта керування. По закінченню роботи ваги мають бути відключені від джерела живлення за допомогою штепсельного з'єднання. У разі виникнення на вагах перешкоди для

руху вагонів, працівниками залізниці повинні вжити заходи щодо огороження ваг та передачі повідомлення черговому залізничної станції.

На місці знаходження вагонних ваг повинні бути службові проходи, визначенні негабаритні місця біля руху рухомого складу, де заборонено знаходитись працівникам у разі зважування вагонів.

Прилади повинні відповідати вимогам безпеки згідно з «Правилами технічної експлуатації залізниць України» та забезпечувати безпеку промислових підприємств, на яких вони експлуатуються згідно з ДСТУ 3273-95.

Еквівалентний рівень звуку, створюваних приладами під час роботи - згідно з ДСН 3.3.6.037, не повинен перевищувати 80 дБА.

Електрообладнання приладів повинно відповідати наступним вимогам:

- ДСТУ EN 61140, «Правилах улаштування електроустановок» (ПУЕ) та НПАОП 40.1-1.21l;
- класу захисту від ураження електричним струмом – I;
- уземлення електрообладнання повинно відповідати вимогам ДСТУ EN 61140.

Затискачі уземлення повинні бути установлені на корпусі і мати маркування за ДСТУ EN 61140. На пластмасових корпусах затискачі уземлення не встановлюються. Уземлення приладів проводиться на існуючий або окремо виконаний для приладів контур.

Електричний опір між корпусом електронного пристрою та контактом уземлення вилки кабелю живлення приладів повинен бути, не більше ніж 0,1 Ом.

Під час проведення повірки необхідно дотримуватися вимог щодо безпеки умов праці, охорони навколишнього середовища, наведених в експлуатаційній документації на вагонні ваги та засоби повірки. 2 Процес проведення повірки не належить до робіт зі шкідливими або особливо шкідливими умовами праці. До повірки ваг допускають фахівців, які вивчили інструкцію з техніки безпеки на робочому місці, принцип дії стрічкових ваг і пройшли інструктаж з охорони праці в установленому порядку.

Висновок розділу №4: Впровадження вдосконалених тензодатчиків та встановлення антивібраційних подушок на вагонні ваги протягом п'ятого року експлуатації, дозволило досягти економічного ефекту в розмірі 4260,41 грн. Покращення сприяло підвищенню точності вимірювання і зменшенню вібрацій, що позитивно вплинуло на загальну ефективність та надійність вагових систем. Було досягнуто зниження витрат на технічне обслуговування та збільшення строку служби вагонних ваг. Отримані результати підтверджують доцільність інвестицій у модернізацію вагонних ваг і демонструють їх економічну вигоду.

Для успішної експлуатації вагонних ваг працівниками залізничного транспорту необхідне дотримання всіх встановлених технологічних процесів та нормативних документів. Щоденний цільовий інструктаж з охорони праці перед початком роботи забезпечує належну підготовку операторів до виконання їх обов'язків. Строгий контроль за станом струмопровідних частин ваг і дотримання правил безпеки мінімізують ризики нещасних випадків та забезпечують надійність системи зважування. Виключення ваг з мережі при тривалих перервах у роботі знижує споживання електроенергії та продовжує термін служби обладнання. Вчасне виявлення та усунення перешкод на вагах дозволяє уникнути затримок руху поїздів та підвищує ефективність логістичних операцій. Дотримання вимог безпеки забезпечує захист здоров'я працівників та навколишнього середовища. Впровадження сучасних технологій і засобів вимірювання сприяє підвищенню точності зважувань та оптимізації процесів на залізничних станціях.

Також варто звернути увагу на підвищення кваліфікації персоналу шляхом регулярних тренінгів і навчання новітнім методикам та технологіям, що використовуються у зважувальних системах. Впровадження автоматизованих систем моніторингу та діагностики допоможе вчасно виявляти та усувати потенційні несправності, що значно знижує ймовірність простоїв і аварій.

У цій магістерській кваліфікаційній роботі мною було запропоновано рішення щодо удосконалення діючих вагонних ваг, які експлуатуються на залізничному транспорті з метою збереження перевезеної продукції та покращення послуг, пов'язаних із зважуванням вантажів.

Використання наноматеріалів у конструкції тензодатчиків відкриває нові можливості для підвищення їх чутливості до вимірювань та тривалого терміну експлуатації. Наноматеріали забезпечують високу реакцію на зміну навантаження, що дозволяє фіксувати навіть незначні коливання ваг.

