

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ **Юрій КИРИЧУК**

« ____ » _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
технології проектування приладів»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»**

на тему: «Автоматизована система поосного зважування автомобілів»

Виконав:

студент III курсу, групи ПМ-п01

Швець Дмитро Олександрович _____

Керівник:

асистент, к.т.н.,

Назаренко Наталія Миколаївна _____

Консультант:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові _____

Рецензент:

доцент, к.т.н.,

Козир Олег Васильович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2023 року

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система поосного
зважування автомобілів»

Київ – 2023 року

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

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Швецю Дмитру Олександровичу

1. Тема проєкту «Автоматизована система поосного зважування автомобілів», керівник проєкту Назаренко Наталія Миколаївна, асистент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. № 2058-с
2. Термін подання студентом проєкту 19.06.2023
3. Вихідні дані до проєкту 3.1. Границі вимірювальних зусиль, m – НГВ-60,0; НмГВ -3.0; 3.2. Тип вимірювальної системи – електромеханічна на базі тензометричних перетворювачів; 3.3. Кількість датчиків вимірювального пристрою -8; 3.4. Границя відносних приведених похибок $\pm 0,1\%$; 3.5. Робочий коефіцієнт перетворення 1,0 мВ/В.
4. Зміст пояснювальної записки Обґрунтування необхідності проектування на основі критичного огляду існуючих аналогів; розробка принципів схем ваг для зважування автомобілів; розрахунок основних параметрів датчика ваги та ваг в цілому; аналіз отриманих результатів; висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Складальне креслення автомобільних ваг, складальне креслення тензорезисторного датчика ваг, креслення пружного елемента тензорезисторного датчика, структурна схема, електрична схема, презентація.

6. Консультанти розділів проєкту*

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

7. Дата видачі завдання 01.03.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	01.03.2023	
2	Проведення аналітичного огляду матеріалів	17.03.2023-20.04.2023	
3	Розробка принципів схем	21.04.2023-30.04.2023	
4	Розрахунок основних характеристик датчика ваги та ваг в цілому	01.05.2023-14.05.2023	
5	Оформлення текстової та графічної частини ДП	15.05.2023-04.06.2023	
6	Представлення ДП на перевірку науковому керівнику	05.06.2023-06.06.2023	
7	Передача матеріалів ДП на перевірку виявлення збігів/схожості текстів сервісом Unichек	07.06.2023-09.06.2023	
8	Представлення ДП до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	19.06.2023	

Студент

Дмитро ШВЕЦЬ

Керівник

Наталія НАЗАРЕНКО

РЕФЕРАТ

Дипломний проект бакалавра на тему «Автоматизована система поосного зважування автомобілів». Проект складається із вступу, двох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Проект містить 61 сторінку, 3 таблиці, 44 рисунка, список використаних джерел з 11 найменувань, 2 додатки.

Метою дипломного проекту є розробка платформних автомобільних ваг та забезпечення можливості поосного зважування на них. У першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих автомобільних ваг та тензодатчиків.

У другому розділі розроблено принципіві схеми та електричні схеми, розраховано метрологічні характеристики та розроблено конструкцію ваговимірювального тензометричного перетворювача та платформних ваг.

Ключові слова: поосне зважування, автомобільні ваги, тензодатчик.

ABSTRACT

Bachelor's thesis project on "Automated axle weighing system for Vehicles." The project consists of an introduction, two chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The project comprises 61 pages, 3 tables, 44 figures, a list of 11 cited sources, and 2 appendices.

The aim of the project is to develop platform-based vehicle scales and enable axle weighing on them. The first chapter provides an overview and analysis of existing vehicle scales and load cells.

The second chapter presents the design principles and electrical schematics, metrological characteristics calculations, and the development of the structure for the load cell and platform scales.

Keywords: axle weighing, vehicle scales, load cell.

ЗМІСТ

Перелік скорочень та умовних позначень	9
Вступ	10
1. Огляд та аналіз існуючих ваг для зважування автомобілів	12
1.1. Види автомобільних ваг	12
1.2. Конструкція та основні елементи автомобільних ваг	16
1.3. Принцип дії автомобільних ваг	21
1.4. Огляд аналогів	22
1.4.1. «Техноваги»	22
1.4.2. «Esit»	25
1.4.3. «Асвік Центр»	28
1.4.4. «Київський ваговий завод»	30
2. Проектування платформних автомобільних ваг	33
2.1. Вимоги до проектування автомобільних ваг	33
2.2. Розробка конструкції ваг для зважування автомобілів	33
2.3. Розрахунок головних балок автомобільних ваг	35
2.4. Розрахунок основних параметрів автомобільних ваг	41
2.5. Розробка конструкції тензодатчика	44
2.6. Розрахунок пружного елемента тензодатчика	46
2.7. Розрахунок статичної характеристики тензометричного перетворювача	50
2.8. Розрахунок динамічної характеристики тензометричного перетворювача	51
2.9. Розробка структурної схеми ваг	55
Висновок	58
Література	59
Додатки	60

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система поосного зважування автомобілів					
		<i>Швець Д.О.</i>						Літ.	Арк.	Акрушів
		<i>Назаренко</i>						8	61	
								ПБФ, ПМ-п01		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Деформація – зміна положення та переміщення атомів матеріалу, в результаті механічного напруження, що діє на них.

Закон Гука – твердження згідно якому деформація, що виникає в пружному елементі прямо пропорційна прикладеній до цього елементу силі. При цьому цей закон застосовується при малих деформаціях, при великих деформаціях вихідний сигнал буде нелінійним.

Тензометричний датчик – датчик, що перетворює величину деформації в електричний сигнал.

Тензорезистор – такий резистор, що в залежності від деформації, змінює свій електричний опір.

Пружний (чутливий) елемент тензодатчика – елемент, що може мати різну геометричну форму, на який прикладається сила і являється об'єктом деформації.

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ				

ВСТУП

Метою даного дипломного проекту є розробка автоматизованої системи поосного зважування автомобілів.

Вагове обладнання виконує невід'ємну роль у функціонуванні різних галузей промисловості і сільського господарства. Воно застосовується на складах, митницях та в різних транспортних вузлах для точного вимірювання маси різних вантажів.

На сьогоднішній день існує широкий спектр типів ваг, які застосовуються в залежності від їх призначення та завдань.

Автомобільні ваги використовуються для надзвичайно точного обліку маси, яку транспортують автомобільні транспортні засоби, і кількість таких перевезень швидко зростає щороку. Використання цих ваг дозволяє вирішувати безліч завдань у сфері державного контролю і нагляду, а також у промисловості, транспорті, торгівлі та сільському господарстві.

Використання автомобільних ваг допомагає забезпечити безпечність перевезення великих вантажів, враховувати масу транспортних засобів для розрахунку вартості перевезення та контролювати вагові обмеження на дорогах і мостах. Вони важливі для ефективного функціонування транспортної і логістичної інфраструктури.

На даний момент існує декілька основних типів автомобільних ваг.

Ваги для статичного зважування є надійними та точними, проте процес зважування потребує значних часових витрат. Автомобіль повинен заїхати на спеціальну платформу та повністю зупинитись, зачекати поки процес зважування завершиться, після чого він зможе покинути платформу. При великих вантажопотоках це може призвести до значних логістичних проблем.

З іншого боку є ваги для зважування в русі. Автотранспорт на невеликій швидкості, зазвичай від 5 до 10 км/год, проїжджає кожною віссю по спеціальній невеликій платформі. Результати зважування кожної вісі автомобіля підсумовують та отримують загальну масу. Такий спосіб значно

									Арк.
									10
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата	ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ				

прискорює процес зважування, проте точність вимірів стають на другий план. Адже можливий неправильний наїзд на платформу, занадто швидкий проїзд та загалом вібрації дають значну похибку при вимірюваннях таким способом.

В даному дипломному проекті пропонується об'єднати переваги вищеописаних підходів. При заїзді та з'їзді на звичайні платформні ваги статичного зважування, пропонується зчитувати масу кожної вісі автотранспорту без зупинки. Як результат, буде отримано графік, що схожий на сходинки. Цей графік дозволить точно визначити масу транспортного засобу в цілому, а також на кожній його вісі окремо з високою швидкістю.

Загалом, належна організація точного вагового контролю допомагає уникнути значних додаткових витрат у взаєминах з постачальниками або одержувачами продуктів, а також пов'язаних з питаннями безпеки та можливими аварійними ситуаціями.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		11

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАГ ДЛЯ ЗВАЖУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

1.1. Види автомобільних ваг

Автомобільні ваги для статичного зважування - це тип ваг, які використовуються для точного вимірювання ваги автомобілів у статичному стані, тобто коли транспортний засіб зупинений.

Існують різні види автомобільних ваг для статичного зважування, залежно від їхньої конструкції та застосування. Основні види включають [7]:

Автомобільні платформні ваги (див. рисунок 1.1) є широко поширеною і надійною опцією для вимірювання ваги автомобілів. Вони забезпечують можливість зважування транспортних засобів з масою до 100 тон та довжиною до 24 метрів.



Рисунок 1.1 – Автомобільні платформні ваги

Автомобільні платформні ваги є найточнішими та найнадійнішими серед усіх типів автомобільних ваг. Вони мають довгий термін експлуатації і зазвичай використовуються на підприємствах з великим обсягом вантажного руху. Ці ваги дозволяють зважувати транспортні засоби будь-якої конфігурації, починаючи від легкових автомобілів і закінчуючи великими вантажними причепами.

Зазвичай, автомобільні платформні ваги розташовуються на рівні дорожнього покриття, що сприяє зручному руху транспортних засобів будь-

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		12

якої конфігурації і не перешкоджає проїзду вантажівок, легкових автомобілів, іншої техніки та людей.

Їх переважно використовують при великих вантажопотоках. А тому, враховуючи підвищені характеристики міцності, платформа цього виду автомобільних ваг є цільною конструкцією - значить, в такому вантажоприймальному пристрої значно менше болтових з'єднань. А вузол стикування платформ сконструйований таким чином, що кріплення працює тільки на розтяг, а навантаження "на зріз" виключається.

Незважаючи на свою популярність та переваги, автомобільні платформні ваги також мають деякі недоліки:

- висока вартість. Платформні ваги є дорожчими у порівнянні з іншими типами автомобільних ваг. Їх придбання, встановлення та підтримка можуть вимагати значних фінансових витрат.

- потребують достатньої площі. Ці ваги вимагають відповідного місця для розміщення, оскільки вони мають спеціальну платформу. Це може бути проблемою на деяких територіях, де є обмежений простір.

- обмеженість вимірювання довжини. Хоча платформні ваги здатні зважувати великі автомобілі, їх можливості щодо вимірювання довжини можуть бути обмеженими. Це може становити проблему, якщо автомобіль не буде поміщатись в межах платформи.

- чутливість до нерівностей. Платформні ваги можуть бути чутливими до нерівностей на дорозі або неправильного розташування автомобіля на платформі. Це може призводити до неточних результатів зважування.

- потребують регулярного обслуговування. Платформні ваги потребують регулярного обслуговування та калібрування для забезпечення точності і надійності вимірювань. Це може вимагати додаткового часу та ресурсів.

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата	ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ				

Крім платформних ваг, існує ще один тип конструкції автомобільних ваг, а саме колійні автомобільні ваги (рисунок 1.2).

Основна відмінність колійних автомобільних ваг полягає в наявності колій, тобто рейок або напіврейок. Це дозволяє автомобілям рухатись вздовж колії під час зважування. Колійні ваги зазвичай використовуються на великих промислових підприємствах, складах, логістичних центрах та інших місцях, де потрібно швидко і точно зважувати великі автомобілі та їх вантажі.



Рисунок 1.2 – Автомобільні колійні ваги

Це рішення покликане усунути головний недолік платформних ваг, а саме, зменшити вагу, що відповідно призведе і до здешевлення виробу. Також, ваги такого типу є зручнішими при встановленні та обслуговуванні, але при цьому збільшується похибка вимірювань та зменшується діапазон вантажомісткості.

Платформи колійних ваг звичайно мають ширину від 0,8 до 1,0 м, довжину від 5,5 до 6,0 метрів і масу до 1,5 тони, що дозволяє здійснювати монтаж цих ваг без використання великовантажних кранів. Платформні ваги можуть мати захисні бар'єри, які запобігають ненавмисному виїзду автотранспорту з ваг. Колійні автомобільні ваги можуть бути сконструйовані

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		14

з можливістю доступу для очищення конструктивних засмічень без необхідності демонтажу вагової платформи.

Також, слід зазначити, що колійні ваги є популярним варіантом в умовах обмеженого простору, де немає достатньої площі для розміщення платформних ваг.

Зазначу, що колійні автомобільні ваги не є таким поширеним рішенням як платформні ваги, проте вони мають свої унікальні переваги в певних умовах експлуатації.

Автомобільні ваги для динамічного зважування - це спеціальні вагові системи, які вимірюють масу автомобіля, коли він знаходиться в русі (рисунок 1.3). Замість статичного зважування, коли автомобіль зупиняється на вазі, динамічні ваги використовуються для вимірювання ваги, кожної вісі автомобіля при його проїзді через зважувальну систему.

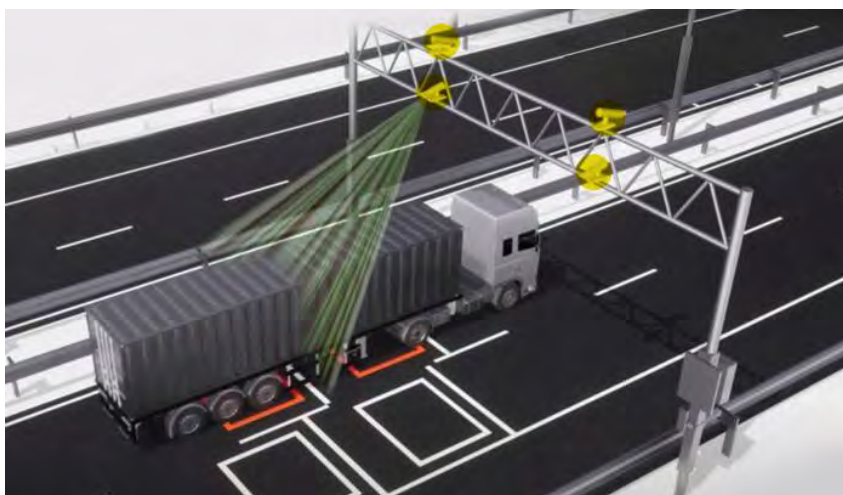


Рисунок 1.3 – Автомобільні ваги для поосного зважування

Такі вагові системи використовуються для швидкого та ефективного зважування автомобілів у русі, що дозволяє зберегти час і збільшити пропускну здатність на вагових пунктах. Вони зазвичай встановлюються на дорогах, мостах або в'їзних/виїзних шляхах та вимірюють масу автомобіля за допомогою датчиків, які реєструють вагу через динамічний тиск або деформацію.

Переваги використання автомобільних ваг для динамічного зважування включають швидкість зважування, зручність для водіїв, зниження заторів на вагових пунктах та можливість контролювати перевантаження автомобілів на дорозі.

Автомобільні ваги для зважування в динаміці можуть бути встановлені в рівень з горизонтом, для забезпечення більшої точності вимірювань та зручності експлуатації. Проте це вимагає більших витрат ресурсів в процесі монтажу обладнання та при його подальшому обслуговуванні.

При невисокому вантажопотоці доцільне використання підкладних ваг для поосного зважування. Зазвичай такі ваги складаються з двох платформ, чотирьох пандусів та стійки з терміналом (див. рисунок 1.4). Вони встановлюються на рівну та тверду поверхню, таку як асфальт, щебінь або дорожні плити.



Рисунок 1.4 – Підкладні автомобільні ваги для поосного зважування

Ширина кожної колії зазвичай не більше одного метра, а максимальна границя зважування не перевищує 80 тон. Вони ефективно використовуються для зважування легкових автомобілів, вантажних фургонів, мікроавтобусів та інших транспортних засобів.

1.2. Конструкція та основні елементи автомобільних ваг

Конструкція автомобільних ваг може бути різною, залежно від типу та призначення ваги. Однак, загальний принцип дії у всіх ваг для зважування

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		16

автомобілів однаковий. Датчики, які розміщені на платформі, вимірюють деформацію сталеві платформи, що виникає при навантаженні транспортного засобу. Ці датчики перетворюють деформацію в електричний сигнал, який потім аналізується інтерфейсною електронікою. Результатом є точне вимірювання ваги транспортного засобу та вантажу.

Вагова платформа тензометрична — це вантажоприймальна платформа ваг (рисунок 1.5). Конструктивно платформа розташовується на рамі або корпусі ваг. Під ваговою платформою знаходяться тензодатчики.



Рисунок 1.5 – Вагова платформа

Вагові платформи мають різні форми і розміри, від кола з діаметром 15 сантиметрів у лабораторних вагах, до двох поздовжніх платформ завдовжки по 18 метрів у автомобільних вагах. Ці платформи виготовляються з використанням різних технологій та матеріалів. Наприклад, у лабораторних та торгових вагах використовується харчова нержавіюча сталь, у товарних вагах — нержавіюча сталь, а платформні та палетні ваги зазвичай виготовляються з пофарбованої сталі. Щодо автомобільних ваг, вони можуть мати платформи зі сталі або сталеву раму з залізобетонними вставками.

При виборі ваг необхідно звертати увагу на розміри та матеріал платформи, її товщину, якщо це платформні, автомобільні або товарні ваги. Адже в такому випадку платформа бере на себе дуже велике навантаження. І вона не повинна деформуватися або проржавіти у місцях зварювання.

Вагова платформа для вантажних автомобілів (рисунок 1.6) складає значну частину вартості автомобільних ваг, оскільки її конструкція вимагає

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		17

міцного металу та опорних балок, а також захисного покриття з порошкової емалі, яке забезпечує стійкість до зношування.



Рисунок 1.6 – Вагова платформа для вантажних автомобілів

У якісних ваг навіть після роботи впродовж багатьох років платформа не змінює свій вигляд та функціональних характеристик.

Тензорезисторні ваговимірювальні датчики - це датчики, що використовують тензорезистори для вимірювання ваги або сили, що діє на них. Тензорезистори - це електронні компоненти, опір яких змінюється під впливом деформації або напруження.

Принцип дії електронних ваг заснований на перетворенні деформації пружних елементів тензорезисторних ваговимірювальних датчиків, що виникає під дією сили тяжіння вантажу, що зважується, в електричні сигнали, що змінюються пропорційно масі вантажу. Електричні сигнали від ваговимірювальних датчиків надходять в ваговимірювальний прилад. Ваговимірювальний прилад обробляє отриману інформацію і виводить на власний дисплей і (або) зовнішні електронні пристрої виміряне значення маси вантажу.

Для точного вимірювання ваги автомобіля використовується множина тензорезисторних датчиків, розташованих у різних точках платформи ваги. Це дозволяє розподілити вагу рівномірно і отримати точні дані про масу транспортного засобу.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

Для прикладу, наведено тензодатчики стрижневого типу ВМ14К (рисунок 1.7) і НМ14Н1 (рисунок 1.8), що можуть бути використані в автомобільних і залізничних вагах.



Рисунок 1.7 – Тензодатчик ВМ14К



Рисунок 1.8 – Тензодатчик НМ14Н1

Ваговий термінал — це електронний прилад для обробки та індикації результатів зважування (рисунок 1.9). Він перетворює електричний сигнал, що надходить з тензодатчиків, в аналого-цифровий.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ

Арк.

19



Рисунок 1.9 – Ваговий термінал

Ваговий термінал може мати різні функції, включаючи:

- відображення вагових значень. Термінал має дисплей, на якому відображається вагова інформація, така як маса предметів або вантажу.
- керування та налаштування. Термінал може мати кнопки або сенсорний екран для взаємодії з користувачем і здійснення налаштувань, наприклад, калібрування ваги або встановлення параметрів.
- зберігання та передача даних. Ваговий термінал може мати можливість зберігати дані про вимірювання ваги, такі як дату, час, ідентифікатор товару тощо. Вони також можуть бути здатні передавати ці дані до зовнішніх систем або комп'ютерів для обробки та аналізу.
- керування функціями вагової системи. Ваговий термінал може виконувати функції керування, такі як вимкнення або налаштування підключених вагових датчиків тощо.

Підсумовуючи все вище зазначене отримуємо, що основними елементами автомобільних ваг є:

- вагова платформа - це основна частина ваг, на якій стає транспортний засіб для зважування. Вагова платформа може мати різні розміри та конфігурації в залежності від типу транспортних засобів, які будуть зважуватися;

- датчики ваги - це пристрої, які вимірюють навантаження на ваговій платформі. Вони можуть бути розташовані під кожною платформою або у верхній частині конструкції ваг;
- електронний блок управління - це пристрій, який обробляє інформацію від датчиків ваги та відображає результати зважування на індикаторі;
- індикатор - це пристрій, який відображає масу зважування. Він може бути розташований на ваговій платформі або окремо від неї;
- кабелі та інше обладнання - це комплектуючі, які забезпечують зв'язок між ваговою платформою, датчиками ваги, електронним блоком та індикатором.

1.3. Принцип дії автомобільних ваг

Принцип дії автомобільних ваг базується на законі Гука, який стверджує, що деформація матеріалу пропорційна силі, що діє на нього. Прикладаючи цей закон до вагових систем, можна виміряти вагу транспортних засобів за допомогою датчиків, які реєструють деформацію, спричинену навантаженням.

Основні принципи дії автомобільних ваг наступні:

- розподіл навантаження. Коли автомобіль заїжджає на вагову платформу, навантаження розподіляється на датчики ваги, які знаходяться під платформою. Датчики ваги зазвичай працюють на основі тензометричного ефекту, тобто вони містять тензодатчики, які реєструють деформацію матеріалу при навантаженні;
- вимірювання деформації. Датчики ваги перетворюють деформацію матеріалу на електричний сигнал. Це відбувається за допомогою тензодатчиків, які змінюють свій електричний опір при деформації. Чим більше навантаження, тим більше деформація і, відповідно, зміна опору;

- зчитування сигналу. Електричний сигнал, що виникає від датчиків ваги, передається до електронного блоку управління. Цей блок обробляє сигнали від кожного датчика і обчислює загальну масу, враховуючи їх показники;
- відображення результатів. Результати зважування відображаються на індикаторі, який може бути розташований на ваговій платформі або окремо від неї;
- калібрування та калібрувальні параметри. Автомобільні ваги підлягають калібруванню, щоб забезпечити точність та надійність вимірювань. Калібрування включає налаштування коефіцієнтів чутливості датчиків ваги, компенсацію впливу температурних змін, компенсацію початкового зсуву та інші параметри, які можуть впливати на точність вимірювань;
- додаткові функції та можливості. Деякі автомобільні ваги для зважування можуть мати додаткові функції і можливості, такі як збереження даних зважувань, підключення до комп'ютерних систем для автоматизації обробки даних, підтримка бездротового зв'язку для передачі даних та інші функціональні можливості, що полегшують використання та обробку інформації.

1.4. Огляд аналогів

1.4.1. «Техноваги»

Науково-виробниче підприємство «Техноваги» - український розробник та виробник вагової та дозуючої техніки. За роки роботи підприємством було виготовлено та поставлено приблизно 1800 автомобільних ваг, 1000 вагонних ваг, 25000 промислових ваг та велику кількість фасувальних машин, пакувальних автоматів і технологічних ліній. ТзОВ НВП «Техноваги» є найбільшим підприємством в Україні з виробництва ваговимірювального обладнання згідно з даними сайту ligazakon.net.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		22

Автомобільні ваги ТВА-20D «Динамічні» з найбільшою границею зважування (НГЗ) 20 т (рисунок 1.10) призначені для зважування автомобілів в русі зі швидкістю від 3 до 10 км/год. Також НГЗ може бути 15, 30, 60 і 100 т. [4]



Рисунок 1.10 – Ваги ТВА-20D

Дані ваги забезпечують визначення маси автомашин на ходу при швидкостях від 3 до 10 кілометрів на годину. Ваги знімають осьове навантаження автомашини, підсумовують їх та передають загальну вагу на ваговий термінал.

Дані ваги встановлюються стаціонарно на митницях для контролювання перевантаження та руху транспорту через зону КПП. Для монтажу ваг потрібно підготувати фундамент, дренажні стоки для відведення вод та рівні горизонтальні під'їзні шляхи в напрямку прямування транспортних засобів. Під'їзні шляхи повинні бути ширше вагової платформи з кожного боку мінімум на 300 мм. Довжини шляхів під'їзду з обох сторін ваг повинно вистачати для повного одночасного розміщення всіх коліс автомобіля (рисунок 1.11). Вона повинна бути не менше 16 м до та після ваг.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		23



Рисунок 1.11 – Під’їзні шляхи та ваги

Ваги комплектуються сталевувантажною платформою, тензOMETричними датчиками «Flintec» (Німеччина) з класом захисту від пилу та вологи IP68/IP69k та функціональним ваговим терміналом TWP-37 з графічним 7-дюймовим кольоровим сенсорним дисплеєм та мембранною клавіатурою (рисунок 1.12) виробництва НВП «Техноваги».



Рисунок 1.12 – Ваговий термінал TWP-37

Далі наведено таблицю 1.1, в якій порівняно характеристики різних моделей автомобільних ваг серії ТВА ... D [3].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика ваг серії ТВА ... D

Тип ваг	Клас точності		Min, т	Max, т	d, кг
	для маси транспортного засобу	для одинарної осі та групи осей			
ТВА-15D	1	B, C, D	0,25	15	5
	2	C, D, E	0,2		20
ТВА-20D	1	B, C, D	0,5	20	10
	2	C, D, E	0,2		20
ТВА-30D	1	B, C, D	0,5	30	10
	2	C, D, E	0,5		50
ТВА-60D	1	B, C, D	1,0	60	20
	2	C, D, E	1,0		100
ТВА-100D	1	B, C, D	2,5	100	50
	2	C, D, E	1,0		100

Варто зауважити, що точність забезпечується при умові дотримання вимог щодо під'їзних шляхів, дотримання швидкісного режиму руху, а також справності підвіски автомобілів.

1.4.2. «Esit»

Вагова компанія ESIT була заснована у 1980 р. Компанія першою у Туреччині почала виробляти вагові термінали, засоби контролю та датчики навантаження.

Портативні осьові ваги ESIT AS – це мобільний і високопродуктивний промисловий ваговий пристрій, розроблений для вимірювання ваги на осях транспортних засобів, таких як автомобілі, фургони, вантажівки і т.д. (рисунок 1.13) Вони дозволяють виміряти вагу кожної окремої осі, щоб перевірити дотримання вагових обмежень і забезпечити безпеку на дорозі.



Рисунок 1.13 – Автомобільні ваги ESIT AS 30т осьові портативні.

Кожну вісь транспортного засобу зупиняють і зважують на платформі. Результати зважування можна переглянути на екрані та роздрукувати на квитку. У квитку вказано номерний знак транспортного засобу та індивідуальну вагу кожної осі.

Портативні осьові ваги ESIT AS складаються з двох вагових платформ (рисунок 1.14), напрямних (рисунок 1.15) і вагового терміналу, які спілкуються один з одним через бездротовий зв'язок. Платформа ваг виготовлена з легкого алюмінієвого матеріалу та захищена міцним, легким корпусом з ABS. Працює від батареї, яку можна перезаряджати. Бездротова система, яка використовується в цьому виробі, забезпечує не тільки зручну роботу, але й усуває проблеми, пов'язані з кабелями та з'єднаннями. [2]

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

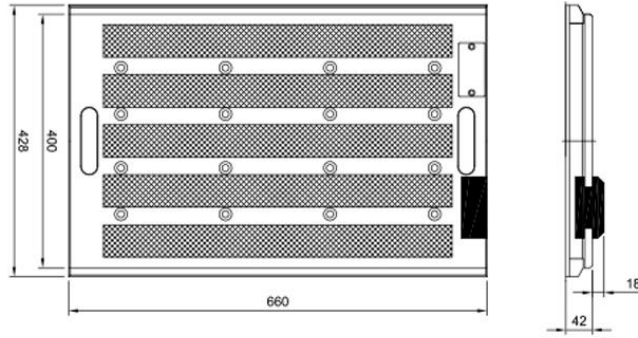


Рисунок 1.14 – Ваговимірювальна платформа

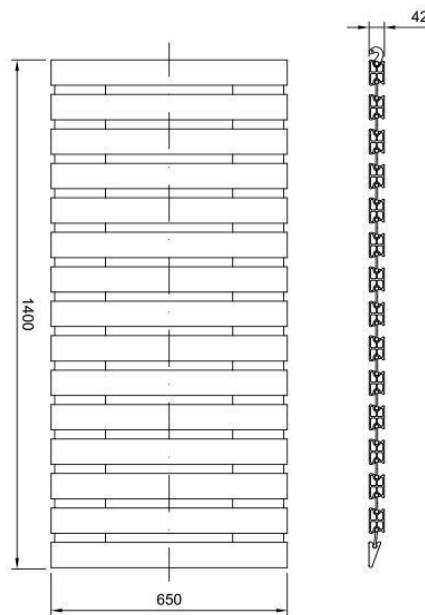


Рисунок 1.15 – Напрямна до платформи

В таблиці 1.2 наведено основні метеорологічні характеристики ваг ESIT AS 30т.

Таблиця 1.2 - Метрологічні характеристики

Характеристика	Значення
Вантажопідйомність	30 т
Секція	5 кг
Лінійність	15 кг
Повторюваність	5 кг
Час стабілізації	0,5 – 3 с

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

Вантажні платформи виконані з алюмінію, тому вага кожної платформи складає не більше 25 кг, а легкий корпус з ABS забезпечує вагам захист класу IP65. Платформа може живитись від акумулятора (12В 7.2 А). Це забезпечує до 8 годин безперебійної автономної роботи, заряджання триває 24 год.

Ваги комплектуються функціональним ваговим терміналом РWІ-А з графічним 128х64 LCD дисплеєм та клавіатурою, що є захищеною від пилу та вологи і має 21 клавішу з тактильним відгуком. Ступінь захисту IP 54. А тактильний відгук означає, що користувач буде відчувати м'який або відчутний відгук під час натискання клавіші, що може полегшити визначення натискання і допомогти уникнути помилкових дій. Також пристрій має можливість бездротового зв'язку на відстані до 20 метрів. [1]

1.4.3. «Асвік Центр»

Асвік Центр - це компанія, яка спеціалізується на розробці та виробництві вагових систем і обладнання для різних галузей промисловості і торгівлі. Компанія пропонує широкий спектр продукції, який включає вагові платформи, ваги для автомобілів, ваги для контролю ваги продуктів, електронні ваги та багато іншого. [9]

АВД-20Т є ваговим пристроєм, спеціально розробленим для зважування автомобілів у русі.

До складу ваг входять:

- вантажоприймальний пристрій, який складається з вантажоприймальної платформи та чотирьох тензорезисторних датчиків.;
- під'їзні шляхи попереду та позаду вантажоприймальної платформи;
- аналого-цифровий перетворювач;
- персональний комп'ютер з операційною системою Windows, монітор, джерело безперебійного живлення та друкувальний пристрій;
- програмне забезпечення TSA АВД-20Т (див. рисунок 1.16); [5]

									Арк.
									28
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата	ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ				

- сервер інтерактивної бази даних PostgreSQL для зберігання результатів зважування;
- блок керування роботою світлофорів (опція, встановлюється за бажанням замовника).

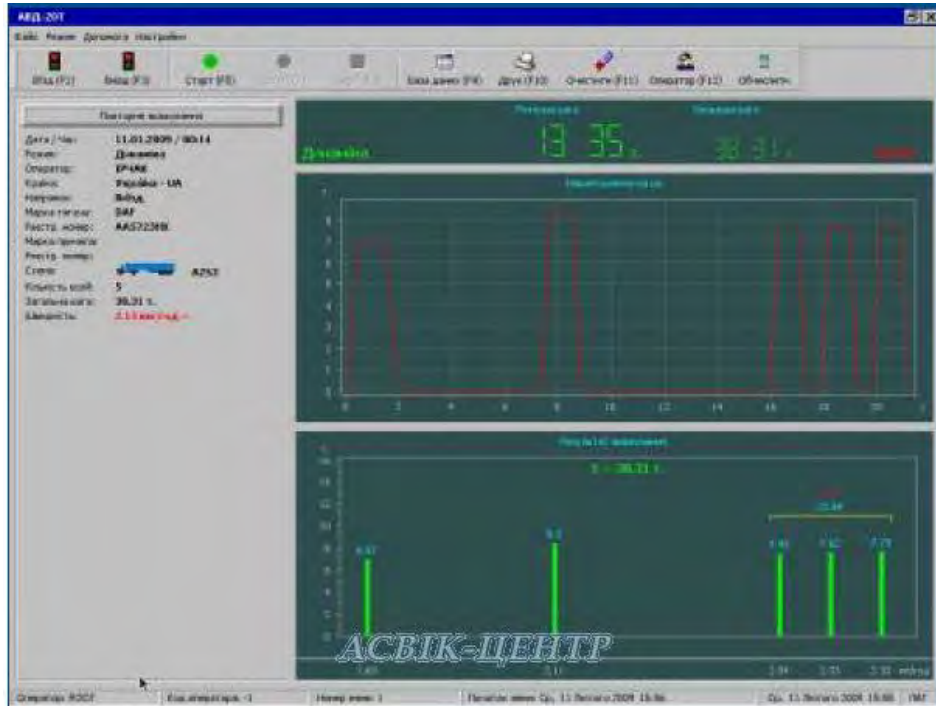


Рисунок 1.16 – Програмне забезпечення "Автомобільні ваги. Зважування в русі - Оператор АВД-20Т"

Технічні характеристики ваг:

- класи точності для:
 - 1) загальної маси транспортного засобу – 1...0,5;
 - 2) навантаження на одинарну вісь або навантаження на групу осей – В ;
- ціна поділки шкали $d = 0,02$ т ;
- ціна поділки шкали для нерухомого вантажу (статичний режим) – 0,02 т;
- максимальне навантаження $Max = 80,0$ т;
- мінімальне навантаження $Min = 0,4$ т;
- кількість поділок шкали менше або дорівнює 3000;

- електричне живлення: від мережі живлення змінного струму напругою від 187 В до 242 В, частотою 50 Гц.;
- робоча швидкість – від 2 до 5 км/год;
- максимальна кількість осей транспортного засобу $A_{max} = 20$;
- зовнішні електромагнітні впливи – в межах, встановлених в А.7.3 ДСТУ OIML R 134-1 окрім А.7.3.6.

АВД-20Т дозволяє зважувати автомобілі в русі без необхідності зупинки або затримки руху. Це особливо зручно для швидкого та безперебійного контролю вантажівок, наприклад, під час перетину державного кордону.

Крім того, можливість інтеграції з автоматизованими системами збору даних і контролю дозволяє автоматично записувати та аналізувати інформацію про зважені автомобілі. Це сприяє зручному управлінню та моніторингу перевезень, а також дотриманню вагових норм і стандартів.

Загалом, АВД-20Т є одним з сучасних рішень в області вагової техніки, яке допомагає забезпечити точне і ефективне зважування автомобілів у русі для різних промислових, транспортних та логістичних потреб.

1.4.4. «Київський ваговий завод»

ТОВ "Київський ваговий завод" (КВЗ) - це підприємство з виробництва та обслуговування вагового обладнання. Засноване в Києві, Україна, це підприємство має багаторічний досвід у галузі вагової техніки та надає широкий спектр послуг своїм клієнтам.

Київський ваговий завод спеціалізується на проектуванні, виробництві та монтажі різноманітних вагових систем і обладнання. Вони пропонують ваги для різних галузей, включаючи промислові, комерційні та лабораторні потреби.

Підприємство володіє сучасним виробничим обладнанням і використовує передові технології у виробництві своєї продукції. Вагове обладнання, що виготовляється Київським ваговим заводом, відповідає національним та міжнародним стандартам якості.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		30

Крім виробництва, підприємство надає такі послуги, як монтаж, налаштування, калібрування та сервісне обслуговування вагового обладнання. Вони мають кваліфікований персонал, який здійснює професійне обслуговування та ремонт ваг, а також консультує клієнтів з питань підбору та використання вагового обладнання.

В таблиці 1.3 описано основні характеристики автомобільних ваг, що пропонує КВЗ. [6]

Таблиця 1.3 – Основні характеристики ваг

Тип ваг	Колійні металеві (рисунок 1.17)	Колійні залізобетонні (рисунок 1.18)	Суцільні металеві (рисунок 1.19)
Пропускна здатність	до 100 авто на добу	до 250 авто на добу	до 400 авто на добу
Навантаження на вісь	12-15 т	до 17,5 т	понад 20 т
Максимальна межа зважування	100 т	100 т	120 т
Довжина	від 6 до 24 м	від 4 до 25 м	від 6 до 24 м
Ширина	3 м	3 - 3,5 м	3,5 м
Тип платформи	ортотропна на основі гнучого профілю	залізобетонна, каркасна на основі двотавру	суцільна, на базі двотаврової балки
Додаткові опції	кришки люки на дорожній просвіт	кришки люки на дорожній просвіт	T-подібна гума для захисту ваг
Конфігурація платформи	колійна	колійна	суцільна
Тип датчика	аналоговий/ цифровий	аналоговий/ цифровий	цифровий

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ

Арк.

31



Рисунок 1.17 – Колійні металеві ваги



Рисунок 1.18 – Колійні залізобетонні ваги



Рисунок 1.19– Суцільні металеві ваги

2. Проектування платформних автомобільних ваг

2.1. Вимоги до проектування автомобільних ваг

Серед великої кількості різних типів ваг для зважування автомобілів, під задачі даного дипломного проекту було вибрано суцільні металеві платформні ваги. Беручи до уваги досвід інших виробників та описані в підрозділі 1.4 аналоги, можна зробити висновок, що вони забезпечать достатньо високу точність та надійність при проведенні вимірювань.

Автомобільні стаціонарні ваги призначені для зважування автомобілів і автопоїздів, тобто автомобілів-тягачів з одним напівприцепом або декількома причепами.

Максимальне навантаження на ваги не повинно перевищувати 60 тон, навантаження на одну вісь повинно не перевищувати 33 т. Найменша границя зважування має складати 3 т. Платформа великого розміру, отже довжина повинна складати 18 м, ширина від 3 до 4 м.

Конструкція даних ваг передбачає розміщення платформи на трьох поздовжніх балках, що будуть лежати на декількох поперечних платформах. Під кожною поперечною платформою розміщено пара тензорезисторних датчиків.

Ваги можуть мати різні конфігурації в залежності від вимог замовника.

2.2. Розробка конструкції ваг для зважування автомобілів

Якщо потрібна більша надійність ваг – встановлювати треба на мінімально можливу кількість тензодатчиків. Звісно, встановлення може бути виконане на двох поперечних платформах та чотирьох тензодатчиках відповідно. Проте, такий варіант не є найкращим, через необхідність посилення платформи та датчиків, при цьому власна вага ваговимірювальної установки значно зростає, що означає неминуче підвищення ціни виготовлення.

									Арк.
									33
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата	ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ				

Більш того, саме твердження можна назвати застарілим та більше не актуальним. Адже раніше вважалось, що чим менше тензодатчиків тим надійніша система, тому що вони постійно виходили з ладу. Сучасний технологічний рівень дозволяє виготовляти достатньо надійні та високоякісні тензодатчики, що в свою чергу дозволяє використовувати їх у великих кількостях – до десяти для платформних автомобільних ваг. В даному проекті встановлення платформи відбуватиметься на чотири поперечні платформи та вісім тензодатчиків відповідно. Цей варіант є оптимальним враховуючи відношення затрачених матеріалів до якості вимірювань та надійності системи.

На рисунку 2.1 показано ескіз платформних ваг. В місці встановлення тензодатчика 4 до поперечної платформи 2 закріплюється тензодатчик, після чого в спеціальні прорізи поперечної платформи встановлюються поздовжні балки 3, після чого вся конструкція накривається платформою 1.

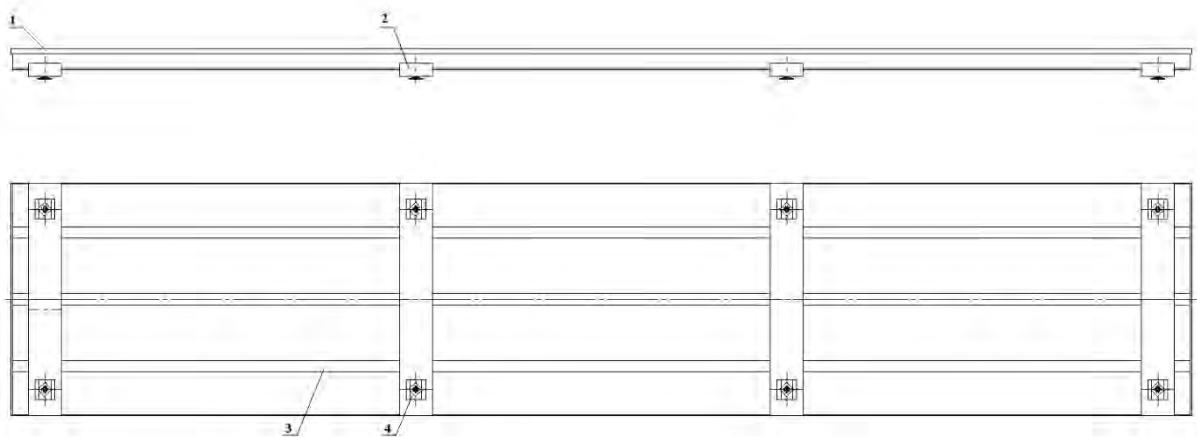


Рисунок 2.1 – Конструкція автомобільних ваг:

1– платформа, 2 – поперечна платформа, 3 – поздовжня балка, 4 – місце встановлення тензодатчика

Кожна поперечна платформа має два місця для встановлення тензорезисторних датчиків та три вирізи для встановлення поздовжніх балок. Це зображено на рисунку 2.2.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		34

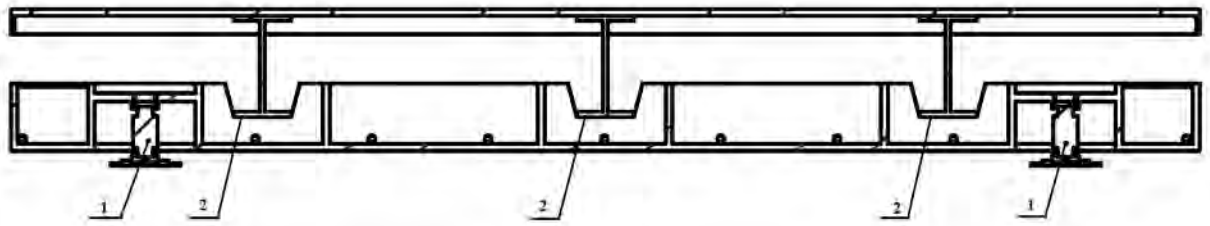


Рисунок 2.2 – Конструкція автомобільних ваг:

1 – встановлений тензодатчик, 2 – місце встановлення поздовжньої балки

Габаритні розміри кожної платформи складають 200x500x3545 мм. Габаритні розміри зібраних ваг складають 464x3546x18040 мм, а загальна вага приблизно 22 т. Ваги встановлюються в рівень з землею на бетонний фундамент.

2.3. Розрахунок головних балок автомобільних ваг

Головні балки стаціонарних ваг розраховують на міцність і жорсткість (відносний прогин) при рухомому динамічному навантаженні. [11]

Таким чином, автомобіль являє собою рухоме навантаження, що складається з двох вантажів $2P_1+2P_2$ (де P_1 – вага, що приходить на одне заднє колесо, що складається з двох скатів; P_2 – вага, що приходить на одне переднє колесо. При чому P_1 завжди більше за P_2), див. рис. 2.3.

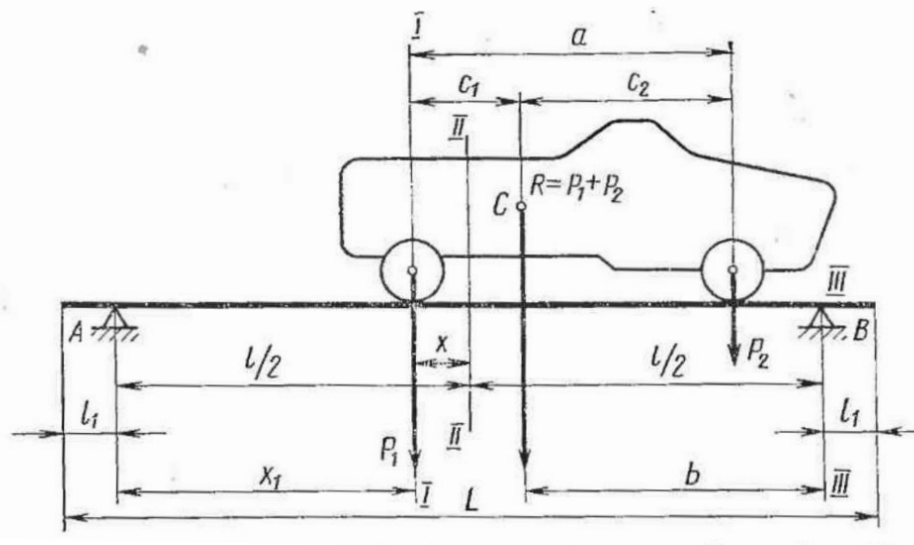


Рисунок 2.3 – Навантаження автомобільних ваг з довгою платформою

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

При виконанні розрахунків навантаження приймають зосередженим в точці, а сам розрахунок проводять для ділянки між двома найближчими поперечними платформами. При проїзді автомобіля через ваги з'являються динамічні навантаження, через це навантаження в розрахунках беруть з коефіцієнтом динамічності $k_d=1,1-1,2$.

При розрахунку головної балки автомобільних ваг керуються наступними міркуваннями (рис. 2.3).

При проїзді автомобіля через ваги найбільший згинаючий момент виникає в перерізі $I-I$ головної балки під заднім колесом автомобіля при такому положенні коліс, коли середина платформи ваг ділить навпіл відстані між великим вантажем P_1 (навантаженням, що передається від заднього колеса) і рівнодійною R сил P_1 та P_2 . $R=P_1+P_2$, тобто відстань x , взяте від середини прольоту до P_1 , дорівнює $0,5 c_1$ (половині відстані від задньої осі до центру мас автомобіля C).

Відстань c_1 знаходять із рівняння

$$c_1 = \frac{P_2 a}{R}; \quad c_2 = a - c_1,$$

де P_2 – навантаження, що передається від першого колеса;

c_2 – відстань від передньої осі до центру мас автомобіля;

$a=c_1+c_2$ – поздовжня база автомобіля.

Реакція

$$A = \frac{R}{l} \left(\frac{l}{2} + x - c_1 \right).$$

Момент в розрізі $I-I$ під заднім колесом

$$M_1 = A \left(\frac{l}{2} - x \right) = \frac{R}{l} \left(\frac{l}{2} + x - c_1 \right) \left(\frac{l}{2} - x \right). \quad (2.1)$$

Так як власна вага платформи Q досить значна, необхідно врахувати вплив згинаючого моменту під власною вагою платформи в розрізі $I-I$

$$M_2 = \frac{ql}{2} x_1 - \frac{qx_1^2}{2} - \frac{ql_1^2}{2}, \quad (2.2)$$

									Арк.
									36
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата	ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ				

де $q = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q}{L}$ – рівномірно розподілене навантаження, викликане вагою платформи;

$x_1 = \frac{l}{2} - x$ – відстань від опори A до розрізу $I-I$;

$\frac{l}{2}$ – відстань від опори A до середини прольоту (розрізу $II-II$);

l_1 – довжина консолі.

$$M_{max} = M_1 + M_2$$

Розрахувавши значення M_{max} , підбираємо балку з таким моментом опору W , щоб напруження, що виникає в небезпечному розрізі, не перевищувало 1200 кг/см^2 .

$$\sigma_b = \frac{M_{max}}{W} \leq 1200 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} (\sim 120 \text{ МПа}).$$

Необхідно також перевірити міцність розрізу $III-III$ при з'їзді автомобіля з ваг (рис. 2.4).

$$M'_{max} = M_3 + M_4,$$

де M_3 – згинаючий момент під дією навантаження;

M_4 – згинаючий момент під дією власної ваги консолі,

$$M'_{max} = P_1 l_1 + \frac{1}{2} q l_1^2. \quad (2.3)$$

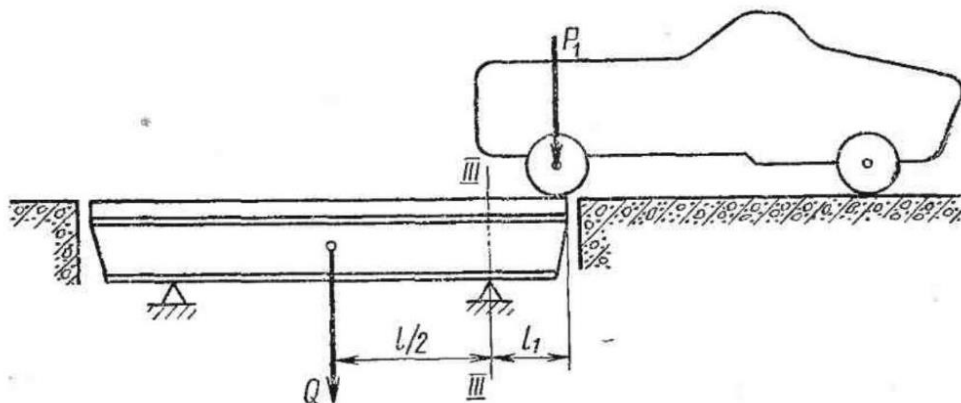


Рисунок 2.4 – Навантаження автомобільних ваг при з'їзді з платформи

При даному положенні автомобіля також перевіряють стійкість платформи, використовуючи рівняння

$$Q \frac{l}{2} \geq k_y 2P_1 l_1, \quad (2.4)$$

де k_y – коефіцієнт стійкості, рівний 1,25.

Жорсткість балки в розрізі I-I перевіряють наближено, за рівнянням

$$\frac{f_{max}}{l} = \frac{f_1 + f_2}{l} \leq \frac{1}{1000},$$

де f_1 – прогин балки під дією ваги автомобіля,

$$f_1 \approx \frac{R}{48El} (3l^2 - 4b^2); \quad (2.5)$$

f_2 – прогин балки під дією ваги платформи

$$f_2 = \frac{qx_1}{24El} [x_1^3 - 2lx_1^2 + 6l_1^2 x_1 + l(l^2 - 6l_1^2)]. \quad (2.6)$$

Якщо відношення $a : l \geq 0,586$, виходить найважчий випадок, при якому задня вісь знаходиться на середині платформи, а передня вісь – за межами ваг.

При цьому

$$M_{max} = \frac{P_1 l}{4} + \frac{q}{8} (l^2 - 4l_1^2); \quad (2.7)$$

$$f_{max} = \frac{P_1 l^3}{48EI} + \frac{ql^2}{384EI} (5l^2 - 24l_1^2). \quad (2.8)$$

Тепер можемо перейти до розрахунку головної балки. Припустимо, що зважуватимемо автомобіль марки МАЗ-525. Маса автомобілю 24 380 кг, максимальна вантажопідйомність 25 000 кг, отже загальна маса $R_c=49\ 620$ кг. На задню вісь припадає $P=32\ 800$ кг. Необхідні для розрахунку розміри вказані на рисунках 2.5 та 2.6.

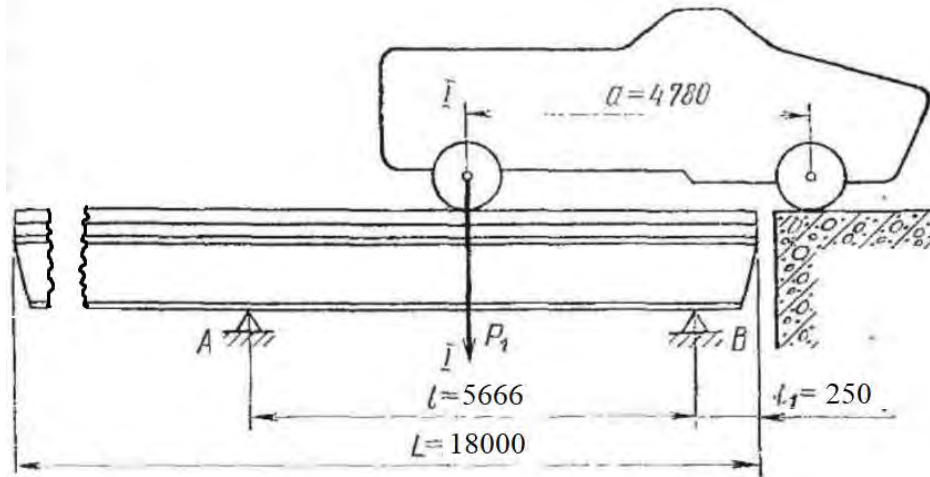


Рисунок 2.5 – Навантаження автомобільних ваг при з'їзді з платформи

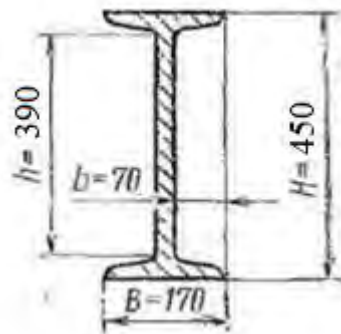


Рисунок 2.6 – Розріз головної балки

Виконуємо розрахунок.

1. Знаходимо небезпечний переріз, який слід розрахувати,

$$\frac{a}{l} = \frac{4780}{5666} = 0,844 > 0,586.$$

Отже, небезпечний розріз I-I буде знаходитись в середині прольоту $AB=l$.

2. Знаходимо розрахункове навантаження P_1 .

Вага, що припадає на одне заднє колесо, $\frac{P}{2} = 32\,800 : 2 = 16\,400$ кг,

отже

$$P_1 = k_d \frac{P}{2} = 1,2 \cdot 16\,400 \approx 20\,000 \text{ кг (200\,000 Н)}.$$

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

3. Визначаємо вагу платформи Q , що забезпечить їй стійкість використовуючи рівняння (2.4):

$$Q = k_y \frac{2P_1 l_1}{0.5l} = 1,25 \frac{2 \cdot 200\,000 \cdot 250}{0,5 \cdot 5\,666} = 4\,412 \text{ кг } (\sim 44\,120 \text{ Н}).$$

4. Звідси рівномірно розподілену вагу під дією ваги платформи, що приходиться на одну балку,

$$q = \frac{Q}{2L} = \frac{4\,412}{2 \cdot 1\,800} \approx 1,226 \frac{\text{кг}}{\text{см}} \left(\sim 1,226 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \right).$$

5. Знаючи P_1 та q , визначаємо максимальний згинаючий момент з рівняння (2.7)

$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{P_1 l}{4} + \frac{q}{8} (l^2 - 4l_1^2) = \frac{20\,000 \cdot 5\,666}{4} + \frac{1,226}{8} (5\,666^2 - 4 \cdot 250^2) = \\ &= 2\,882\,100 \text{ кг} \cdot \text{см} (\sim 288 \text{ кН} \cdot \text{м}) \end{aligned}$$

6. Для того, щоб напруга в небезпечному розрізі не перевищувала 1200 кг/см^2 (120 МПа), момент опору повинен бути менше

$$W \geq \frac{M_{max}}{\sigma} = \frac{2\,882\,100}{1200} \approx 2400 \text{ см}^3$$

7. З конструктивних міркувань обираємо балку типу двотавр (рис. 2.8).

Момент інерції даної балки

$$I_x = \frac{1}{12} (BH^3 - 2bh^3) = \frac{1}{12} (17 \cdot 45^3 - 2 \cdot 7 \cdot 39^3) = 59\,888 \text{ см}^4.$$

Момент опору даної балки

$$W = \frac{I_x}{0,5H} = \frac{59\,888}{22,5} = 2661 \text{ см}^3.$$

8. Знаходимо напруження на вигин

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} = \frac{2\,882\,100}{2661} = 1083 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} < 1200 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad (108,3 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа})$$

9. Визначаємо відносний прогин в перерізі $I-I$ з рівняння (2.8)

$$\begin{aligned} f_{max} &= \frac{20\,000 \cdot 566^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 59\,888} + \frac{1,226 \cdot 566^3}{384 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 59\,888} (5 \cdot 566^2 - 24 \cdot 25^2) \approx \\ &\approx 0,26 \text{ см}. \end{aligned}$$

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		40

Відносний прогин

$$\frac{f_{max}}{l} = \frac{0,26}{566} \approx 0,0005 < 0,001.$$

Отримуємо, що відносний прогин та напруга в найбільш навантаженому перерізі балки I-I не перевищує допустимих значень.

Отже, конструкція може витримувати навантаження до 200 кН не зазнаючи при цьому руйнування чи критичних деформацій.

2.4. Розрахунок основних параметрів автомобільних ваг

Використовуючи програмний засіб *Solidworks* проводимо моделювання та перевіряємо розрахунок балки, описаний в попередньому підрозділі.

На рисунку 2.7 зображено геометричні параметри балки.

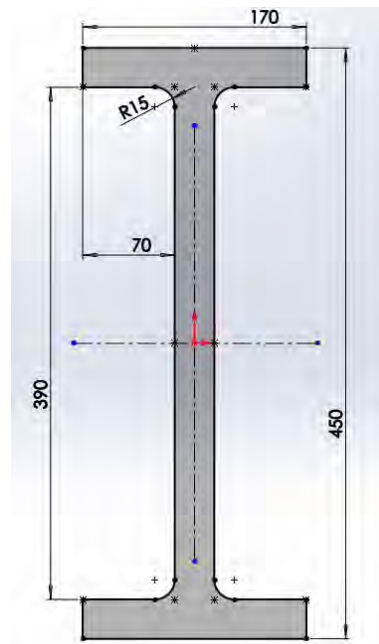


Рисунок 2.7 – Ескіз балки

Балка встановлюється на поперечні платформи, задається точкове навантаження 200 кН, по середині між двома платформами, та проводиться розрахунок (рис. 2.8).

Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата



Рисунок 2.8

На рисунку 2.9 зображено епюру переміщень. Як бачимо, розрахунки збігаються – відносний прогин в найнебезпечнішому перерізі *I-I* не перевищує 2,6 мм.

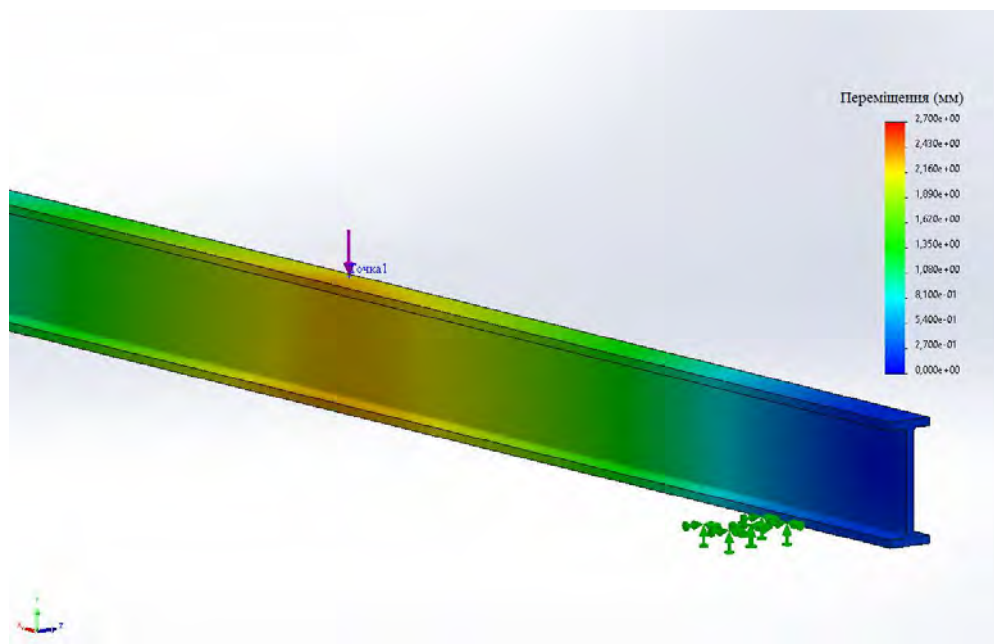


Рисунок 2.9

Тепер промодельюємо ваги в зборі. На чотири поперечні платформи встановлюємо три поздовжні балки та накриваємо все платформою (рис. 2.10).

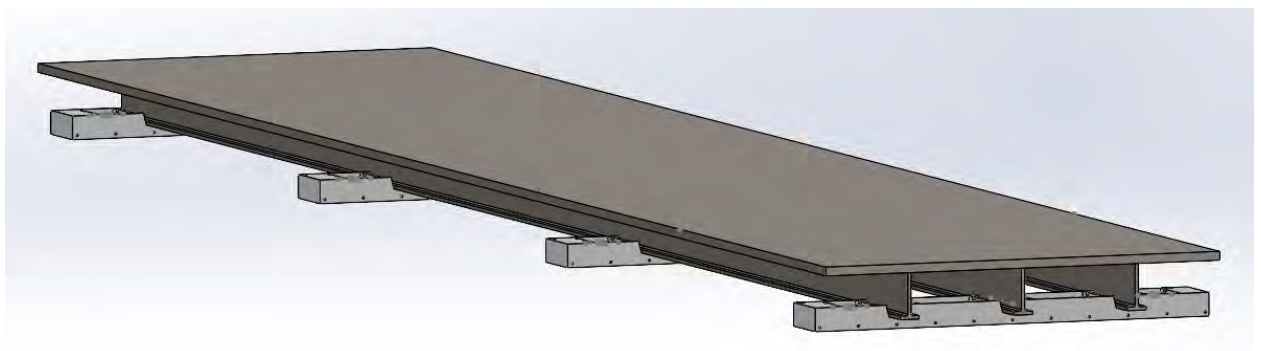


Рисунок 2.10

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		42

Задаємо точкові навантаження в потенційно небезпечному місці, імітуючи повноцінну автомобільну вісь. На рисунку 2.11 зображено епюру напружень. Отримані значення вказують на те, що границя міцності не досягнута, а отже критичних деформацій чи руйнування конструкції немає.

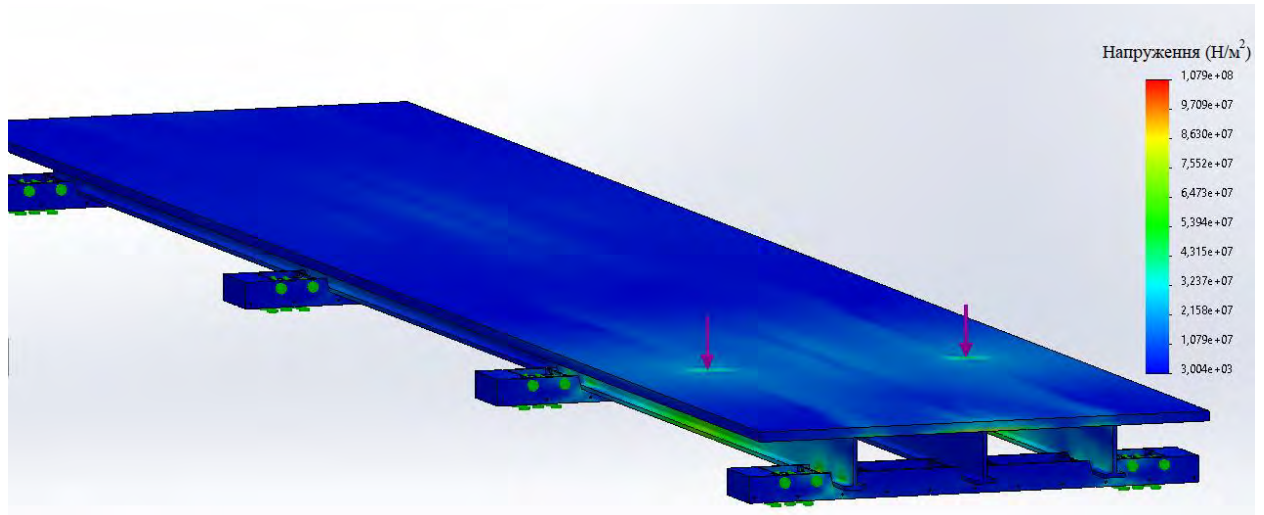


Рисунок 2.11

На рисунку 2.12 зображено епюру переміщень.

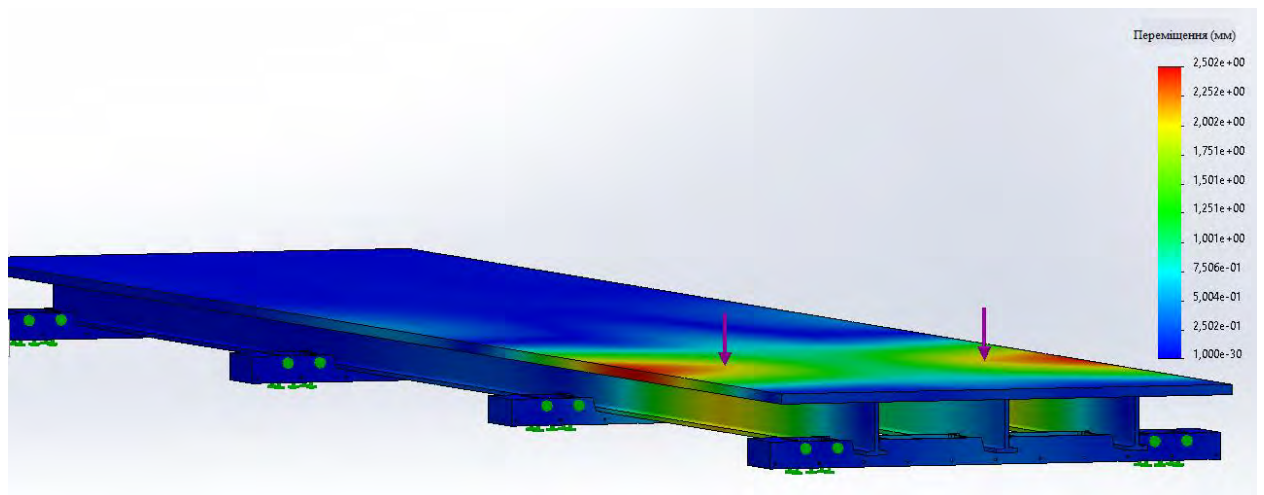


Рисунок 2.12

Бачимо що завдяки платформі розподілення навантаження стало більш рівномірним, а максимальне переміщення складає лише 2,502 мм на краях платформи, самі ж поздовжні балки не прогинаються більше ніж на 2,1 мм, що вказує на правильність розрахованої конструкції.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

Використовуючи можливості *Solidworks* обрахуємо загальну масу ваг. Отримуємо 22052871 г, отже спроектовані ваги важать приблизно 22 т.

2.5. Розробка конструкції тензодатчика

Виходячи з технічних умов до проектування ваг, було прийнято рішення використовувати тензорезисторні датчики стиснення колонного типу (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 – Тензодатчик стиснення колонного типу

Пружний елемент тензодатчика зазвичай виконують з прецизійних сплавів. З точки зору повзучості та гістерезису найкращими матеріалами для пружного елемента тензодатчика є дюралюміній Д16Т або сталі 36/44НХТЮ.

В даному проекті використання дюралюмінієвих сплавів не є доречним через високі навантаження.

Сплав 44НХТЮ міг би стати ідеальним варіантом, як і 36НХТЮ – нержавіюча з хорошими властивостями. Але ці сплави мають досить високу ціну через високий вміст нікелю в своєму складі, 36 та 44 % відповідно.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		44

Оптимальним вибором буде конструкційна легована сталь 35ХГСА або її альтернатива сталь 40Х. Обираємо сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Вона має непогані характеристики та не зробить виріб занадто дорогим, незважаючи на те, що датчиків передбачено вісім одиниць.

Корпус датчика виконують досить тонким, з нержавіючої сталі, для захисту від потрапляння вологи та бруду.

На рисунку 2.14 зображено ескіз чутливого елемента тензодатчика.

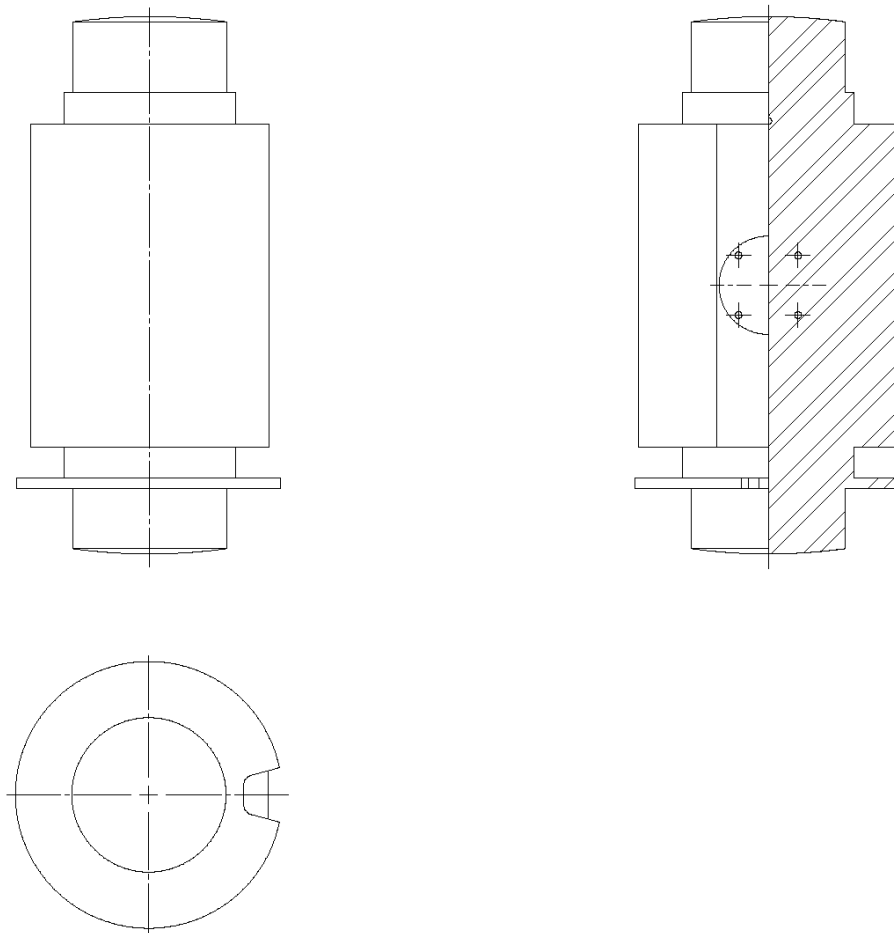


Рисунок 2.14 – Ескіз чутливого елемента тензодатчика стиснення колонного типу

Конструкцією передбачено можливість самостійного встановлення тензодатчика в робоче положення, обмежувач повороту чутливого елемента навколо своєї осі, виріз для наклеювання тензорезисторів та отвори під проводи.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		45

2.6. Розрахунок пружного елемента тензодатчика

Пружний елемент – головна частина тензодатчика. При його розрахунку визначають оптимальне значення площі поперечного перерізу пружного елемента. Проаналізуємо структурну схему тензодатчика, зображену на рисунку

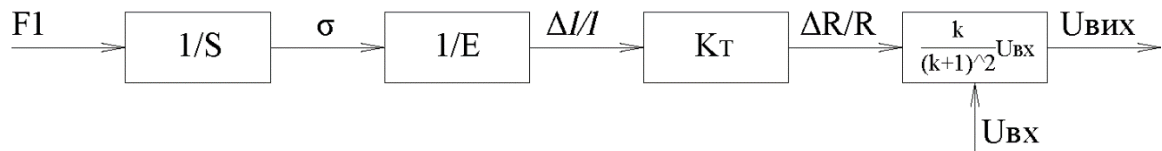


Рис. 2.15 – Структурна схема датчика сили

Вхідною величиною є сила F , яка перетворюється в механічну напругу σ за формулою:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (2.9)$$

де S – площа поперечного перерізу.

Після чого механічна напруга σ перетворюється на відносну деформацію за виразом:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} \quad (2.10)$$

де E – модуль Юнга.

Відносну деформацію буде сприймати тензорезистор і перетворить її в приріст опору ΔR тензорезистора до його початкового значення R за наступною формулою:

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R} \quad (2.11)$$

Після чого значення ε_R множать на коефіцієнт тензочутливості k_T .

Тензоефект різних матеріалів характеризується коефіцієнтом тензочутливості, який рівний:

$$k_T = 1 + 2\mu + c(1 - 2\mu)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона;

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		46

c – константа Бріджмена

Коефіцієнт Пуассона μ для різних металів має значення 0,24 — 0,4. Константа Бріджмена $c \approx 1$, тому коефіцієнт тензочутливості для металів, вживаних в тензорезисторах, близький до 2.

Найпоширенішою схемою підключення тензорезисторів є мостова схема (рис. 2.16). Але вона має досить значний недолік, при такому включенні тензорезисторів виникає нелінійність.

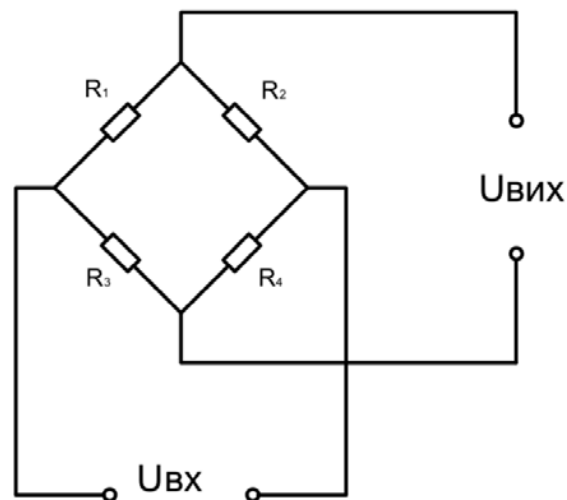


Рис. 2.16 – Мостова схема підключення

Максимальна вихідна напруга мостової схеми досягається при чотирьох активних тензорезисторах. Номінали тензорезисторів вибираємо однаковими в чотирьох плечах і рівними: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$. У цьому випадку, коефіцієнт симетрії моста максимальний і дорівнює:

$$k = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} = 1$$

При такому підключенні чутливість визначається за формулою

$$K = 2 \cdot (1 + \mu) = 2,6$$

Але якщо замінити пару тензорезисторів R_2 та R_3 чи R_1 та R_4 , на звичайні резистори, що не чутливі до деформацій, то в такому випадку нелінійність зникає, коефіцієнт Пуассона $\mu=0$, а чутливість дорівнює:

$$K = 2 \cdot (1 + 0) = 2.$$

Отримуємо, що вихідний сигнал $U_{\text{вих}}$ буде визначатись наступним співвідношенням:

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{жив}} \cdot \frac{k}{(k + 1)^2} k_T \cdot K \cdot \frac{F}{ES}, \quad (2.12)$$

де $U_{\text{жив}}$ – вхідна напруга;

Найбільша границя зважування ваг, що проектуються рівняється 60 т, при цьому вага, що припадає на одне колесо, згідно розрахунків підпункту 2.3, складає до 16 400 кг, враховуючи коефіцієнт динамічності отримуємо близько 20 т (200 000 Н).

Робочий коефіцієнт перетворення (РКП) визначається за формулою:

$$\text{РКП} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{жив}}} \quad (2.13)$$

Вихідні сигнали нормуються в мВ/В та становлять від 0,5 до 3,0 мВ/В. Обираємо робочий коефіцієнт перетворення рівний 1,0 мВ/В, як найбільш поширений. Отже, при напрузі живлення мостової схеми 10 В вихідний сигнал буде становити:

$$U_{\text{вих}} = \text{РКП} \cdot U_{\text{жив}} = 1 \text{ мВ/В} \cdot 10 \text{ В} = 10 \text{ мВ}.$$

Перетворюємо формули (2.12) та (2.13) для визначення площі поперечного перерізу пружного елемента тензорезисторного перетворювача:

$$S = \frac{k}{(k + 1)^2} k_T \cdot K \cdot \frac{F}{E \cdot \text{РКП}} \quad (2.14)$$

Знаючи значення модуля пружності та робочого коефіцієнта перетворення визначимо площу поперечного перерізу:

$$S = \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot 2 \cdot \frac{200\,000}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 955 \text{ мм}^2$$

Отже, визначена площа поперечного перерізу $S=955 \text{ мм}^2$ забезпечить бажану чутливість та клас точності С3.

Створюємо тримірну модель чутливого елемента тензодатчика засобами програмного забезпечення *Solidworks* (рис. 2.17) з врахуванням отриманих даних.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		48

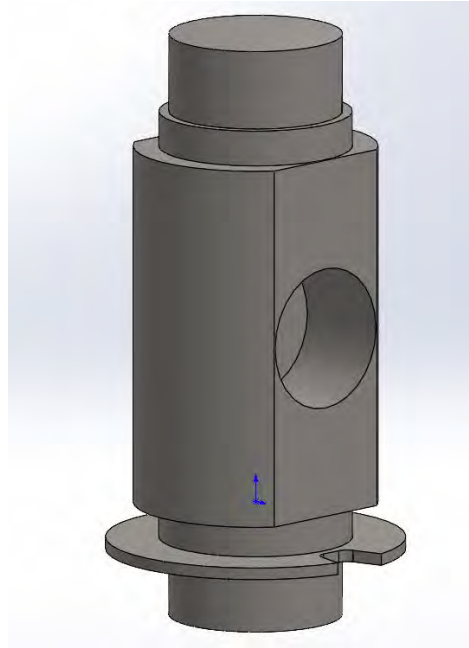


Рис. 2.17 – Чутливий елемент

Створюємо поперечний розріз чутливого елемента (рис. 2.18).

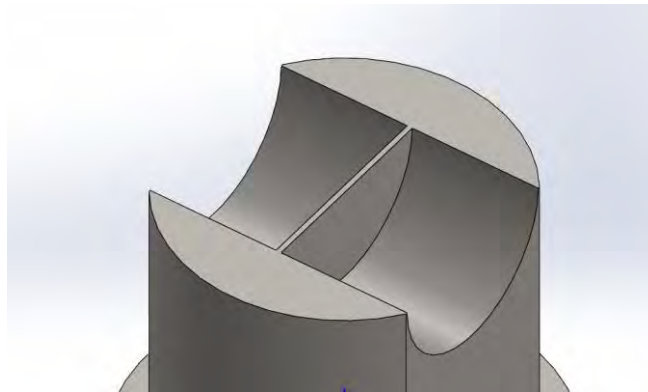


Рис. 2.18

Завдяки вбудованим можливостям *Solidworks* визначаємо площу поперечного перерізу $S=955 \text{ мм}^2$ та масу $m=2387 \text{ г}$ отриманої деталі.

Проводимо дослідження впливу сили $F=200\,000 \text{ Н}$ на чутливий елемент.

Деформація чутливого елемента (рис. 2.19, а) є перебільшеною для наочності та не відповідає реальній, межу текучості пройдено не було, а отже критичних деформацій чи руйнування деталі не має. Зміна висоти пружного елемента (рис. 2.19, б) дозволяє розрахувати жорсткість чутливого елемента.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

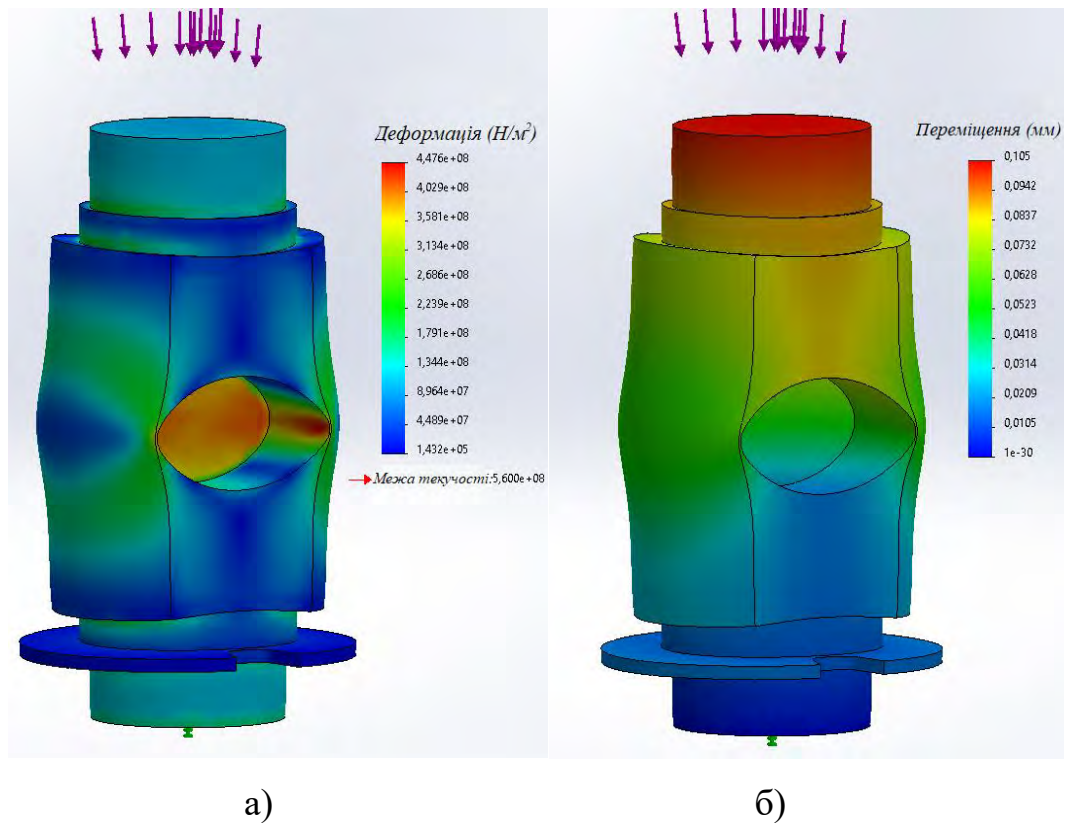


Рис. 2.19 – поперечний переріз чутливого елемента

Жорсткість конструкції визначається за формулою:

$$C = \frac{F}{\Delta x'}$$

де Δx - зміна висоти чутливого елемента.

Розраховуємо числове значення жорсткості:

$$C = \frac{200\,000\text{ Н}}{0,105\text{ мм}} = 1,905 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 1,905 \frac{\text{МН}}{\text{мм}}$$

2.7. Розрахунок статичної характеристики тензометричного перетворювача

Статична характеристика відноситься до властивостей системи, які визначають її поведінку без залучення часу. Вона описує залежність між вхідними і вихідними величинами системи в певний момент часу. Розрізняють лінійні та нелінійні характеристики, в залежності від їх властивостей.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ

Арк.

50

У випадку тензOMETричного перетворювача, статичну характеристику можна описати як залежність вихідного сигналу $U_{\text{вих}}$ від сили F , що на нього діє.

З рівняння (2.12) можемо виразити залежність

$$U_{\text{вих}}(F) = U_{\text{жив}} \cdot \frac{k}{(k+1)^2} k_T \cdot K \cdot \frac{F}{ES}$$

За отриманою залежністю будемо графік статичної характеристики (рис. 2.20).

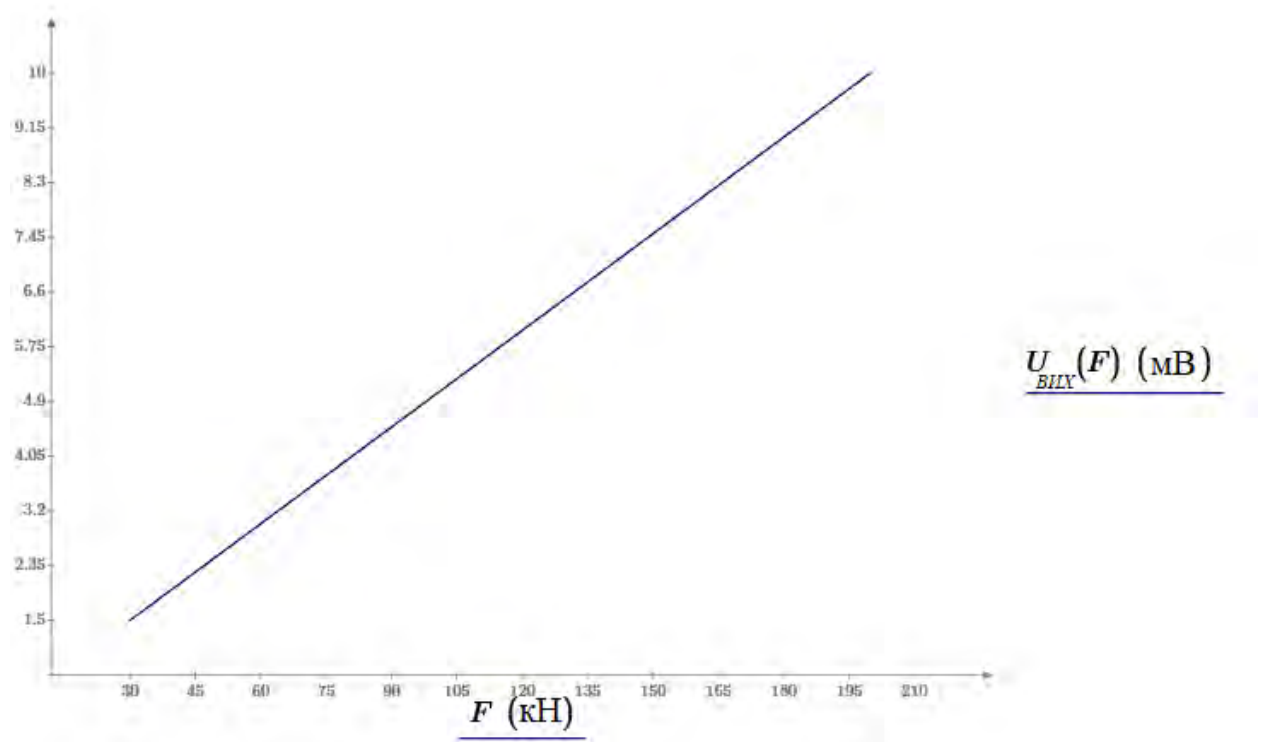


Рис. 2.20 – Статична характеристика тензOMETричного перетворювача

2.8. Розрахунок динамічної характеристики тензOMETричного перетворювача

Запишемо рівняння динаміки в наступному вигляді:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + cx = F(t),$$

де x – переміщення чутливого елемента;

m – маса чутливого елемента

b – коефіцієнт демпфування коливань;

c – жорсткість чутливого елемента;

F – навантаження.

Запишемо рівняння в операторному вигляді:

$$mp^2x(p) + bpx(p) + cx = F(p).$$

Звідки визначаємо передаточну функцію перетворювача:

$$W(p) = \frac{X(p)}{F(p)} = \frac{1}{mp^2 + bp + c}.$$

При $p = j\omega$ передаточну функцію можна записати у вигляді частотної передаточної функції:

$$W(j\omega) = \frac{1}{-m\omega^2 + jb\omega + c'}$$

де ω – частота вимушених коливань.

Тоді модуль передаточної функції

$$|W(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(c - m\omega^2)^2 + b^2\omega^2}}$$

Визначимо амплітудно частотну характеристику по формулі:

$$A(\omega) = \frac{|W(\omega)|}{|W(0)|} = \frac{1}{\frac{1}{c} \sqrt{(c - m\omega^2)^2 + b^2\omega^2}}$$

Виконуємо перетворення та записуємо амплітудно-частотну характеристику в остаточному вигляді:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{m\omega^2}{c}\right)^2 + \frac{b^2\omega^2}{c^2}}}$$

Враховуючи, що

$$\frac{c}{m} = \omega_0^2,$$

$$\frac{b}{m} = 2\xi\omega_0,$$

де ω_0 – власна частота коливань чутливого елемента;

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

ξ – коефіцієнт затухань коливань, що дорівнює 0,1.

Запишемо деякі рівняння АЧХ в наступному вигляді:

$$\frac{b^2 \omega^2}{c^2} = \frac{4\xi \omega_0^2 m^2 \omega^2}{c^2} = \frac{4\xi^2 \omega_0^2 \omega^2}{\omega_0^4} = \frac{4\xi^2 \omega^2}{\omega_0^2} = 4\xi^2 \gamma^2,$$

де γ – відношення частот.

Запишемо формулу для визначення АЧХ в спрощеному вигляді:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \gamma^2)^2 + 4\xi^2 \gamma^2}}.$$

Графік АЧХ зображено на рисунку 2.21

Визначимо частоту власних коливань за формулою:

$$\omega_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Звідки

$$\omega_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1,905 \cdot 10^9}{2,387}} = 4495 \text{ Гц.}$$

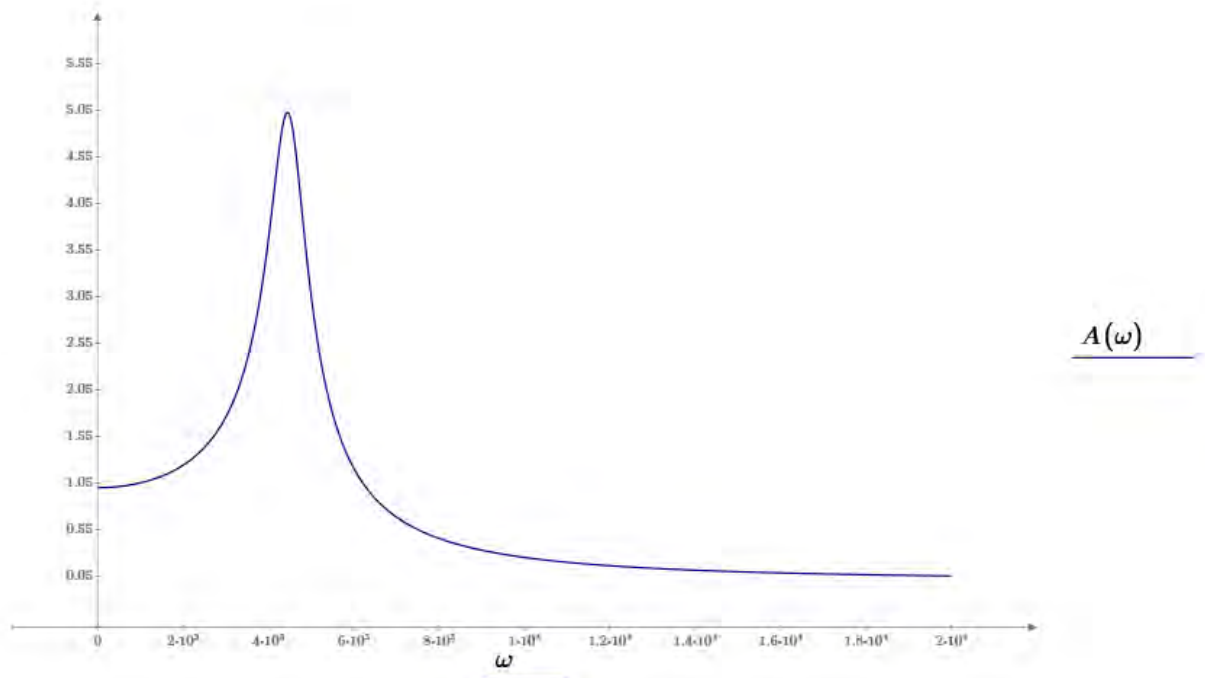


Рис. 2.21 – Амплітудно-частотна характеристика тензOMETричного перетворювача

Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

Фазочастотна характеристика визначається за формулою:

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{b\omega}{c - m\omega^2} = -\arctg \frac{2\xi\omega_0\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

Графік АЧХ зображено на рисунку 2.22

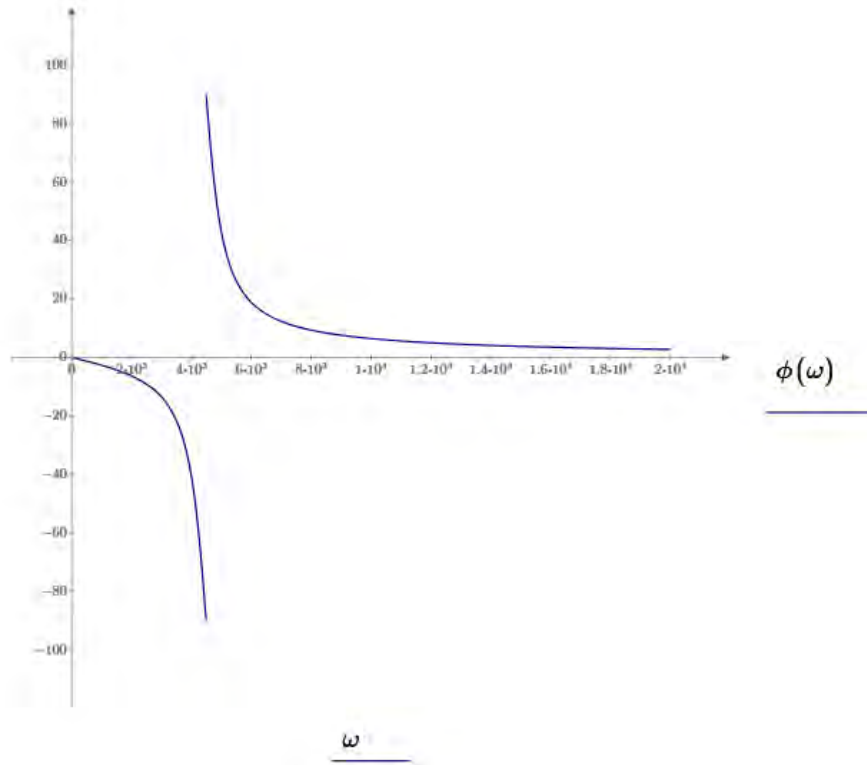


Рис. 2.22 – Фазочастотна характеристика тензOMETричного перетворювача

Перехідна характеристика визначається за формулою

$$h(t) = 1 - e^{-2\pi\omega_0\xi t} \frac{1}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cos\left(2\pi\omega_0\sqrt{1 - \xi^2}t + \arctg \frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}\right)$$

Перехідну характеристику зображено на рисунку 2.23

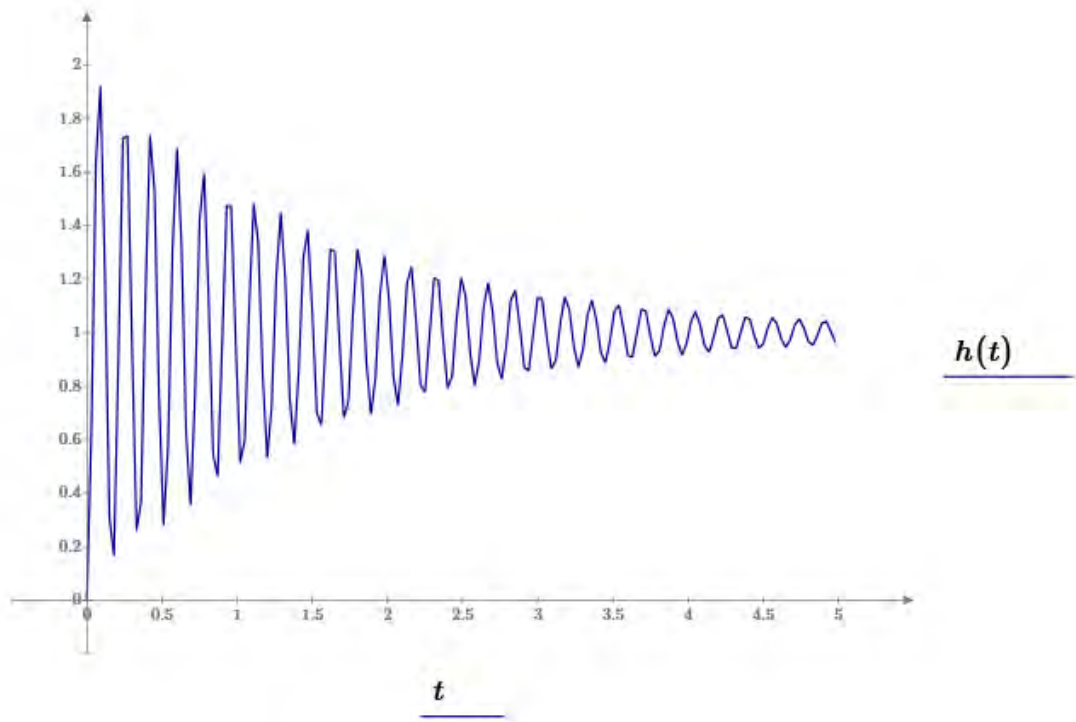


Рис. 2.23 – Перехідна характеристика тензометричного перетворювача

2.9. Розробка структурної схеми ваг

Ваги розміщуються на восьми тензодатчиках. Пружний елемент кожного тензодатчика сприймає силу $F_1 - F_8$ та після перетворень маємо відповідно вісім сигналів $U_{\text{вих}}$. Структурна схема окремого датчика детально описана в підпункті 2.6. Структурну схему ваг зображено на рисунку 2.24

На виході кожен датчик видає сигнал, який сприймає модуль вводу-виводу ICP 7060. До кожного модулю підключаються по два тензодатчика. Після чого ми отримуємо сигнал стандарту RS 485.

Для того щоб сигнал міг сприйняти комп'ютер сигнал RS 485 перетворюється модулем ICP 7520 до стандарту RS 232.

Коли сигнал дійде до комп'ютера, його можна буде обробити спеціалізованим програмним забезпеченням.

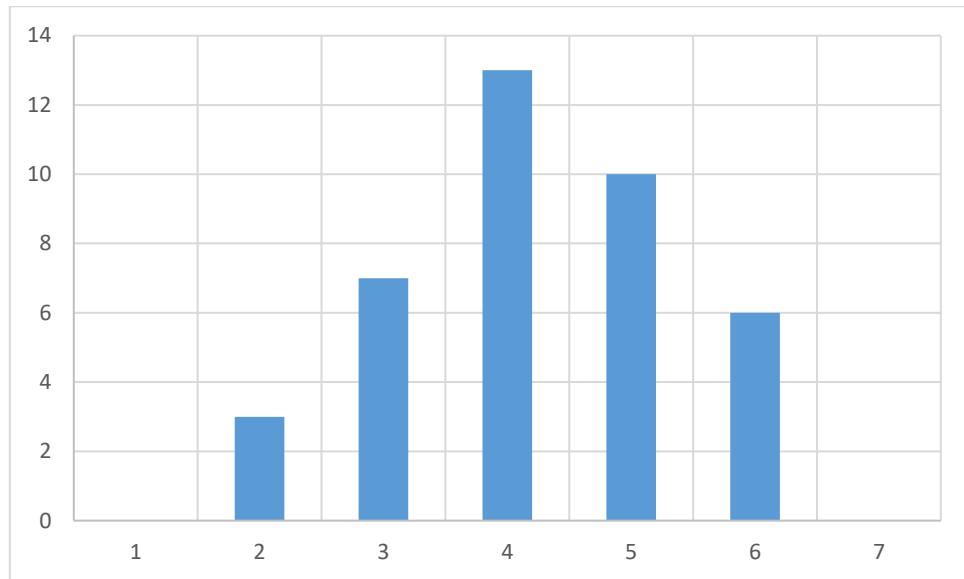


Рис. 2.25 – Діаграма навантажень

Згідно з наданою інформацією, можна спостерігати наступну послідовність подій на вагах:

1. В момент часу 1 ваги не навантажені.
2. В момент часу 2 ваги зафіксували наїзд першої вісі автомобіля та видали результат зважування - 3 т.
3. В момент часу 3 бачимо наїзд другої вісі автомобіля, що спричиняє зростання навантаження. Ваги видають значення навантаження $3 + 4 = 7$ т.
4. В момент часу 4 спостерігається пікове навантаження на ваги, що свідчить про те, що автомобіль перебуває на вагах усіма своїми осями.
5. В момент часу 5 ваги фіксують з'їзд першої вісі та падіння навантаження на вже відому масу першої осі (3 т).
6. Далі процес триває аналогічним чином до повного з'їзду транспорту з ваг.
7. Після чого ваги готові приймати наступний автомобіль.

Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата

ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ

Арк.

57

ВИСНОВОК

У дипломному проекті було проведено аналітичний огляд існуючих автомобільних ваг. Розроблено ряд конструкторських рішень для покращення платформних автомобільних ваг, що дозволять розширити їх потенціал та вимірювати навантаження, що припадає на кожен вісь автомобіля.

Під час виконання даної роботи були поліпшені показники чутливості та розширений діапазон вимірювань шляхом проведення розрахунків геометричних параметрів пружного елемента тензодатчика та оптимізації робочих та конструктивних характеристик. Розроблений пружний елемент лінійно деформується при навантаженні до 20 кН і при цьому деформація дорівнює 0,1%.

Розрахунки, проведені для балок, дозволяють визначити найменшу площу поперечного перерізу, при якій не втрачаються характеристики міцності. Це робить ваги більш економічними в процесі виготовлення.

З кожним роком кількість підприємств, заводів та приватних компаній, які потребують точного та якісного обліку товарів, постійно зростає. Кожен користувач прагне отримати максимум можливостей та переваг від придбаної продукції, тому попит на виготовлення надійних ваг залишається дуже високим.

Впровадження можливості автоматизованого поосного зважування на платформних вагах має кілька переваг. По-перше, це дозволяє зберегти достатню точність під час вимірювання маси вантажів на підприємствах. По-друге, ця система підвищує швидкість та ефективність процесу зважування. Нарешті, вона також допомагає контролювати можливі перевантаження на осях вантажного автомобіля. Всі ці фактори роблять впровадження автоматизованого поосного зважування важливим кроком для оптимізації роботи підприємств.

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		58

ЛІТЕРАТУРА

1. Автомобільні ваги AS Dynamic and Static Portable Axle Weighing Platform [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.esit.com.tr/en/truck_scales__weighbridges_/as_dynamic_and_static_portable_axle_weighing_platform/urun/279.
2. Автомобільні ваги ESIT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.avtoves.ua/ukr/about/partners/Esit/>.
3. Автомобільні ваги серії ТВА ... D [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://technowagy.com.ua/products/vesy-avtomobilnye-dinamicheskie/>.
4. Автомобільні ваги ТВА-20D «Динамічні» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.avtoves.ua/ukr/catalog/avtomobilnyye-vesy/product.html?id=4602>.
5. Автомобільні ваги АД-20Т [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://asvik.kiev.ua/ru/catalog/group/product/41>.
6. Автомобільні ваги ТОВ «Київський ваговий завод» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kvz.in.ua/>.
7. Антонов П.А. Ваги: типи та застосування. - Харків - М.: Точмашприбор, 1998. - 254 с.
8. Берестов. П.С. Ваговимірювальне обладнання в складській логістиці. Берестов. П.С. - М.: Справа, 2004. - 134 с.
9. Вагове обладнання. Загальні відомості [Електронний ресурс]. Асвік Центр. Режим доступу до ресурсу: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/4>.
10. Ваганів В.И., Интегральные тензоперетворювачі, М., Энергоатомиздат, 1983.
11. Вимірювання маси, об'єму та щільності / Гаузнер, Кивилис, Осокина, Павловский., 1972. – 623 с.

									Арк.
									59
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата	ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ				

ДОДАТКИ

Додаток А

Надається за запитом до авторів
Рис. 1 – Специфікація автомобільні ваги

Додаток Б

Надається за запитом до авторів
Рис. 2 – Тензодатчик специфікація

					ДПБ.ПМп01.05.1760.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		60