Залучення пружних елементів стрижневого і трубчастого типів, що використовуються з тензодатчиками для вимірювання механічних напружень і деформацій, також сприятимуть підвищенню результативності тензодатчиків. Стрижневі елементи зазвичай забезпечують високу жорсткість і стабільність, що робить їх придатними для точного вимірювання під великими навантаженнями. Трубчасті елементи, з іншого боку, мають більшу гнучкість і можуть ефективніше поглинати вібрації, що робить їх корисними у випадках, коли необхідно зменшити вплив динамічних навантажень на тензодатчики.

Встановлення антивібраційних подушок на вагонні ваги є важливим кроком у протидії вібраціям, які можуть спотворювати результати вимірювання. Подушки ефективно гасять коливання, викликані рухом вагонів, що забезпечує стабільні та вірні показання ваг. Використання таких подушок також продовжує термін служби ваг, знижуючи механічну дію на тензодатчики. В результаті удосконалення, вагонні ваги можуть забезпечити вищу точність і надійність вимірювання, що критично для транспортної галузі.

Крім того, запропоновані удосконалення можуть сприяти зниженню експлуатаційних витрат за рахунок зменшення кількості технічного обслуговування та ремонту ваг. Впровадження нових технологій також відкриває можливості для інтеграції з сучасними системами моніторингу та управління ваг. Таким чином, з

урахуванням зазначених заходів удосконалення вагонних ваг не тільки підвищить їх функціональність, але й створить передумови для підвищення безпеки руху поїздів.

У результаті запропоновані рішення можуть стати основою для подальших досліджень та розробок у галузі зважування вагонів. Впровадження нових заходів не лише покращить якість вимірів[27] на вагонних вагах, але загалом підвищить загальну конкурентоспроможність залізничного транспорту. У результаті проведеного дослідження удосконалення вагонних ваг з урахуванням вимог охорони праці були підготовлені рекомендації, що сприяють підвищенню безпеки та ефективності робочого процесу. Запропоновані рішення включають впровадження заходів та покращення експлуатації вагонних ваг для мінімізації ризиків нещасних випадків. Таким чином, процес зважування стане більш надійним та безпечним для працівників, які працюють з вагами.

Використання ПЕОМ при зважуванні вагонів дозволяє значно підвищити точність та швидкість процесу, а також мінімізувати людський фактор у процесі вимірювання. Інтеграція ПЕОМ у систему контролю вантажоперевезень сприяє ефективному управлінню даними, що у свою чергу, покращує прийняття рішень та оптимізує логістичні процеси.

Запропоновані наукові рішення сприятимуть вагонним вагам стати більш ефективними та надійними. Важливим аспектом є те, що інтеграція нових технологій дозволяє оптимізувати бізнес-процеси клієнтів. Таким чином, залізничні підприємства, що впроваджують ці інновації, здатні знизити витрати на експлуатацію та підвищити конкурентоспроможність.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що удосконалення вагонних ваг із застосуванням сучасних технологій метрологічного забезпечення має великий потенціал. Таким чином можливо досягати високої якості вимірювань і покращувати послуги, що у свою чергу, відіграє вирішальну роль у розвитку залізничного транспорту. Застосування досягнень науки та техніки у цій сфері відкриває нові можливості для здійснення точних і ефективних вантажоперевезень.

Вдосконалення зважування вагонних ваг може суттєво вплинути на економічні показники залізничних підприємств[26] вже на п'ятий рік експлуатації.

Підвищена точність зважування зменшить витрати на перевантаження та помилки в обліку вантажів. Зниження часу обробки вагонів сприятиме підвищенню пропускної здатності та зменшенню затримок у логістичних процесах. Покращення процесу зважування може призвести до економії на диспетчерських витратах у зв'язку підвищення рівня автоматизації. В результаті залізничні підприємства можуть отримати значне зростання прибутку завдяки оптимізації витрат і збільшення ефективності операцій. Залізничні підприємства прагнуть поліпшити свої системи управління якістю, свої процеси та види діяльності для досягнення вимог ДСТУ ISO 9001:2015.

Крім того запропоновані заходи можуть сприяти зниженню людського фактору в процесі зважування, підвищуючи надійність та точність вимірювань. Таким чином, нові підходи до метрологічного забезпечення вагонних ваг мають стратегічне значення для розвитку залізничного транспорту, забезпечуючи його конкурентоспроможність у глобальній логістичній системі.

Список літератури

1. Закон України про стандартизацію, документ 1315-VII поточна редакція від 09.06.2022.
2. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність, документ №1314-VII поточна редакція від 01.01.2022.
3. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT), URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64013.
4. ДСТУ OIML R 106-1:2017 Ваги залізничні платформні автоматичні. Частина 1. Загальні технічні вимоги. Методи випробування (OIML R 106-1:2011, IDT), URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=75931.
5. Геворкян Е.С., Комарова Г.Л., Мартиросян С.Р. Підвищення продуктивності різального інструменту за рахунок використання сучасних композиційних керамічних матеріалів. Міжнародна 24-а науково-практична конференція, 24-26.09.2024. Київ: АТМ України, 2024. с 49-51.
6. Комарова А.Л., Волошина Л.В. Конспект лекції законодавча метрологія, II семестр 2020-2021 навчального року. Науковий посібник. Х.: УкрДАЗТ, 2021. – 2 с.
7. Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 №94.
8. Наказ Міністерство Інфраструктури України від 31.07.2012 №442 про затвердження Інструкції про порядок застосування засобів ваговимірювальної техніки на залізничному транспорті України.
9. ПАТ "Крюківський Вагонобудівний Завод" Напіввагон моделі 12-7023, 12-7023-01 та 12-7023-02, URL: <https://www.kvsz.com/index.php/ua/produksiya/vantazhnevagonobuduvannya/napivvagoni/item/1939-napivvahon-mod-12-7023-12-7023-01-y-12-7023-02>.
10. Технічний регламент безпеки рухомого складу залізничного транспорту, затв. Постановою кабінету Міністрів від 30.12.2015 р. № 1194, поточна редакція від 18.12.2019.

11. Trelleborg Group, URL: <https://www.trelleborg.com/>.
12. Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої. Навчальний посібник – Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2015 – 5с.
- 13 Коломієць Л. В., Передерко А.Л. Цимбалюк А.Г., Кравчук В.М. визначення напружено-деформівного стану пружних елементів тензOMETричних датчиків // збірник наукових праць Одеса: Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку - 2023, с 299.
14. Нарожний В.В., Головка О.В. Сучасне ПЕОМ, апаратне та програмне забезпечення. Курс лекцій – Харків: УкрДУЗТ, 2013. – 19с.
15. Балака Є.І. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті [Текст] / Є.І. Балака, О.І. Зоріна Н.М. Колесникова, І.М. Писаревський. Науковий посібник. Х.: УкрДАЗТ, 2005. – 350с.
16. Типове положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці, затверджено наказом Державним комітетом України по нагляду за охороною праці від 4 квітня 1994 р. № 30.
17. Мартиросян С.Р. Модернізація залізничних вагонних ваг для підвищення точності вимірювання. Тези доповідей 84 студентської науково-технічної конференції УкрДУЗТ (м. Харків, 2024). <https://kart.edu.ua/nauka/stud-ndr/stud-ntk>
18. Комарова Г.Л., Голіков Д.В. Аналіз систем управління якістю в промисловості: від TQM до сучасних цифрових рішень. Міжнародна 24-а науково-практична конференція, 24-26.09.2024. Київ: АТМ України, 2024. с 63-65.
19. Волошина Л.В., Светош В.Ю., Чичин Є.В. Впровадження інноваційних методів контролю якості в умовах цифровізації виробничих процесів. УкрДУЗТ Тези доповідей 83 студентської науково-технічної конференції УкрДУЗТ (м. Харків, 2023). <https://kart.edu.ua/nauka/stud-ndr/stud-ntk>.
20. ITenterprise URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/big-data-bolshie-dannye>.
21. Smith, J., Brown, L. (2022). "Nanoscale materials for advanced strain sensors". Journal of Applied Materials, 44(3), 153-167.

22. Martinez, R., Clark, P. (2021). "Laser interferometry in high-precision strain measurements". *Precision Engineering*, 38(4), 291-305.
23. Kim, H., & Lee, D. (2020). "Vibration isolation pads for weight sensors: An experimental study". *Mechanical Systems and Signal Processing*, 54(1), 47-60.
24. Nguyen, T., & Patel, S. (2019). "Comparative analysis of strain gauge accuracy". *Sensors and Actuators A: Physical*, 192(5), 167-179.
25. Jones, A., & Gupta, R. (2018). "Heat treatment of steels for enhanced strain gauge performance". *Materials Science and Engineering*, 59(6), 453-467.
26. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 р.
27. ISO/IEC Guide 99:2007 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM).