

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

**Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ 20__ р.
«__» _____

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Автоматизована система контролю якості і складання приладів
тензометричним методом»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) II курсу, групи ПБ-81мп

Бабич Юрій Олександрович _____

Керівник:

Кандидат технічних наук, доцент

Подолян О.О. _____

Консультант з «Розробка стартап-проекту»:

Доктор економічних наук, доцент,

Бояринова К.О. _____

Рецензент:

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

Київ – 2019 року

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

Приладобудівний факультет

Кафедра виробництва приладів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – **151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Бабич Юрій Олександрович

1. Тема дисертації «Автоматизована система контролю якості і складання приладів тензометричним методом», науковий керівник дисертації Подолян Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «04» листопада 2019 р. №3848-с
2. Термін подання студентом дисертації 10.12.2019 р.
3. Об'єкт дослідження: процес контролю якості і складання шляхом вимірювання натягів тензометричними методами.
4. Вихідні дані показники деформації, напруженості та сили затиску.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити Провести аналіз деформації деталі при затягуванні болта. Розробка математичної моделі. Експериментальна перевірка математичної моделі. Розробка структурної і функціональної схем системи. розрахунок і вибір складових, розробка робочої схеми.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Принцип роботи тензометричного методу, Класифікація тензометричних методів. Вхідні дані експерименту. Результати експерименту і їх аналіз. Структурна і функціональна схеми системи. Елементи системи.
7. Орієнтовний перелік публікацій: три патенти на корисну модель, одна стаття.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К.О., д.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 5.09.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Обґрунтування актуальності теми дослідження	10.09.2019	
2	Формування мети та задач дослідження	14.09.2019	
3	Визначення об'єкту і мети дослідження	17.09.2019	
4	Аналіз тензоперетворювача	24.09.2019	
5	Аналіз деформацій при затиску болта	30.09.2019	
6	Розробка математичної моделі	15.10.2019	
7	Експериментальна перевірка математичної моделі	25.10.2019	
8	Розробка структурної і функціональних схем	2.11.2019	
9	Розрахунок і вибір компонентів системи	10.11.2019	
10	Створення робочої схеми в CAD Proteus	20.11.2019	
11	Розробка стартап-проекту	05.12.2019	
12	Оформлення ілюстративного матеріалу пояснювальної записки	10.12.2019	

Студент

_____ Бабич Ю.О.

Науковий керівник дисертації

_____ Подолян О.О.

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 81 сторінок

Кількість ілюстрацій: 43.

Кількість таблиць: 33.

Кількість формул: 44.

Кількість джерел за переліком посилань: 30.

Актуальність теми

В умовах технологічного прогресу і автоматизації виробництв в приладобудуванні є потреба в розробці новітніх і ефективних методах контролю. Сучасні виробники надають перевагу здійснювати на свої заводах лише кінцеве складання приладів і машин, а більшість складових закупати сторонніх постачальників. Завдяки цьому виробництва можуть більше звертати увагу на інноваційні методи контролю, що дозволять підвищити якість і потенційно зменшити собівартість кінцевого продукту. В даних умовах розробка системи контролю якості і складання що може легко бути інтегрована в автоматизоване виробництво є актуальною задачею для сучасного приладобудування.

Мета дослідження: розробка та вдосконалення методу контролю якості і складання тензометричними методами в умовах автоматизованого виробництва.

Завдання дослідження:

- Виконати пошук та аналіз літературних джерел за тематикою дослідження;
- розробити математичну модель, за якою буде функціонувати автоматизована система контролю якості складання;
- провести розрахунок тензометричного датчика контролю.
- провести експеримент на основі розробленої математичної моделі;
- спроектувати систему контролю.

Об'єкт дослідження: процес контролю якості складання шляхом вимірювання натягів тензометричними методам.

Предмет дослідження: керування роботою автоматизованою системою складальних одиниць тензометричними датчиками.

Методи дослідження

В ході роботи використано чисельні методи моделювання, а саме методи інтерполяції і апроксимації табличних значень. Для проведення експерименту було використано САЕ систему, а для проектування САД.

Наукова новизна одержаних результатів

Встановлено залежність сили затиску болтового з'єднання з деформацією на відстані і внутрішніх напружень, з врахування матеріалів пакету деталей, їх геометричних і фізичних властивостей і від параметри в болтового з'єднання.

Практична цінність

Розроблено систему контролю якості і складання на основі дротяного тензоперетворювача, що інтегрується в автоматизоване виробництво.

Основні теоретичні і практичні дослідження можуть бути використані в навчальному процесі.

Апробація результатів дослідження

Результати дослідження обговорювались на XV Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», з теми «Аналіз залежності напруги на мосту тензоперетворювача на деталі і сили затиску болта».

Публікації

1. Заявка на корисну модель Україна. Магнітопружний датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах, МПК G01N27/80 / Тимчик Г.С., Подолян О.О., Бабич Ю.О. - №u201911498; заявл. 28.11.2019
2. Заявка на корисну модель Україна. Магнітний датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах, МПК G01N28/80. / Тимчик Г.С., Подолян О.О., Бабич Ю.О. - №u201911495; заявл. 28.11.2019

3. Заявка на корисну модель Україна. Датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах, МПК G01N27/80 / Тимчик Г.С., Подолян О.О., Бабич Ю.О. - №u201911497; заявл. 28.11.2019

Ключові слова: неруйнівний контроль, болт, тензоперетворювач, сила, деформація, міст Вітстоуна, деформація.

ABSTRACT

This dissertation include: 81 pages

Number of illustrations: 43

Number of tables: 33

Formulas: 44

Sources: 30

Relevance of research topic

In the conditions of technological progress and automation of productions in instrument making there is a need to develop new and effective methods of control. Modern manufacturers prefer to carry out at their factories only the final assembly of appliances and machines, and most of the components to buy third-party suppliers. Thanks to this production, they can pay more attention to innovative control methods that will improve the quality and potentially reduce the cost of the final product. In these circumstances, developing a quality control and assembly system that can easily be integrated into automated production is an urgent challenge for modern instrumentation.

Goal of the research: development and improvement of methods of quality control and assembly by strain gauge methods in conditions of automated production.

Objectives of the study:

- Search and analyze literature sources;
- to develop a mathematical model by which the automated system will function;
- calculate the strain gauge sensor.
- to conduct the experiment on the basis of the developed mathematical model;
- design a control system.

The object of study: the process of quality control and assembly by measuring strain with strain gauges.

Subject of study: control of the work of an automated system of assembly units with strain gauges.

Research methods

In the course of the work numerical modeling methods were used, namely the methods of interpolation and approximation of table values. The CAE system was used for the experiment and CAD was used for the design.

Scientific novelty of the obtained results

The dependence of the bolt clamping force on the distance and the internal stresses is determined, taking into account the materials of the package of parts, their geometrical and physical properties and the parameter in the bolted connection.

Practical value

The system of quality control and assembly on the basis of the wire strain gauge, which is integrated into the automated production, is developed.

Basic theoretical and practical experiences can be used for educational purposes.

Testing the results of the study

The results of the study were discussed at the XV Scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Efficiency of engineering solutions in instrumentation", on the topic "Analysis of voltage dependence on the bridge of the strain gauge on the details and the force of the clamp bolt".

Publications

Publications

1. Application for utility model Ukraine. Magnetoelastic sensor for determination of mechanical stresses in ferromagnetic materials / Tymchik G.S., Podolian O.O., Babych Y.O. - №u201911498; claimed 11/28/2019.

2. Application for utility model Ukraine. Magnetic sensor for determination of mechanical stresses in ferromagnetic materials / Tymchik G.S., Podolian O.O., Babych Y.O. - №u201911495; claimed 11/28/2019.

3. Application for utility model Ukraine. Sensor for determination of mechanical stresses in ferromagnetic materials / Tymchik G.S., Podolian O.O., Babych Y.O. - №u201911497; claimed 11/28/2019.

Keywords: non-destructive testing, bolt, strain gauge, force, deformation, Wheatstone bridge, deformation

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	12
Розділ 1: ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ	13
Висновки до Розділу 1	22
РОЗДІЛ 2: РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	23
2.1 Основні рівняння тензоперетворювача	23
2.1.1 Аналіз тензоперетворювача	23
2.1.2 Аналіз мосту Вітстоуна	24
2.1.3 Аналіз тензометричних розеток.....	28
2.1 Аналіз деформації деталі при затягуванні болта	29
2.3 Отримання формули залежності напруги на мостовій схемі.....	30
Висновки до розділу 2.....	31
РОЗДІЛ 3: РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ.....	33
3.1 Експериментальна перевірка математичної моделі.....	33
3.1.1 Експериментальне визначення коефіцієнту L	33
3.1.2 Розрахунок математичної моделі для болтового з'єднання М4	37
3.1.3 Проведення симуляції	39
3.1.4 Порівняння результатів розрахунків і симуляції.....	41
3.2 Розробка системи автоматичного контролю.....	43
3.2.1 Структурна системи автоматичного контролю.	43
3.2.2 Геометричні параметри тензодатчика.	44
3.2.3 Параметри мосту Вітстоуна.	45
3.2.4 Параметри підсилювача	45
3.2.5 Вибір аналого-цифрового перетворювача.....	46

3.2.6 Вибір мікропроцесора	47
3.2.7 Електрична схема в CAD PROTEUS	48
Висновки до розділу 3.....	48
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ: MANUFACTURING QUALITY INC.	50
4.1 Опис ідеї проекту	50
4.2 Технологічний аудит проекту	52
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	54
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	63
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	65
Висновки до розділу 4.....	70
ВИСНОВКИ	72
ЛІТЕРАТУРА	74

Додатки:

Додаток А. Наукові опубліковані праці за тематикою магістерської дисертації

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ТП – тензоперетворювач

ТР – тензорезистор

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

МК – мікропроцесор

ПД – початкові дані

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку науки та техніки дозволяє вирішувати складні задачі, які поставлені перед приладобудуванням, а саме: підвищення вимог до технічних параметрів та техніко-експлуатаційних характеристик продукції, висока економічність виробництва приладів і ефективність використання автоматизованого обладнання.

Задачею приладобудівної галузі є створення приладів і пристосувань для контролю і виготовлення різних деталей з високою точністю, якістю і зручністю у використанні.

Одним із методів контролю якості є тензометричний метод контролю якості складання. Тензометричні методи широко застосовуються в приладобудуванні для контролю поверхневих натягів, контролю ваги і зусиль.

Тензометричний метод вимірювання на даний момент є найбільш зручним і найчастіше використовуваним методом. Заснований на ефекті тензометрії. Суть даного методу полягає в тому, що при деформації електропровідних матеріалів (металів, напівпровідників) відбувається зміна їх питомої електричного опору і, як наслідок - зміна опору чутливого елемента (ТР) датчика (тензодатчика). Як провідниковий матеріал зазвичай використовуються металеві плівки, напилені на гнучку діелектричну підкладку. Останнім часом знаходять застосування напівпровідникові датчики.

Розділ 1: ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Резистивний тензодатчик представляє собою підставу із закріпленим на ньому чутливим елементом. Принцип вимірювання деформацій за допомогою тензометричного перетворювача полягає в тому, що при деформації змінюється активний опір ТР. Ефект зміни питомого опору металевого провідника під дією всебічного стиснення (гідростатичного тиску) був виявлений в 1856 році лордом Кельвіном і в 1881 році О.Д. Хвольсоном. [1]

Принцип дії ТР датчиків заснований на зміні опору матеріалу провідника при його деформації. [1]

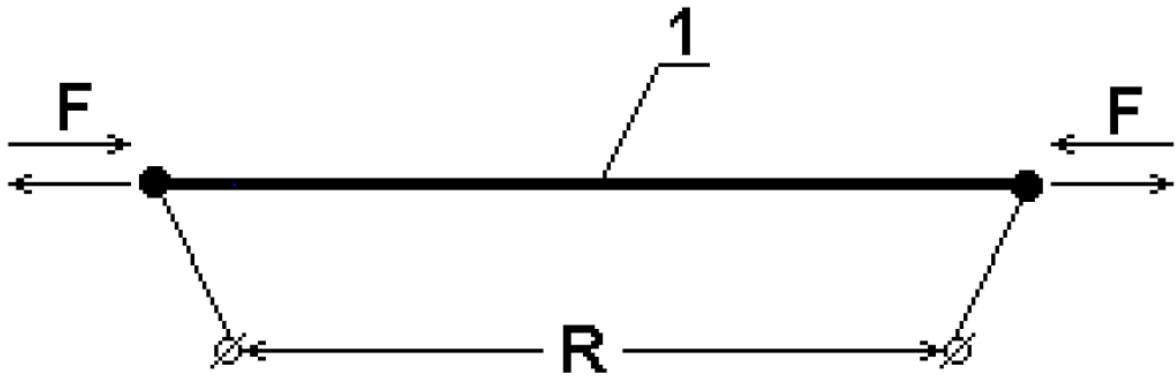


Рис 1.1 Тензодатчик

На рис.1 зображено принцип роботи тензодатчиків, де 1- провідник, R – опір, F- зусилля розтягу (затискання) провідника

Опір провідника при незмінній температурі розраховується по формулі[2]:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.1)$$

Де ρ - питомий опір матеріала, l - довжина провідника, S - площа поперечного перетину [2].

При малому розтягуванні або стисненні провідника його питомий опір залишається приблизно постійним. Приймаючи, що $\rho \approx \text{const}$, розглянемо вплив на R інших членів виразу. При розтягуванні довжина провідника зростає, площа

поперечного перетину зменшується і відповідно до вираження опір провідника зростає[2].

При стисненні провідника ефект буде зворотним: довжина l зменшується, площа поперечного перерізу S зростає і опір R знижується[2].

У разі значних деформацій провідників питомий електричний опір матеріалу цих провідників змінюється (зростає і при розтягуванні, і при стисканні), що необхідно враховувати.

У сучасному вигляді тензометричний вимірювальний перетворювач конструктивно являє собою ТР, чутливий елемент якого виконаний з тензочутливого матеріалу (дроту, фольги і ін.), Закріплений за допомогою сполучника (клею, цементу) на досліджуваній деталі (Рис 1.2). Для приєднання чутливого елемента в електричний ланцюг в ТР є вивідні провідники. Деякі конструкції ТР для зручності установки мають підкладку, розташовану між чутливим елементом і досліджуваної деталлю, а також захисний елемент, розташований поверх чутливого елемента [2].

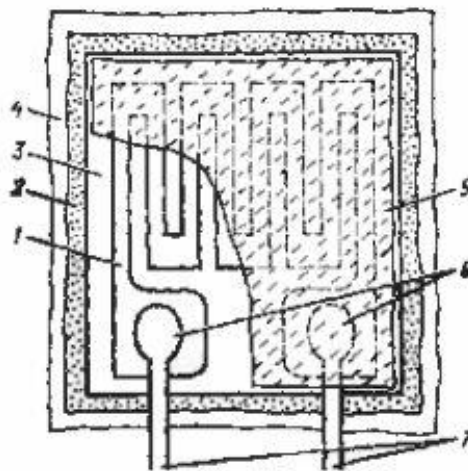


Рис. 1.2 Схема ТР: 1-чутливий елемент; 2-сполучник; 3-підкладка; 4-досліджувана деталь; 5- захисний елемент; 6- вузол пайки; 7- виводи

При всьому різноманітті завдань, що вирішуються за допомогою тензометричних вимірювальних перетворювачів, можна виділити дві основні області їх використання:

- дослідження фізичних властивостей матеріалів, деформацій і напружень в деталях і конструкціях;
- застосування тензодатчиків для вимірювання механічних величин, перетворених в деформацію пружного елемента [1].

Для першого випадку характерно дуже багато точок тензовимірювань, широкі діапазони зміни параметрів навколишнього середовища, а також неможливість градуювання вимірювальних каналів. В даному випадку похибка вимірювання складає 2-10% [1].

У другому випадку датчики градуюються по вимірюваній величині і похибки вимірювань лежать в діапазоні 0,5-0,05% [1].

Тензометричні вимірювальні перетворювачі. Найбільш яскравим прикладом використання тензометрів є ваги. Тензометричними датчиками оснащені ваги більшості російських і зарубіжних виробників ваг. Ваги на тензодатчиках застосовуються в різних галузях промисловості: кольорова і чорна металургія, хімічна, будівельна, харчова та інші галузі [3].

Принцип дії електронних ваг зводиться до вимірювання сили ваги, що впливає на тензодатчик, за допомогою перетворення виникаючих змін, наприклад деформації, в пропорційний вихідний електричний сигнал.

Широке поширення тензодатчиків пояснюється цілою низкою їх переваг:

- малі габарити і вага;
- малоінерційність, що дозволяє застосовувати тензодатчики як при статичних, так і при динамічних вимірюваннях;
- мають лінійну характеристику;
- дозволяють дистанційно і в багатьох точках проводити вимірювання;
- спосіб установки їх на досліджувану деталь не вимагає складних пристосувань і не створює поле деформацій досліджуваної деталі [3].

А їх недолік, що полягає в температурній чутливості, що можна в більшості випадків компенсувати.

В основі роботи ТП лежить явище тензоефекта, що полягає в зміні активного опору провідників при їх механічній деформації. Характеристикою

тензоефекта матеріалу є коефіцієнт відносної тензочутливості K , який визначається як відношення зміни опору до зміни довжини провідника [3]:

$$K = \frac{er}{el} \quad (1.2)$$

де er - відносна зміна опору провідника; el - відносна зміна довжини провідника. При деформації твердих тіл зміна їх довжини пов'язано зі зміною обсягу, крім того, змінюються і їх властивості, зокрема величина питомого опору. Тому значення коефіцієнта тензочутливості в загальному випадку має бути виражене як [3]:

$$K = (1 + 2\mu) + m \quad (1.3)$$

Тут величина $(1 + 2\mu)$ характеризує зміну опору, пов'язане зі зміною геометричних розмірів (довжини і перетину) провідника, m - зміна питомого опору матеріалу, пов'язане зі зміною його фізичних властивостей.

Якщо при виготовленні ТП використані напівпровідникові матеріали, то чутливість визначається в основному зміною властивостей матеріалу решітки при її деформації, і K m і може змінюватися для різних матеріалів від 40 до 200 [4].

Всі існуючі перетворювачі можна розділити на три основні типи:

- дротяні;
- фольгові;
- плівкові.

Дротові тензодатчик в техніці вимірювань неелектричних величин використовуються за двома напрямками.

Перший напрямок - використання тензоефекта провідника, що знаходиться в стані об'ємного стиснення, коли природної вхідний величиною перетворювача є тиск навколишнього його газу або рідини. В цьому випадку перетворювач являє собою котушку дроти (зазвичай манганінового), вміщену в область вимірюваного тиску (рідини або газу). Вихідний величиною перетворювача є зміна його активного опору. [5]

Другий напрямок - використання тензоефекта розтягування дроту з тензочутливого матеріалу. При цьому ТП застосовуються у вигляді "вільних" перетворювачів і наклеюються.

"Вільні" ТП виконуються у вигляді одного або ряду дротів, закріплених на кінцях між рухомою і нерухомою деталями, і, як правило, виконують одночасно роль пружного елемента. Природною вхідною величиною таких перетворювачів є досить мале переміщення рухомий деталі.

На смужку тонкого паперу або лакову плівку наклеюється укладена зигзагоподібний тонкий дріт діаметром 0,02-0,05 мм. До кінців дроту приєднуються вивідні мідні провідники. Зверху перетворювач покривається шаром лаку, а іноді заклеюється папером або фетром [6].

Датчик зазвичай встановлюється так, щоб його найбільш довга сторона була орієнтована в напрямку вимірюваної сили. Такий перетворювач, будучи приклеєним до випробуваної деталі, сприймає деформації її поверхневого шару. Таким чином, природною вхідною величиною наклеюється перетворювача є деформація поверхневого шару деталі, на яку він наклеєний, а вихідний- зміна опору перетворювача, пропорційне цієї деформації. Зазвичай датчики які наклеюються використовуються багато частіше, чим ті що неклеюються.

Вимірювальної базою перетворювача є довжина деталі, яку займає дрітом. Найбільш часто використовуються перетворювачі з базами 5 - 20 мм, що володіють опором 30 - 500 Ом [6].

Крім найбільш поширених виткових конструкції дротяних тензодатчиків, існують і інші. При необхідності зменшення вимірювальної бази перетворювача (до 3 - 1 мм) його виготовляють витковим способом, який полягає в тому, що на оправці круглого перетину на трубку з тонкого паперу намотується спіраль з тензочутливості дроту. Потім ця трубка проклеюється, знімається з оправлення, розплющується і до кінців дроту прикріплюються висновки.

Коли треба отримати від ланцюга з ТП струм великої величини, часто використовують "потужні" дровові ТП. Вони складаються з великого числа

(до 30 - 50) паралельно з'єднаних дротів, відрізняються великими габаритами (довжина бази 150 - 200 мм) і дають можливість значно збільшити пропускання через перетворювач струм [6].

Дротові датчики мають малу поверхню зв'язку зі зразком (підставою), що зменшує струми витоку при високих температурах і дає більшу напругу ізоляції між чутливим елементом і зразком.

Фольгові тензодатчики є найбільш популярною версією наклеюються тензодатчиків. Фольгові перетворювачі являють собою стрічку з фольги товщиною 4 -12 мкм, на якій частина металу обрана травленням таким чином, що залишилася його частина утворює показану на малюнку 4 ґрати з висновками [7].

При виготовленні таких ґрат можна передбачити будь-який малюнок решітки, що є істотною перевагою фольгових ТП [7].

Серйозною перевагою перетворювачів з фольги є можливість збільшувати перетин решт перетворювача; приварювання (або припаювання) висновків можна в цьому випадку здійснити значно надійніше, ніж в перетворювачах з дроту.

В останні роки з'явився ще один спосіб масового виготовлення клейких ТР, що полягає у вакуумній сублімації тензочутливого матеріалу і подальшої конденсації його на підкладку, напилювана безпосередньо на деталь. Такі ТП отримали назву плівкових. Мала товщина таких ТП (15-30 мкм) дає суттєву перевагу при вимірах деформацій в динамічному режимі в області високих температур, де вимірювання деформації є спеціалізованою областю досліджень [8].

Цілий ряд плівкових ТП на основі вісмуту, титану, кремнію або германію виконується у вигляді однієї провідної смужки. Такі перетворювачі не мають недолік, що полягає в зменшенні відносної чутливості перетворювача в порівнянні з чутливістю матеріалу, з якого виконаний перетворювач [7].

Тензометричний коефіцієнт перетворювача, виконаного на основі металевої плівки, дорівнює 2-4, а його опір коливається в діапазоні від 100 до

1000 Ом. Перетворювачі, виконані на основі напівпровідникової плівки, мають коефіцієнт порядку 50-200, і тому вони більш чутливі до прикладається напруга. При цьому немає необхідності використовувати підсилювальні схеми, оскільки вихідна напруга напівпровідникового тензометричного моста становить приблизно 1 В [8] .

Для дротяних тензодатчиків, наведених на і для фольгових тензодатчиків, наведених на рис. відносні зміни опору не перевищують 1%, що може виявитися порівняно з температурними змінами опору цих датчиків. Звідси вимоги до матеріалу тензодатчиків - мати малий температурний коефіцієнт і великий коефіцієнт тензочутливості. Крім того, матеріали тензодатчиків повинні мати велике питомий опір (для зменшення габариту датчика при заданому його опорі) і велику механічну міцність. Основні характеристики матеріалів для тензодатчиків наведені в табл. 1.1. Слід зазначити, що наведені характеристики в значній мірі залежать від складу, технології виготовлення і подальшої обробки матеріалу [8] .

Таблиця 1.1. Характеристики матеріалів, які використовуються для тензодатчиків

Матеріал	Коефіцієнта тензочутливості K	Питомий опір при 20°C, ρ мкОм·м	Температурний коефіцієнт
Константан	1,9÷2,2	0,47÷0,51	-0,04÷+0,02
Манганін	0,47÷0,50	0,4÷2,0	-0,03÷+0,04
Ніхром	2,1÷2,3	1,0÷1,2	0,15÷0,17
Платина	2,8÷3,6	0,09÷1,11	2,57÷3,98
Іезопластик	4,1÷6,1	-	0,47
Залізохромоалюмінієвий сплав	2,8÷2,9	1,35÷1,55	0,02

Принципово нові можливості в розвитку ТР апаратури для дослідження механізмів, відкрилися в зв'язку з розробкою і вивченням гетероепітаксійних напівпровідникових структур типу «кремній на сапфірі» і застосуванням їх в датчиках зусиль або переміщення. Поширена отримання напівпровідникових матеріалів у вигляді монокристалічних плівок на різного роду монокристалічних підкладках. Такі плівки називають епітаксійних, а процес їх отримання- епітаксіальним нарощуванням. Якщо епітаксіальна плівка нарощується на підкладку того ж речовини, то одержувані структури називають гомоепітаксіальними. Якщо підкладка з іншого матеріалу, то гетероепітаксійних. Одношарові пластини кремнію р- і n-типів отримують різкій зливків монокристалічного кремнію діаметром 50 ... 150 мм на пластини товщиною 0,25 ... 0,4 мм. Промисловістю випускаються злитки монокристалічного кремнію, які в залежності від типу електропровідності і значення питомої опору поділяються на п'ять груп. Підготовка пластин, одержуваних з злитків монокристалічного кремнію, є одним з найважливіших етапів виробництва і включає в себе наступні операції: орієнтацію зливків по кристалографічним осям, різання злитків на пластини, шліфування, полірування, травлення і очищення поверхонь від забруднень різних типів, придбаних на попередніх етапах обробки[7].

Обов'язковою умовою отримання бездефектних напівпровідникових і плівок структур є відсутність на поверхні пластин і підкладок порушеного шару і будь-яких забруднень. Як відомо, порушений приповерхневих шар напівпровідникових пластин є наслідком їх механічної обробки. Використовувані при підготовці пластин методи шліфування, полірування і травлення дозволяють видалити порушений шар[3].

На тонкій монокристалічній плівці кремнію, вирощеної на монокристалічній сапфіровою підкладці з певною кристалографічною орієнтацією, розташована тензочутливості і схема, в якій ТР мають вигляд мезаструктур, відокремлених один від одного проміжками чистого сапфіра. Товщина кремнієвої плівки варіюється від часток мікрометра до 1 ... 2

мікрометрів. Датчики на структурі КНС працюють на нано-міліметровому принципі, що дозволяє давати високий вихідний потенціал при малих силових збурень. ТП на основі структури КНС володіють всіма достоїнствами дротяних перетворювачів[3].

Метрологічні характеристики ТР датчика визначаються головним чином параметрами його основної частини - ТП, що здійснює перетворення вимірюваної механічної величини в вихідний електричний сигнал. Недоліком напівпровідникових ТП є сильна і нелінійна температурна залежність таких характеристик, як тензочутливість і опір ТР, і не лінійність функції перетворення деформації в відносне зміна опору ТР. Для боротьби з цими недоліками розроблено велику кількість конструктивних і схемних методів компенсації похибок ТП, що дозволяють виготовляти в даний час датчики, що працюють в інтервалі температур від -50 до + 125 ° С з основною похибкою 0,5% і додаткової температурної похибкою 0,1 ... 0,4% на кожні 10 ° С. Разом з тим, трудомістка індивідуальна настройка датчиків, необхідна для отримання високих метрологічних характеристик, підвищує їх вартість і обмежує обсяг виробництва[13].

Дивіться малюнок нижче (рис 1.3). Якщо тензодатчик закріплений на поверхні стовпа, який отримує рівномірне навантаження з одного напрямку, а вісь датчика вирівняна у напрямку, напруга σ обчислюється наступним рівнянням:

$$\sigma = \epsilon_0 E, \quad (1.4)$$

де E модуль юнга, ϵ_0 напруженість .

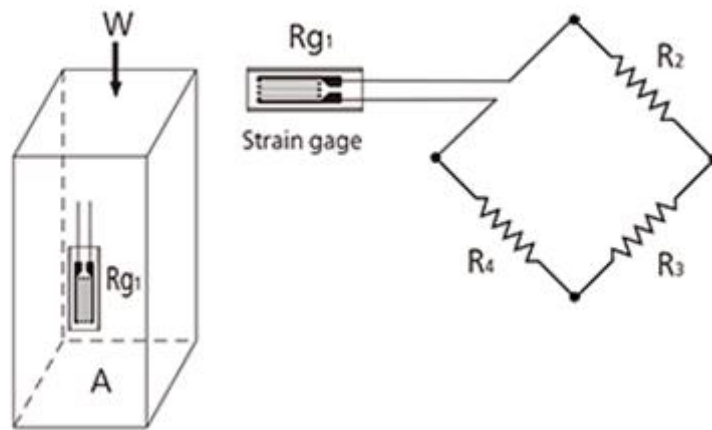


Рис1.3 Схема встановлення і підключення ТП.

На рис 1. Зображено схему виміру ТП деталі типу балка на вертикальну деформацію. Де W це навантаження.

Висновки до Розділу 1

Проведено аналіз різних тензометричних методів, різні, їхні недоліки і переваги, матеріали і способи використання

Провівши наукових і довідникових робі за темою дослідження, було здобуто знання по темі тензометричного неруйнівного контролю, а також ознайомлено з основними напрямками досліджень даного методу контролю. Даний метод дозволяє контролювати механічні напруження і натяги матеріалів і складальних одиниць.

Датчики що використовуються в даних методах дозволяють отримати точні результати механічних напружень і деформації. Недоліком більшості із тензодатчиків, зокрема дротяного ТР, це висока чутливість до температурних коливань.

Розглянуто схему функціонування даного методу.

РОЗДІЛ 2: РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

2.1 Основні рівняння тензоперетворювача

2.1.1 Аналіз тензоперетворювача

ТП вимірюють напругу в одному напрямі. На Рис 2.1, цей напрям горизонтальний тому що напрям відповідає напрямку орієнтації витків. Такий датчик називається осьовим датчиком.

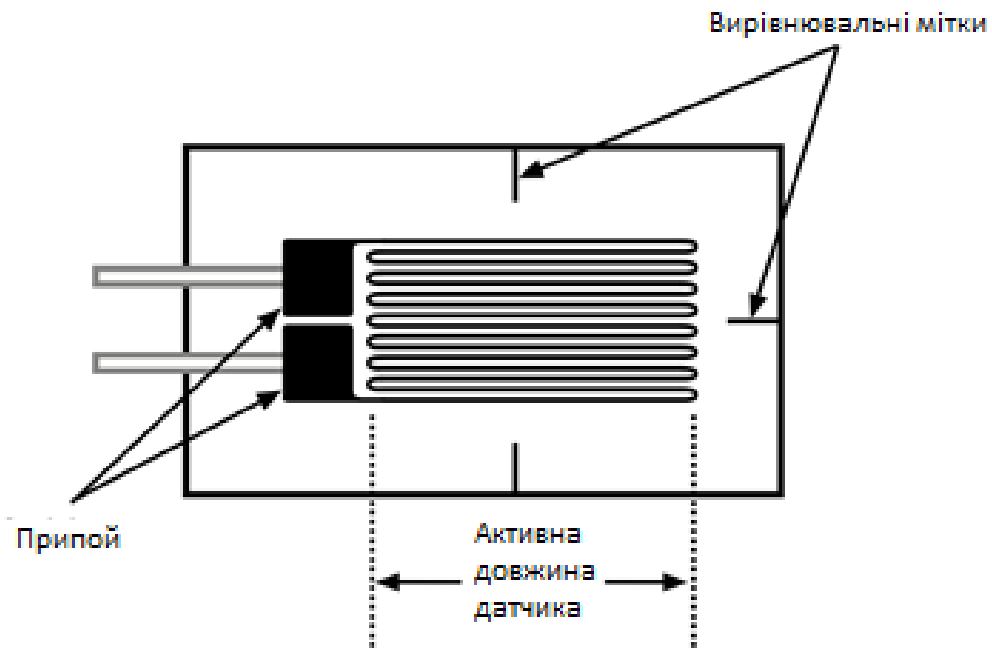


Рис 2.1 Схема ТП

Електричний опір дроту R , залежить від його довжини L і площі поперечного перерізу A [9]:

$$R = \frac{\rho L}{A}, \quad (2.1)$$

де ρ - питома електрична провідність. Як дріт розтягується його довжина збільшується, площі поперечного перетину зменшується згідно з коефіцієнтом Пуанссона. Збільшення довжини і зменшення площі приводять до збільшення опору дроту і навпаки зменшення довжини і збільшення площі приводять до зменшення опору [9].

Залежність опору дроту залежить від напруженості називається фактором напруженості GF [9] і виражається [9]:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}, \quad (2.2)$$

$\Delta R/R$ і $\Delta L/L$ виражають відношення змін опору і довжини до опору і довжини відповідно. Так як в подальшому $\Delta L/L$ буде використовуватись в такому ж вигляді зручніше замінити його величиною ϵ , що називається напруженістю. Залежність зміни опору від фактору напруженості можна виразити як [9]:

$$\Delta R = R * GF * \epsilon, \quad (2.3)$$

Фактор напруженості зазвичай дорівнює 2 і може відрізнятись на декілька відсотків. Якщо припустити що $L*A=const$, це можна довести таким визначивши вираз dR/dL згідно формули 2.1, як [9]:

$$\frac{dR}{dL} = \frac{\partial R}{\partial L} + \left(\frac{\partial R}{\partial A}\right) \left(\frac{\partial A}{\partial L}\right) = \frac{\rho}{A} + \left(\frac{-\rho L}{A^2}\right) \left(\frac{-A}{L}\right) = 2 \frac{\rho}{A}, \quad (2.4)$$

Тоді, помноживши вираз 2.4 на L/R [15]:

$$GF = \frac{dR}{dL} * \frac{L}{R} = \left(2 \frac{\rho}{A}\right) \left(\frac{L}{\frac{\rho L}{A}}\right) = 2, \quad (2.5)$$

Тобто теоретичним значенням всіх факторів напруженості є 2, незалежно від матеріалу, довжини і площі перетину.

2.1.2 Аналіз мосту Вітстоуна

Електричний ланцюг, що містить ТП, так само важливий, як і сам датчик. Завдання електричного кола - пов'язати зміну опору датчика з вимірюваною зміною напруги. Відображається схема міст Вітстоуна Рис 2.2 - це найпопулярніший вибір для досягнення цього. Його також називають четвертинним мостовим ланцюгом, оскільки сам датчик є одним із чотирьох опорів у ланцюзі.

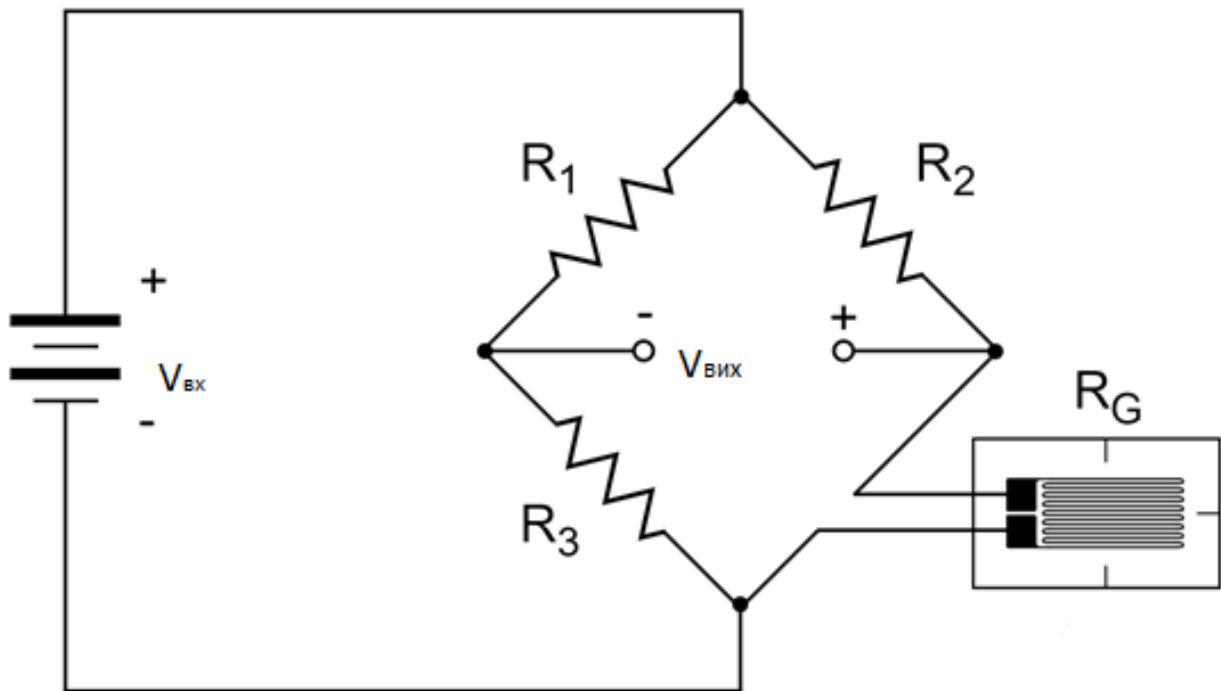


Рис 2.2 Мостова схема Вітстоуна з тензопретворювачем

Особливістю цієї схеми, що робить її такою популярною, є її здатність перетворювати невелику зміну в опорі у вимірюваний диференціал напруги. На відміну від цього, хоча варіація $V_{\text{вих}}$ в ланцюзі мосту Вітстоуна також невелика, вона змінюється приблизно до нуля, а не великого зміщення, як це робить опір деформації. Насправді нижче буде показано, що $V_{\text{вих}}$ пропорційний ϵ . Тож зміна $V_{\text{вих}}$ досить велика.

Аналіз мосту Вітстоуна є досить простим. Отже, малюнок праворуч надає схему в більш звичній та електрично еквівалентній орієнтації. Нагадаємо, що кінцевою метою є визначення $V_{\text{вих}}$, що дорівнює $V_g - V_3$. Аналіз триває наступним чином. Далі опір перетворювача буде надивитись R_G .

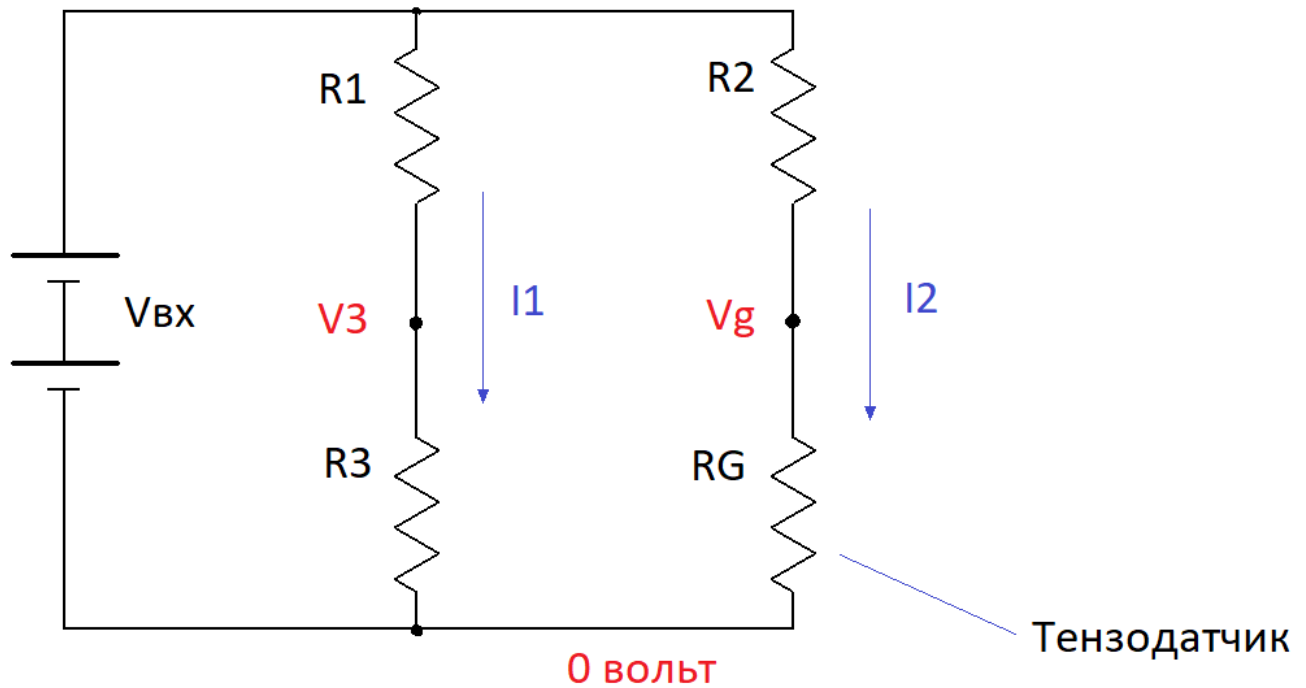


Рис 2.3 Принципова схема моста Вітстоуна

Спочатку визначимо струми I_1 і I_2 , що проходять через кожен «руку» кола [10]:

$$I_1 = \frac{V_{BX}}{R_1 + R_3}, \quad (2.6)$$

$$I_2 = \frac{V_{BX}}{R_2 + R_G}. \quad (2.7)$$

Напруги над R_3 , та R_G дорівнюють [10]:

$$V_3 = I_1 R_3, \quad (2.8)$$

$$V_G = I_2 R_G. \quad (2.9)$$

Замінивши співставивши формули 2.8 і 2.9 з формулами 2.6 і 2.7 відповідно отримаємо [10]:

$$V_3 = \frac{V_{BX}}{R_1 + R_3} R_3, \quad (2.10)$$

$$V_G = \frac{V_{BX}}{R_2 + R_G} R_G. \quad (2.11)$$

Тоді $V_{ВИХ}$ [10]:

$$V_{ВИХ} = V_{BX} \left[\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_G}{R_2 + R_G} \right]. \quad (2.12)$$

Це фундаментальний взаємозв'язок, з якого виходить всі інші. Як приклад, розглянемо найпростіший сценарій вибору резисторів, таких, що R_1 , R_2 і R_3 всі

рівні R_G , о, опір ТР при нульовій деформації. Слід зрозуміти, що $V_{\text{ВИХ}} = 0$, тільки коли всі чотири опори рівні. У цьому випадку, як кажуть, міст збалансований.

Але так як опір ТП R_G , змінюється із зміною напруженості то $V_{\text{ВИХ}} = 0$ тільки при $\epsilon = 0$ та $V_{\text{ВИХ}}$ змінює свої значення тільки при зміні значень ϵ .

Для визначення прямої залежності між R_G та $V_{\text{ВИХ}}$, визначимо R_G і підставимо в рівняння 2.12 [9]:

$$R_G = R_{G,0} + \Delta R_G, \quad (2.13)$$

де $R_{G,0}$ – опір перетворювача при напруженості рівній 0 [9].

$$V_{\text{ВИХ}} = V_{\text{ВХ}} \left[\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_{G,0} + \Delta R_G}{R_2 + R_{G,0} + \Delta R_G} \right]. \quad (2.14)$$

В найпростішому випадку R_1, R_2, R_3 будуть рівні 0. Тоді [9]:

$$V_{\text{ВИХ}} = V_{\text{ВХ}} \left[\frac{\Delta R_G}{4R_{G,0} + 2\Delta R_G} \right]. \quad (2.15)$$

На практиці ΔR_G це дуже мала частина $4R_{G,0}$, тому в знаменнику рівняння 2.15 можна вилучити ΔR_G і тоді формула матиме вигляд [9]:

$$V_{\text{ВИХ}} = V_{\text{ВХ}} \left[\frac{1}{4R_{G,0}} \right] \Delta R_G. \quad (2.16)$$

Цей вираз дозволяє виразити залежність напруги V_{means} від ΔR_G . Якщо підставити рівняння 2.3 то його розв'язком буде [10]:

$$\epsilon = \left(\frac{4}{GF} \right) \left(\frac{V_{\text{ВИХ}}}{V_{\text{ВИХ}}} \right). \quad (2.17)$$

Сценарії, які можуть призвести до ненульових вимірювань напруженості при наявності нульового напруження через відхилення резисторів та самого датчика від їх номінальних опорів, як правило, через зміни температури. Це може відбуватися як від вироблення тепла в електроніці, так і від зміни температури навколишнього середовища. Коли це відбувається, мостовий ланцюг, як кажуть, є незбалансованим. Це поширена проблема. Рішення полягає в тому, щоб замість одного з трьох резисторів ввести резистор із змінним опором і налаштувати його до $V_{\text{ВИХ}} = 0$ [10].

Для цього якщо в рівнянні 2.12 $V_{\text{ВИХ}} = 0$, то [10]:

$$\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_G}{R_2 + R_G} = 0, \quad (2.18)$$

$$R_1 R_G = R_2 R_3. \quad (2.19)$$

Загалом, один з трьох резисторів в мостовій схемі буде регулюватися. Його опір можна налаштувати до тих пір, поки не буде задоволено вищевказане рівняння, тим самим виробляючи нульову напругу, виміряну при нульовій нарузі, принаймні на той момент. Досі можливо, що температура навколишнього середовища може змінюватися під час випробування та давати неточні результати.

2.1.3 Аналіз тензометричних розеток

Тензометрична розетка - це просто три звичайні осьові датчики, розміщені близько один до одного та за встановленою орієнтацією відносно один до одного. Три зразки на Рис 2.4. Кожна розетка містить датчики при орієнтації під 45° відносно, хоча відносні орієнтації під 60° також використовуються. Зауважте, що кожен датчик у розетці не залежить від інших, у кожного датчика є своя схема моста Вітстоуна [9].

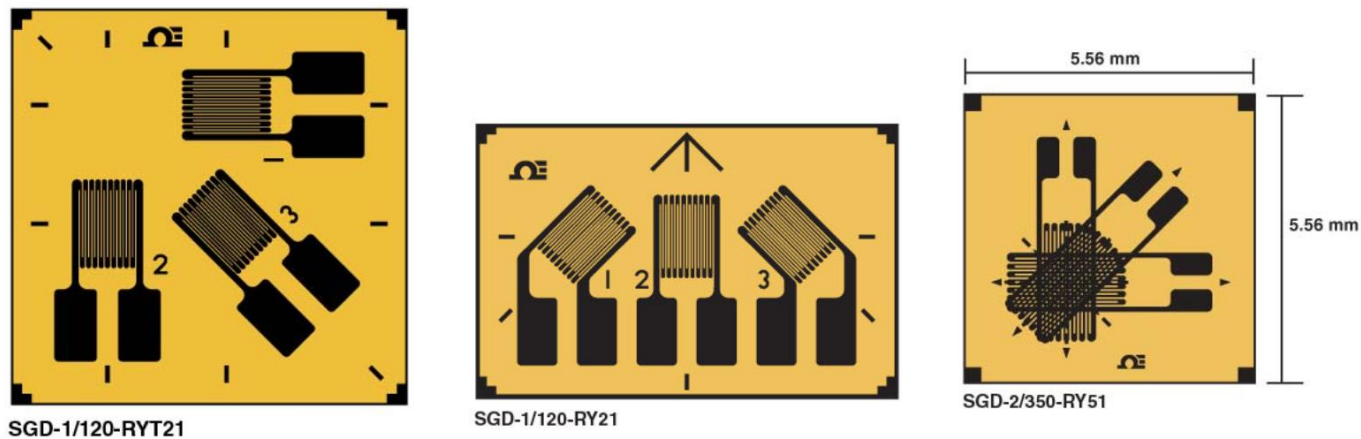


Рис 2.4 Тензометричні розетки під 45°

Ключовою особливістю тензометричної розетки є її здатність визначати повний стан деформації на поверхні предмета. Сюди входять усі нормальні та зсувні напруження, а також основні напруження та основна орієнтація. Використаємо теоретичні положення двомірної покоординатної трансформації [11]:

$$\epsilon'_{xx} = \epsilon_{xx} \cos^2 \theta + \epsilon_{yy} \sin^2 \theta + 2 \left(\frac{\gamma_{xy}}{2} \right) \cos \theta \sin \theta. \quad (2.20)$$

Де ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy} - це невідомі напруги які потрібно визначити. Нехай ϵ'_{xx} будуть значеннями трьох перетворювачів в розетці з кутами 0° , 45° , 90° і назвемо напруги названі як ϵ_0 , ϵ_{45} , ϵ_{90} відповідно [11].

Якщо виставити розетку таким чином що 0° відповідатиме осі у напруженості і 90° осі x. Це дасть в результаті [11]:

$$\epsilon'_{45} = \epsilon_{xx} \cos^2 45 + \epsilon_{yy} \sin^2 45 + 2 \left(\frac{\gamma_{xy}}{2} \right) \cos 45 \sin 45, \quad (2.21)$$

$$\epsilon_{45} = \frac{\epsilon_0 + \gamma_{xy} + \epsilon_{90}}{2}. \quad (2.22)$$

Виразимо γ_{xy} [11]:

$$\gamma_{xy} = 2\epsilon_{45} - \epsilon_0 - \epsilon_{90}, \quad (2.23)$$

Рівняння 2.23 описує в повній мірі напруженість на поверхні в виражену в двомірними координатами. Виведемо рівняння для знаходження принципової напруженості в точці:

$$\epsilon_{max}, \epsilon_{min} = \frac{\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}}{2} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2} \right)^2}, \quad (2.24)$$

$$\tan(2\theta) = \frac{\gamma_{xy}}{\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}}. \quad (2.25)$$

2.1 Аналіз деформації деталі при затягуванні болта

З'єднання частин машин болтами набуло широкого поширення в різних технічних пристроях. Високі вимоги до працездатності сучасних машин стимулюють розвиток точних методів розрахунку і складання болтових з'єднань. Проблема точності затягування болта пов'язана з визначенням деформацій деталей з'єднання. Під дією сили затяжки болт розтягується і скручується, а деталі стискаються. Сила затягування розраховується так, щоб з'єднання деталей було щільним і витримувало зовнішнє навантаження, а болт не руйнувався. Затягування контролюють по моменту загвинчування або по куту повороту гайки. Для цього застосовують електронні динамометричні ключі і ультразвукову техніку, що вимірюють момент і кут з високою точністю. Разом з тим до останнього часу при розрахунку затяжки болта використовують

наближені вирази, які не враховують осьових і крутильних деформацій болта і деталей, що з'єднуються. [12]

Почнемо із визначення осьового переміщення гайки [12]:

$$h = \delta_d + \delta_b, \quad (2.26)$$

де δ_d і δ_b деформації деталей і болта відповідно [12].

$$h = F(\lambda_d + \lambda_b), \quad (2.27)$$

де λ_d і λ_b піддатливість деталі і болта відповідно. Прирівняємо ліві частини формул 2.26 і 2.27 і виведемо формулу деформації деталі [12]:

$$\delta_d + \delta_b = F(\lambda_d + \lambda_b) \quad (2.28)$$

Згідно довідникових даних λ_b , λ_d і δ_b визначаються як [12]:

$$\lambda_b = \frac{l_b}{E_b S_b}, \quad (2.29)$$

$$\lambda_d = \sum_1^n \frac{h_{nb}}{E_{nb} S_{nb}}, \quad (2.30)$$

$$\delta_b = F \lambda_b = F \frac{l_b}{E_b S_b}, \quad (2.31)$$

де E_{nb} - модуль пружності n-ї деталі, E_b - модуль пружності болта, l_b - довжина болта, S_b - площа перерізу болта, S_{nb} - площа перерізу конуса n-ї деталі, h_{nb} – товщина n-ї деталі

Знаючи рівняння 2.29, 2.30 і 2.31 можна визначити значення деформації деталі підставивши їх в визначення 2.28:

$$\delta_d = F(\lambda_d + \lambda_b) - \delta_b = F\left(\left(\sum_1^n \frac{h_{nb}}{E_{nb} S_{nb}} + 1\right) - 1\right) \frac{l_b}{E_b S_b} \quad (2.32)$$

2.3 Отримання формули залежності напруги на мостовій схемі

Деформація δ_d дорівнює сумі деформацій пакету деталей. Якщо вимірювання проводиться з однієї сторони то деформація на сторону буде виражено:

$$\delta_{dc} = \Delta L \approx \delta_d / 2 \quad (2.33)$$

Комбінуючи рівняння 2.17 і 2.32 маємо:

$$\left(\frac{V_{\text{Вих}}}{2V_{\text{Вх}}l_0}\right) = F\left(\left(\sum_1^n \frac{h_{n\delta}}{E_{n\delta}S_{n\delta}} + 1\right) - 1\right) \frac{l_0}{E_0S_0}. \quad (2.34)$$

Визначимо залежність напруги на мосту і сили затяжки болта:

$$V_{\text{Вих}} = F\left(\sum_1^n \frac{h_{n\delta}}{E_{n\delta}S_{n\delta}}\right) \frac{4l_0V_{\text{in}}l_0}{E_0S_0GF} L, \quad (2.35)$$

де L - це коефіцієнт, який враховує відстань між болтом і датчиком. Даний коефіцієнт необхідно визначити експериментально.

Залежність напруженості від сили затяжки рівна:

$$\epsilon = F\left(\sum_1^n \frac{h_{n\delta}}{E_{n\delta}S_{n\delta}}\right) \frac{4l_0}{E_0S_0} L. \quad (2.36)$$

Отже ми визначили залежність напруги від сили затяжки болта.

Висновки до розділу 2

Результатом розробки математичної моделі автоматизованої системи контролю якості складання, було отримано математичні залежності деформації при затягуванні болта і деформації пакету деталей і залежність вихідного сигналу перетворювача від мети контролю.

Знання що здобуто під час огляду наукових праць і досліджень за напрямком досліджень, було використано і доповнено під час розробки математичної моделі. Із різних видів тензодатчиків було обрано ТР дротяного типу. Але для досягнення необхідних показників точності в датчику необхідно було суттєво збільшити довжину дроту ТР. За результатами розрахунків необхідна довжина становить 80 мм.

Було виявлено, що оптимальною імплементацією датчика буде через міст Вітстоуна. Даний міст відносно легко балансувати і він є надійним. Розглянуто умови балансу мосту і різні варіанти застосування. Також розглянуто умови зміни опорів на резисторах, а саме зміна температури, що повинно бути враховано при подальшому проектуванні.

Було розглянуто різні варіанти конструкцій тензометричних розеток. Тензометричні розетки можуть бути використані для більш точного визначення

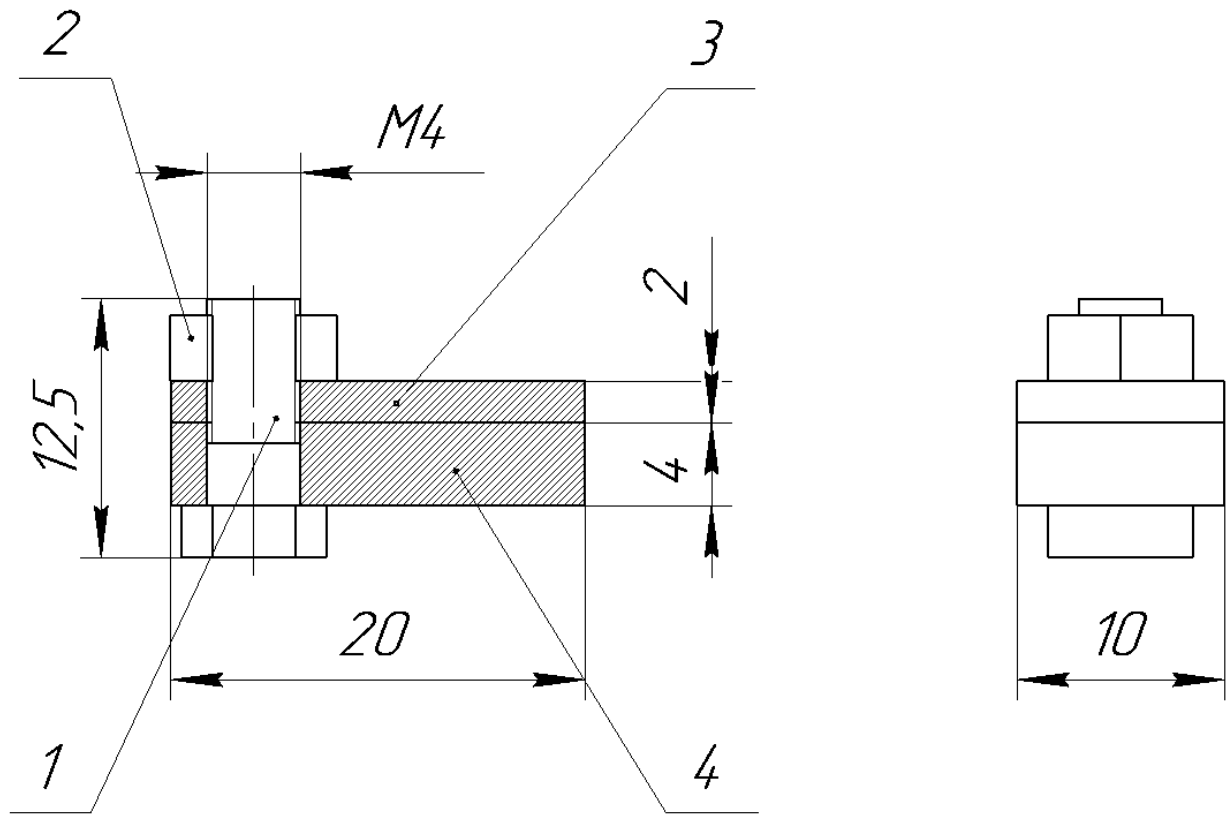
деформацій і їх напрямів. Вони є дуже корисними при наявності декількох джерел деформації.

На основі розглянутих математичних залежностей сили затиску і деформації, що виникли в складальній одиниці затягнутій болтовим з'єднанням, було сформовано систему рівнянь, що відображає аналітичний зв'язок між силою затиску, деформаціями і вихідною напругою на датчику.

РОЗДІЛ 3: РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

3.1 Експериментальна перевірка математичної моделі

3.1.1 Експериментальне визначення коефіцієнту L



Дієвість даного методу контролю буде визначатись за допомогою симуляції в програмному пакеті Abaqus CAE. Об'єктом симуляції буде простий пакет з'єднаний болтом 1 і гайкою 2. Ескіз пакету зображено на Рис. 3.1.

Рисунок 3.1. Ескіз пакету

Верхня планка 3.1 виконана зі сталі 10. Хімічний склад цього матеріалу наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Хімічний склад сталі 10

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As	Fe
0,07-0,014	0,17-0,37	0,35- 0,65	до 0,25	до 0,04	до 0,035	до 0,15	до 0,25	до 0,08	~98

Фізичні характеристики, які достатньо характеризують матеріал для проведення експерименту в програмі Abaqus CAE, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Фізичні характеристики Сталі 10

σ , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	НВ	Е, ГПа	ρ , кг/м ³	Ψ , %
260	420	143	2,1	7856	69

Фізичні параметри сталі 10 наведені в таблиці 3 вказані для температури 20°C і розшифровуються, як [13]:

σ - гранична пружність;

$\sigma_{сж}$ - границя текучості при зжимі;

НВ- твердість по Брінелю;

Е- модуль пружності;

ρ - густина матеріалу;

Ψ - відносне звуження.

Нижня планка 3.3 виконана зі сталі 45. Хімічний склад цього матеріалу наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Хімічний склад сталі 45

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As	Fe
0,42-0,5	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,3	до 0,08	~97

Фізичні характеристики, які достатньо характеризують матеріал для проведення експерименту в програмному забезпеченні CAE Abaqus, наведні в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 Фізичні характеристики Сталі 45.

σ , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	НВ	Е, ГПа	ρ , кг/м ³	Ψ , %
600	355	229	2	7826	40

Фізичні параметри сталі 45 наведені в таблиці 5 вказані для температури 20°C і розшифровуються, як:

σ - гранична пружність;

$\sigma_{сж}$ - границя текучості при зжимі;

НВ- твердість по Брінелю;

Е- модуль пружності;

ρ - густина матеріалу;

Ψ - відносне звуження.

Використаний болт М4 виготовлений за стандартом ГОСТ 7805-70 класа міцності 5,8 (Сталь 3). Гайка вионана за стандартом ГОСТ 5927-10.

Результати симуляції і візуалізація наведені в таблиці 3.5 і на рисунках 3.2 і 3.3.

Таблиця 3.5 Результати симуляції

№	Сила затиску	Напруженість на відстанні					
		1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм	6 мм
1	1000	0,0174	0,0152	0,0139	0,0128	0,0113	0,0102
2	1500	0,0261	0,0228	0,0208	0,0192	0,0169	0,0153
3	2000	0,0348	0,0303	0,0278	0,0255	0,0226	0,0204
4	2500	0,0435	0,0379	0,0347	0,0319	0,0282	0,0254
5	3000	0,0522	0,0455	0,0416	0,0383	0,0339	0,0305
6	3500	0,0609	0,0531	0,0486	0,0447	0,0395	0,0356
7	4000	0,0696	0,0607	0,0555	0,0511	0,0451	0,0407
8	4500	0,0783	0,0683	0,0625	0,0575	0,0508	0,0458
9	5000	0,0870	0,0759	0,0694	0,0638	0,0564	0,0509
10	5500	0,0957	0,0835	0,0763	0,0702	0,0621	0,0560
11	6000	0,1044	0,0910	0,0833	0,0766	0,0677	0,0611

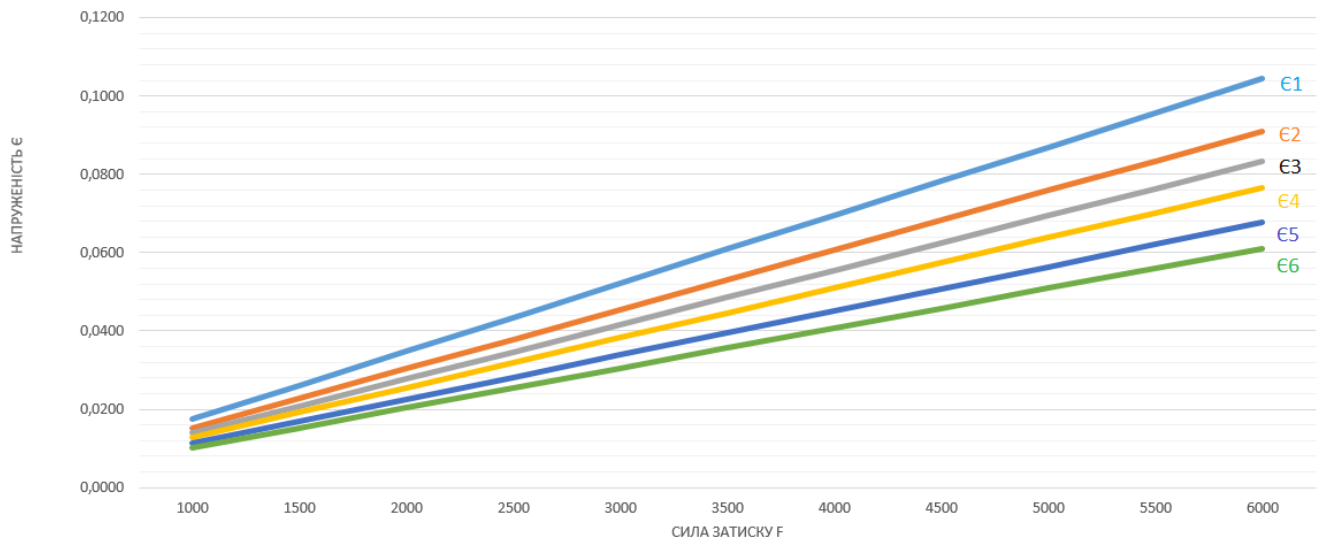


Рисунок 3.2. Графік залежності напруженості матеріалу від сили затиску на різних відстанях.

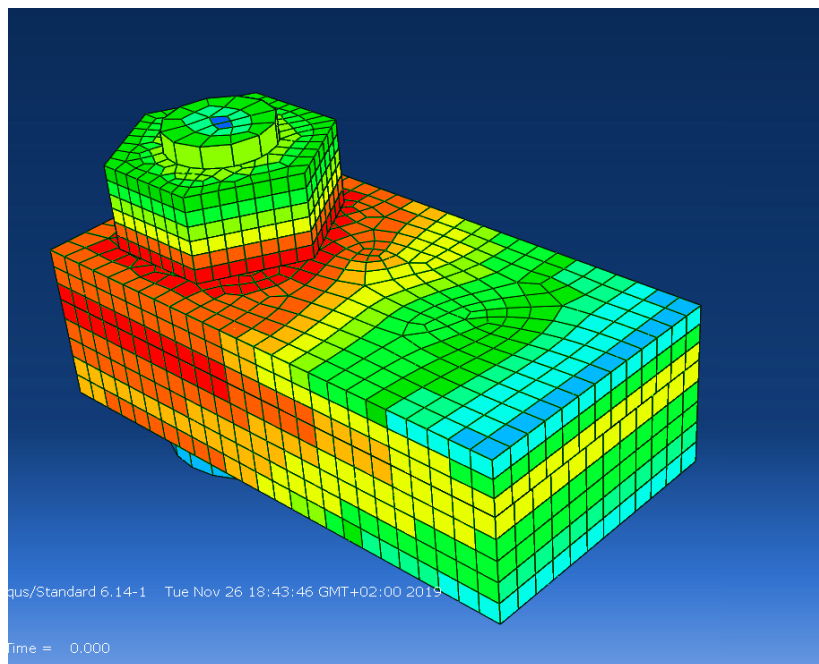


Рисунок 3.3. Візуалізація симуляції в Abaqus CAE.

Залежність значення напруженості від відстані є лінійною. Більш того значення коефіцієнту L можна вважати лінійним при малих напруженостях, але при силі затиску $3,3 \text{ Н*м}$, прирівнювання даної залежності до лінійної приведе до високої похибки (Рис. 3.4).

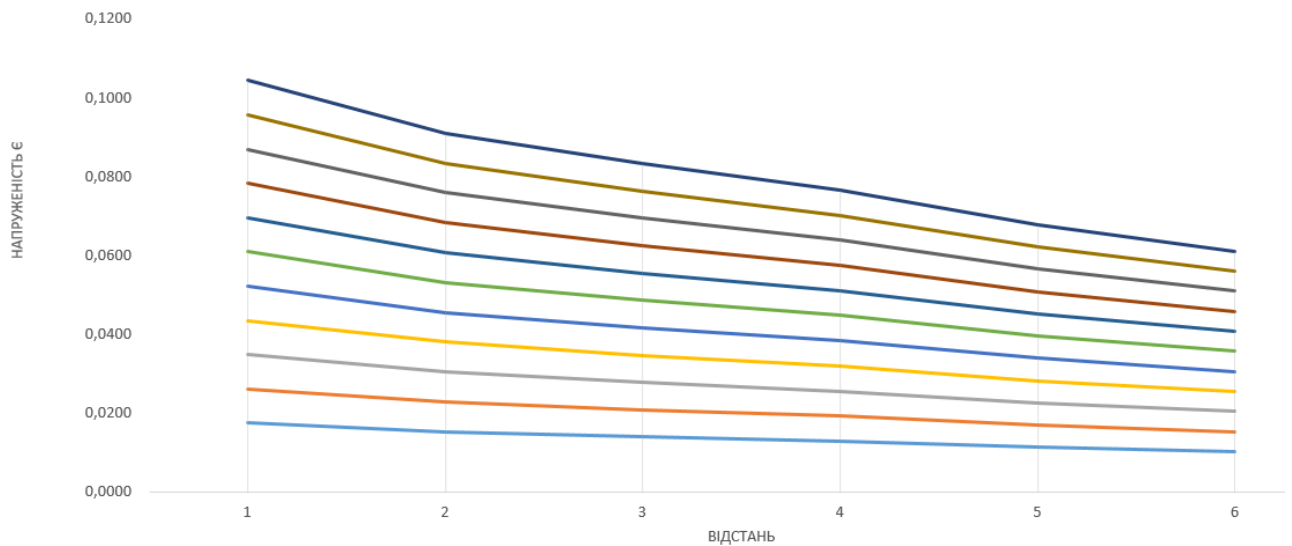


Рисунок 3.4. Залежність напруженості від відстані.

Найближчою відстанню вимірювання розробленим датчиком, є 4 мм і саме для цієї відстані і визначимо коефіцієнт L . Коефіцієнт L буде рівний середньому геометричному різниці між показниками напруженості на відстані 4мм і показниками напруженості на точці яка найближча до прикладеної сили (Таблиця 3.6):

$$L = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (\epsilon_{4i} \epsilon_{0i})}. \quad (3.1)$$

Таблиця 3.6 Значення напруженості в нульовій точці

F	1280	1710	2100	2790	2960	3940	5420	7230	8640	11500	12600
Є4	0,0237	0,0316	0,0389	0,0516	0,0548	0,0729	0,1003	0,1338	0,1599	0,2128	0,2331

Після проведених розрахунків за допомогою MS Excel, було визначено що значення коефіцієнту $L=0,69420$.

3.1.2 Розрахунок математичної моделі для болтового з'єднання М4

Для практичного розрахунку оберемо значення сили затяжки болта із ряду ГОСТ 52643-2006. Для розрахунку значення напруженості в точці на відстані 4 мм використаємо формулу 2.36 і данні наведені в таблицях 3 і 5:

$$\epsilon_{4i} = F_{4i} \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,69 \quad (3.2)$$

$$\epsilon_{4i} = 1280 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,0164$$

$$\epsilon_{4i} = 1710 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,0220$$

$$\epsilon_{4i} = 2100 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,0270$$

$$\epsilon_{4i} = 2790 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,0358$$

$$\epsilon_{4i} = 2960 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,0380$$

$$\epsilon_{4i} = 3940 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,0506$$

$$\epsilon_{4i} = 5420 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,0696$$

$$\epsilon_{4i} = 7230 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,0929$$

$$\epsilon_{4i} = 8640 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,6942 = 0,1110$$

$$\epsilon_{4i} = 11500 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,694 = 0,1477$$

$$\epsilon_{4i} = 12600 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 12,56} 0,694 = 0,1619$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.7. Графік залежності розрахованих даних наведені на Рис 3.5. В таблиці 3.7 наведено значення розраховані за формулою 3.2.

Таблиця 3.7 Розрахункове значення напруженості на відстані 4 мм

F	1280	1710	2100	2790	2960	3940	5420	7230	8640	11500	12600
Є4	0,0164	0,0220	0,0270	0,0358	0,0380	0,0506	0,0696	0,0929	0,1110	0,1477	0,1619

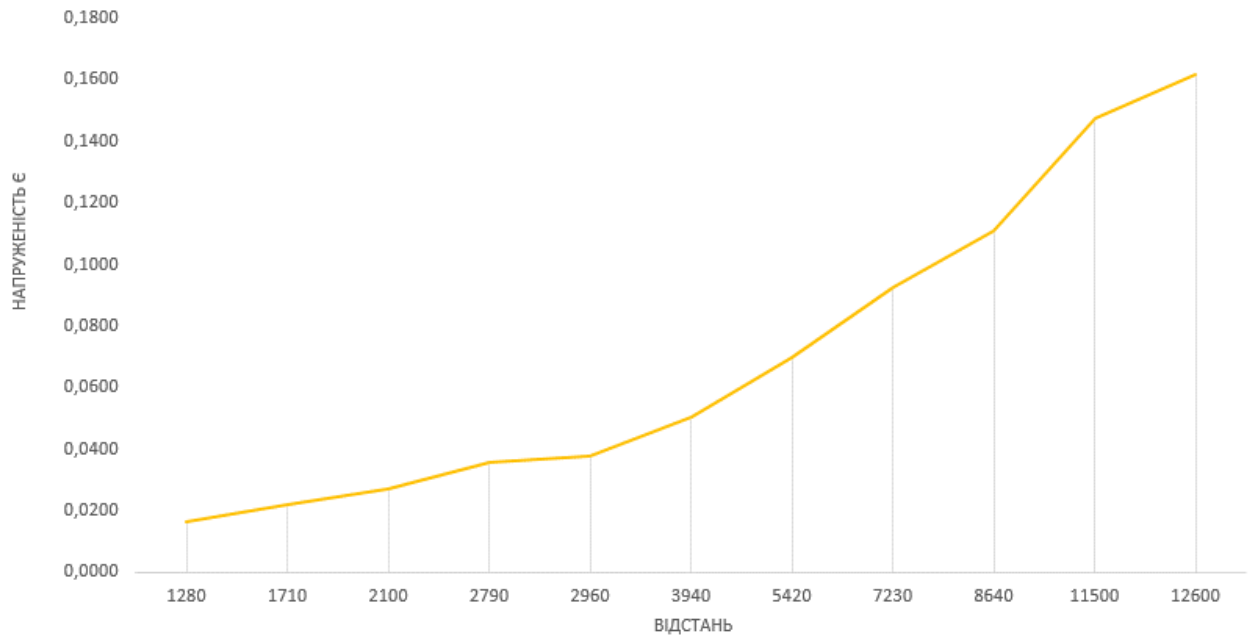


Рисунок 3.5. Графік залежності сили затиску від напруженості.

Як видно на рис. 3.5 залежність можна назвати параболічною. Тобто швидкість зміни напруженості відносно сили, вище за швидкість зміни сили.

3.1.3 Проведення симуляції

Проведемо симуляцію, яку використовували при визначенні коефіцієнта L , але із силами зтяжки, які використовували при розрахунках значення напруженості на відстані 4 мм. Результати симуляції наведені в табл. 3.8.

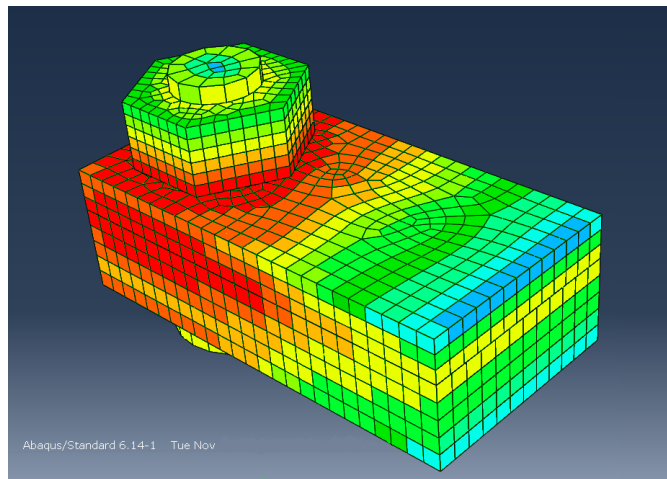


Рисунок 3.6. Візуалізація розподілу напруженості при силі зтяжки 3940Н

Таблиця 3.8. Результати симуляції

№	Сила затиску	Напруженість на відстанні					
		1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм	6 мм
1	1280	0,0223	0,0194	0,0178	0,0168	0,0144	0,0130
2	1710	0,0297	0,0259	0,0237	0,0215	0,0193	0,0174
3	2100	0,0365	0,0319	0,0291	0,0272	0,0237	0,0214
4	2790	0,0485	0,0423	0,0387	0,0357	0,0315	0,0284
5	2960	0,0515	0,0449	0,0411	0,0382	0,0334	0,0301
6	3940	0,0685	0,0598	0,0547	0,0506	0,0445	0,0401
7	5420	0,0943	0,0822	0,0752	0,0694	0,0612	0,0552
8	7230	0,1258	0,1097	0,1003	0,0921	0,0816	0,0736
9	8640	0,1503	0,1311	0,1199	0,1108	0,0975	0,0879
10	11500	0,2000	0,1745	0,1596	0,1464	0,1298	0,1170
11	12600	0,2192	0,1912	0,1749	0,1608	0,1422	0,1282

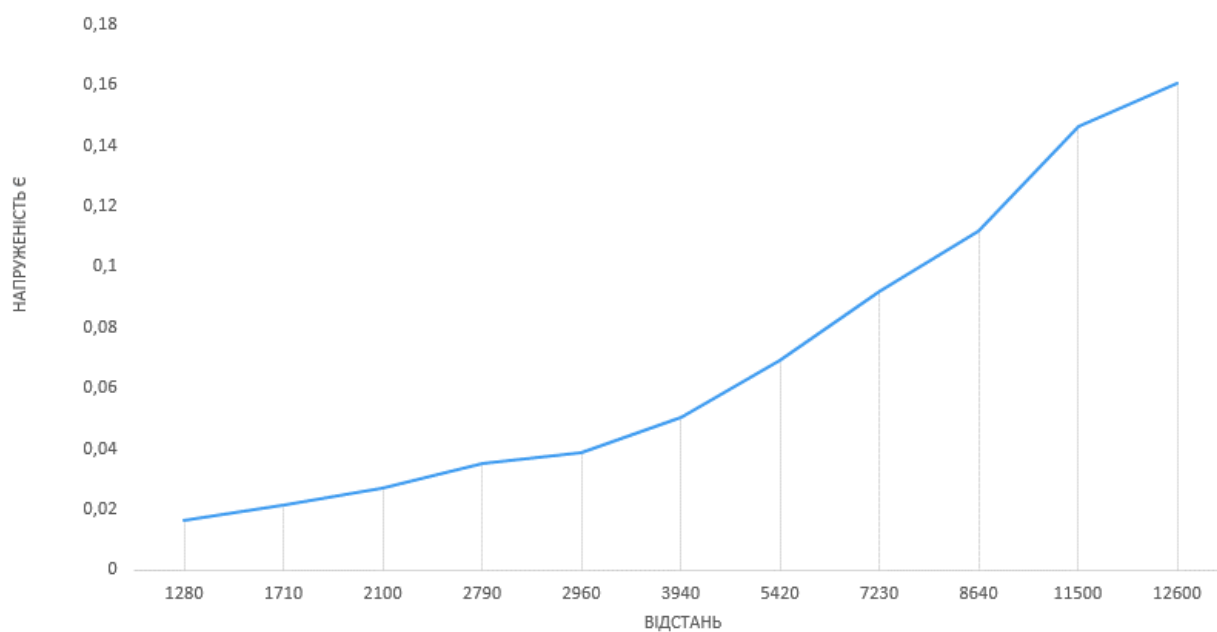


Рисунок 3.7. Графік залежності сили затиску від напруженості.

3.1.4 Порівняння результатів розрахунків і симуляції

Графіки залежності напруженості від сили для розрахункових даних і даних симуляції наведені на Рис. 3.6. Графіки майже збігаються. Різниця між симуляцією і розробленим методом контролю перевищує 1% при силах затиску 8640 Н, 11500 Н і 12600 Н. (Таблиця 3.9). Але так як основною метою вимірювання сили затиску- є запобігання надмірного затиску то ця похибка допустима.

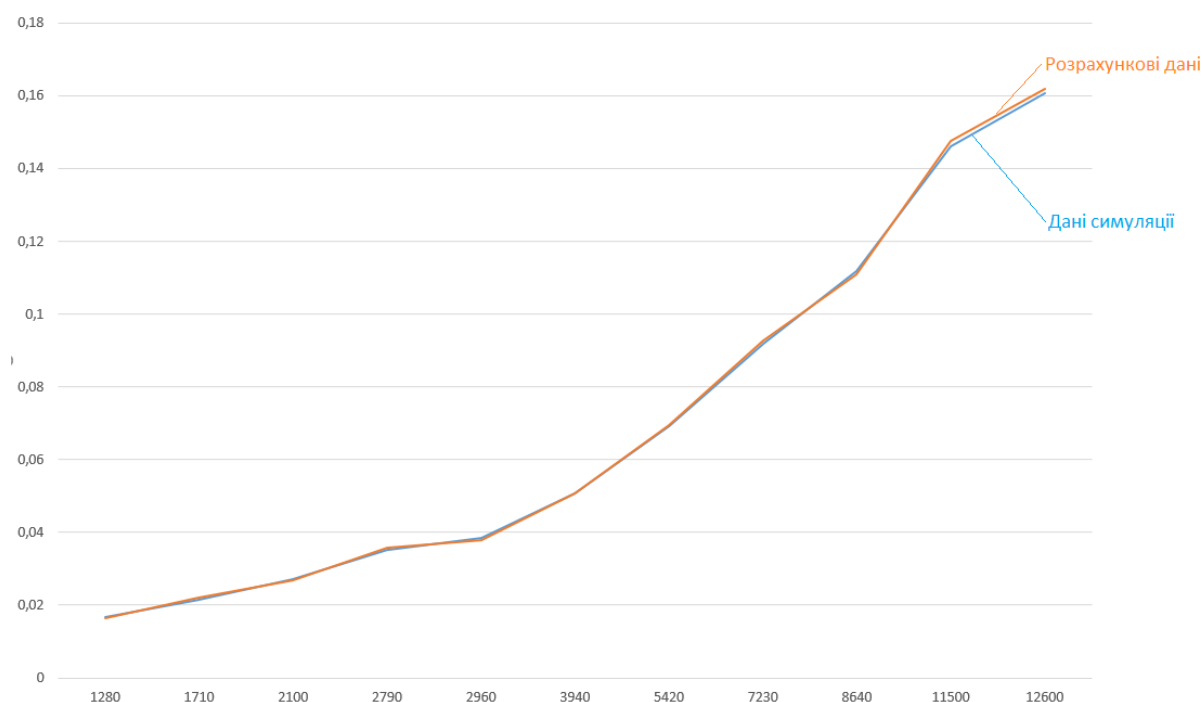


Рисунок 3.6. Графіки залежності напруженості від сили.

Таблиця 3.9 Порівняння даних симуляції і розрахунків

№	Сила затиску	Симуляція	Розрахунок	Різниця, %
1	1280	0,0166	0,0164	0,9566
2	1710	0,0218	0,0220	0,7560
3	2100	0,0272	0,0270	0,8303
4	2790	0,0355	0,0358	0,9485
5	2960	0,0384	0,0380	0,9892
6	3940	0,0506	0,0506	0,0206
7	5420	0,0691	0,0696	0,7518
8	7230	0,092	0,0929	0,9427

9	8640	0,1122	0,1110	1,0904
10	11500	0,1462	0,1477	1,0348
11	12600	0,1602	0,1619	1,0250

Отже, можна зробити висновки що розроблений метод контролю є достатньо надійним для вимірювання сили затиску болта. В ході проведеного експерименту було визначено, що похибка не знаходиться в межах 1%, чого достатньо для поставленої задачі виміру сили затиску болта.

3.2 Розробка системи автоматичного контролю.

3.2.1 Структурна системи автоматичного контролю.

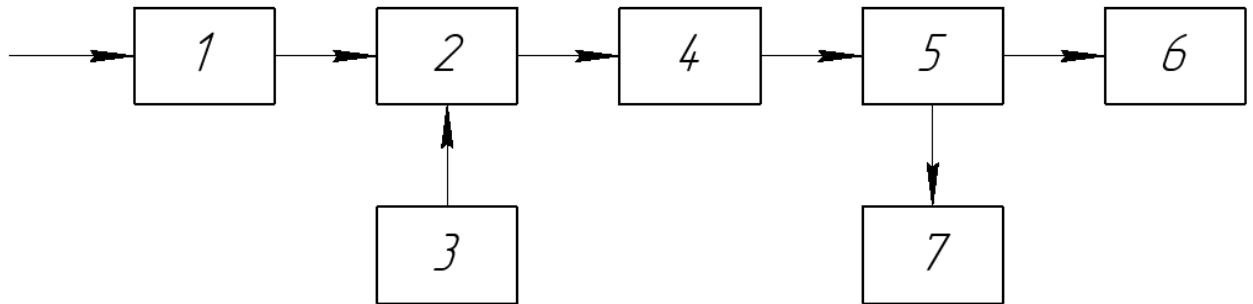


Рисунок 3.7. Структурна схема тензометра.

На рис. 3.7 зображено структурну схему тензометра, що буде використовуватись в автоматизованій системі контролю. На об'єкт контролю 1 (деталі що з'єднуються) діє сила F , що в нашому випадку сила затиску болта. Під дією сили у об'єкті контролю виникають внутрішні напруження ϵ , що вимірюються тензодатчиком 2. На виході тензодатчика отримуємо значення напруги $V_{\text{вих}}$, що направляється на підсилювач сигналу 4. Підсилений сигнал обробляється блоком обробки інформації 5. З блоку обробки інформації сигнал виводиться на екран 6 і наступну ланку автоматизованої системи 7. Наступною ланкою автоматизованої системи повинен бути блок керування станком, або роботом.

На рис. 3.7 зображено функціональну схему роботи тензометра. З блоку живлення, що працює від мережу 220 В, живиться напругою 12 В міст Вітстоуна, в якому одним із опорів є тензодатчик і МП. З мосту Вітстоуна виходить сигнал $V_{\text{вих}}$ і приймається підсилювачем, а за ним іде на фільтр низьких частот. Із фільтра низьких частот підсилений і відфільтрований сигнал іде на МП. У МП дві задачі: перша перевести значення із напруги в значення сили затягу і напруженості та вивести їх на екран, друга це згенерувати керуючу програму контролю робочим органом станка, на основі початкових даних (ПД на схемі) і результатів контролю.

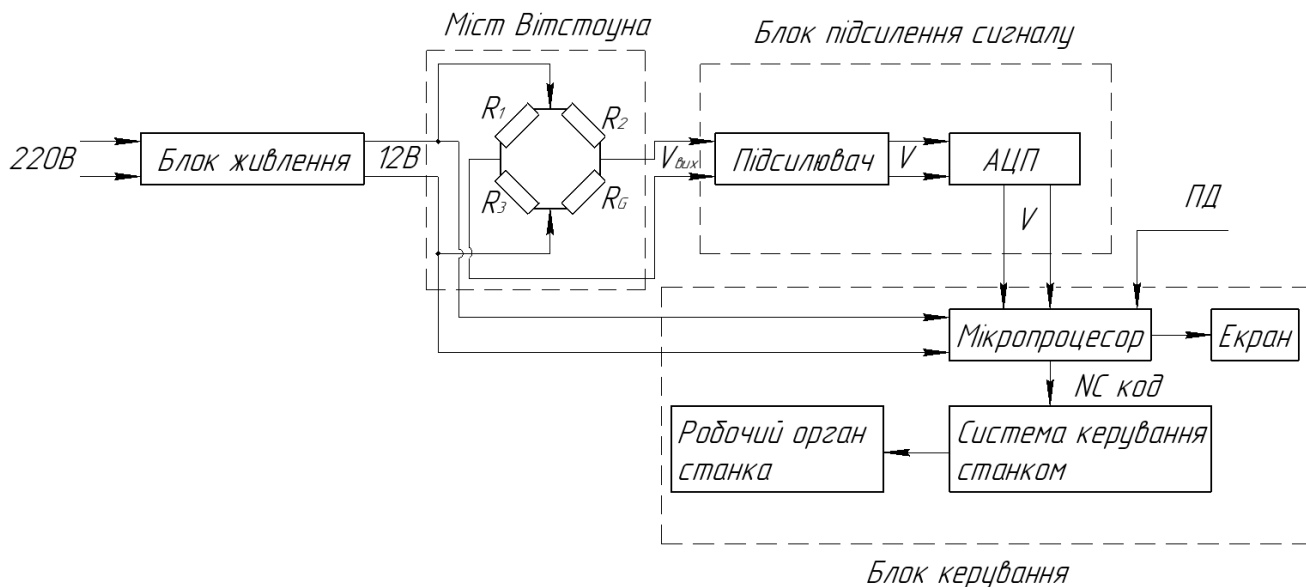


Рисунок 3.7. Функціональна схема системи контролю.

В наступних пунктах буде наведено параметри вище використуваних частин приладу, або ті деталі які будуть використувуватись в системі контролю.

3.2.2 Геометричні параметри тензодатчика.

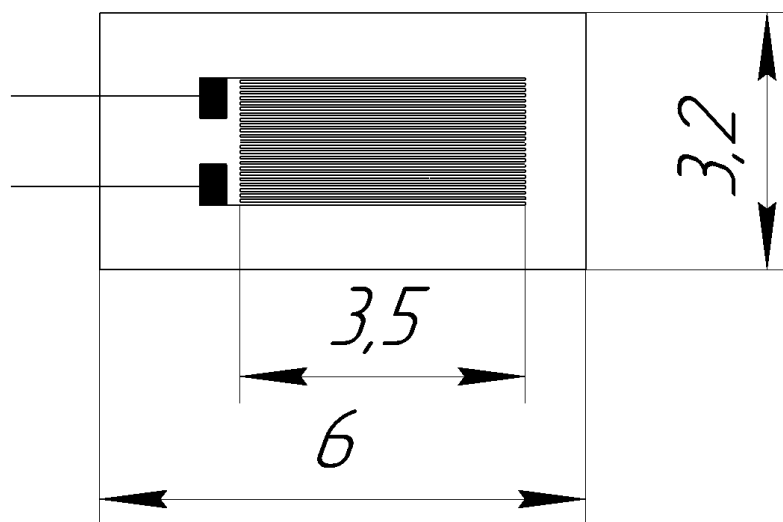


Рисунок 3.8. Геометричні параметри тензодатчика.

В даній системі контролю буде використаний тензодатчик зображений на рис. 3.8. Даний датчик достатньо малого розміру і підходить для поставленої задачі. Загальна довжина тензочутливого дроту становить 80 мм. Матеріал дроту

манганін, а саме МНМцЗ. Головною перевагою високий супротив зміни опору від температури.

3.2.3 Параметри мосту Вітстоуна.

На основі розрахункових формул наведених в пункті 2.1.2 Проведено розрахунок оптимального значення опору на резисторах мосту Вітстоуна [10]. На рис. 3.9 наведено розраховані параметри.

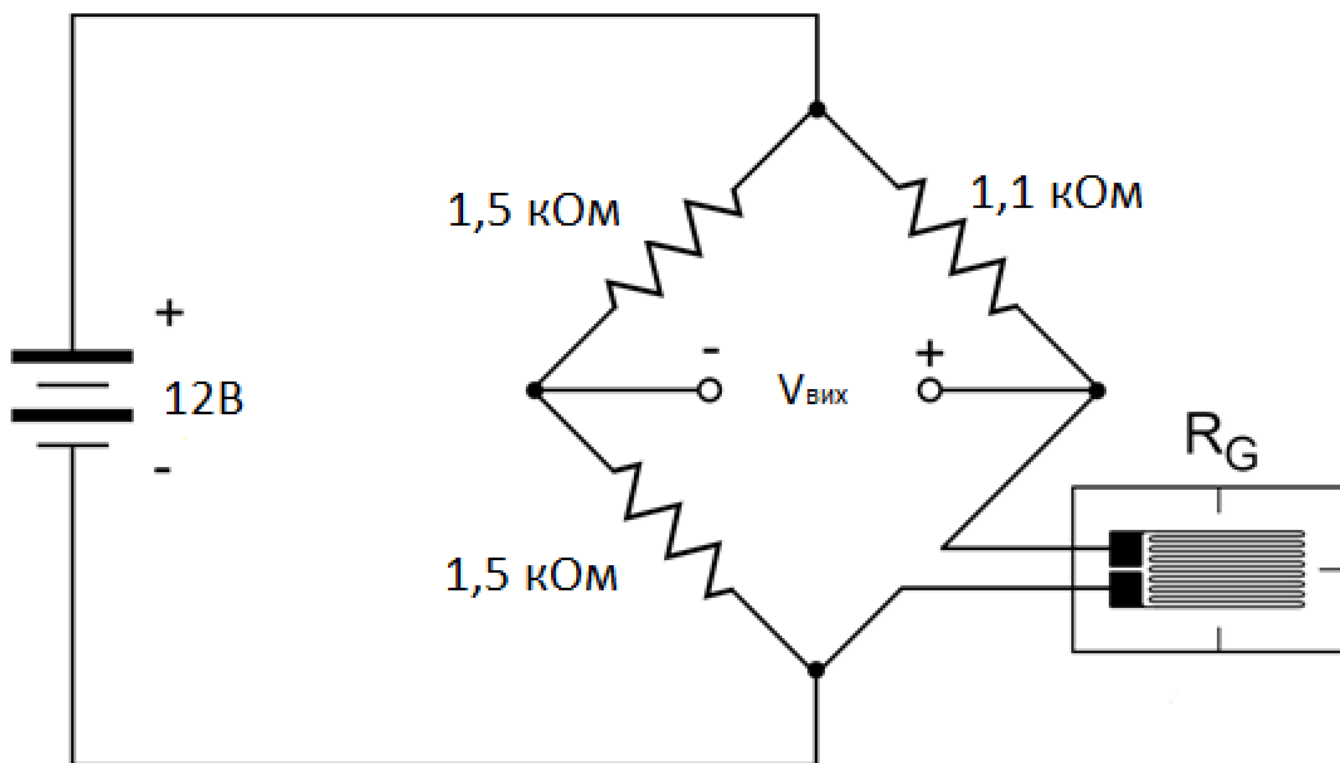


Рисунок 3.9. Характеристики мосту Вітстоуна на якому $R_1=1.5$ кОм, $R_2=1.1$ кОм, $R_3=1.5$ кОм, $V_{вих}=12$ В.

3.2.4 Параметри підсилювача

Так як вихідна напруга занадто слабка для зчитування МП, то необхідно підсилити напругу. Для цього використаєм простий транзисторний підсилювач (рис.3.10). Зображені на рисунку резистори і конденсатор мають параметри: $R_1=$

100 кОм, $R_2=5,6$ кОм, $R_3=20$ кОм, $C_1= 1,5$ мкФ. Транзистор моделі КТ 645. Цей підсилювач дозволить підсилити сигнал в 10 разів, чого достатньо для стабільної роботи датчика.

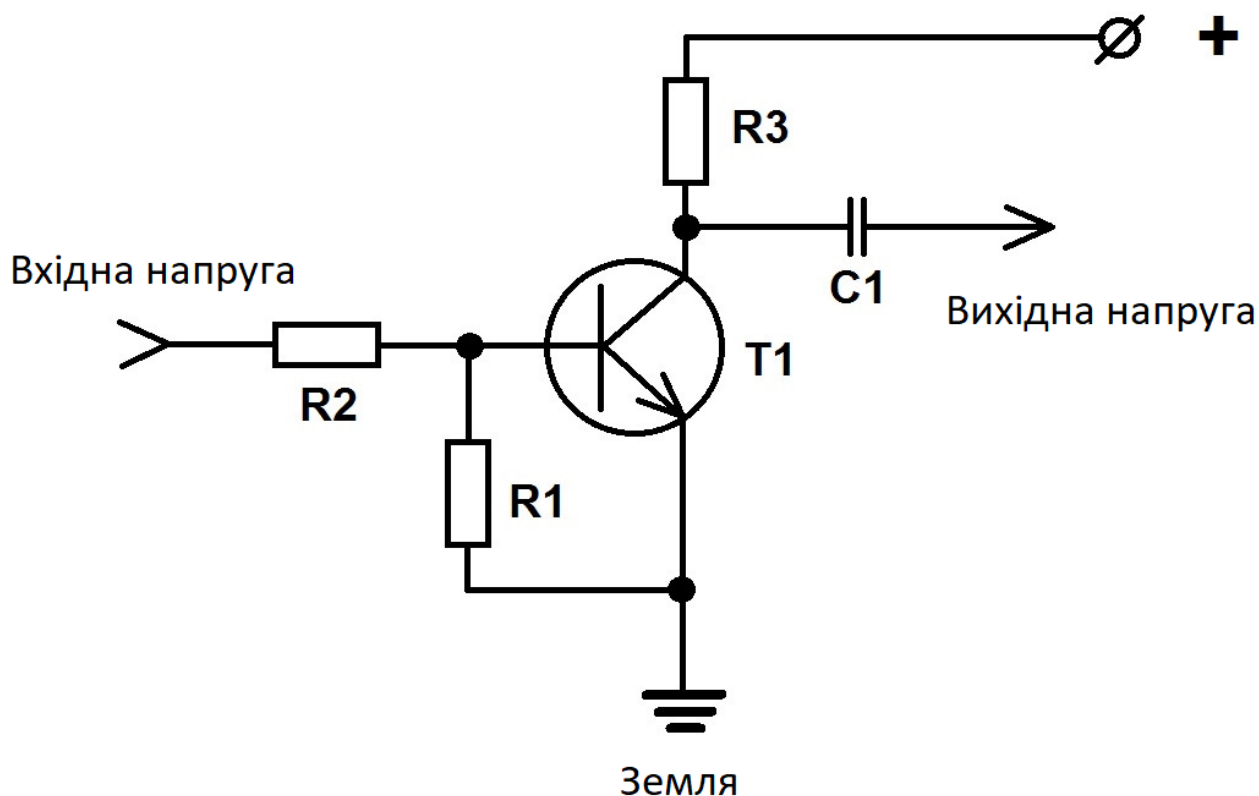


Рисунок 3.10. Схема підсилювача

3.2.5 Вибір аналого-цифрового перетворювача.

Мікросхема Attiny 13 є 8 розрядним мікроконтролером послідовного наближення з низькою споживаною потужністю. ІС може працювати як в режимі АЦП, так і в режимі ЦАП. Вихідні каскади мають три логічних стани. При роботі в режимі АЦП передбачена можливість організації синхронної і циклічної роботи, довільного зменшення числа вихідних розрядів і передачі даних в послідовній формі. Необхідна потужність мікросхеми 5 Вт[14].

Використання АЦП дозволить підвищити точність результатів вимірювання, а також необхідне для роботи МП.

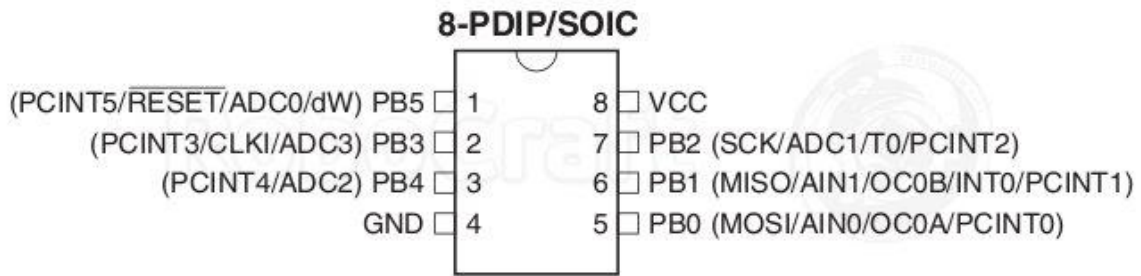


Рисунок 3.11. Аналогово-цифровий перетворювач Attiny 13

3.2.6 Вибір мікропроцесора

Тензометрі буде використано мікроконтролер MSP430F1101 з типом ядра MSP430 в корпусі типу PQFP-64. Даний МП дозволить одночасно виводити данні на індикатор і провидити обробку даних із подальшим програмування системи контролю [14].

Характеристики МП:

- Роздільність 16 bit;
- Живлення 8-12 В;
- Частота 8 МГц;
- Робочі температури -40 - +85 °С;
- Струм 4 DC;
- Пам'ять 512 RAM
- 20 виходи.

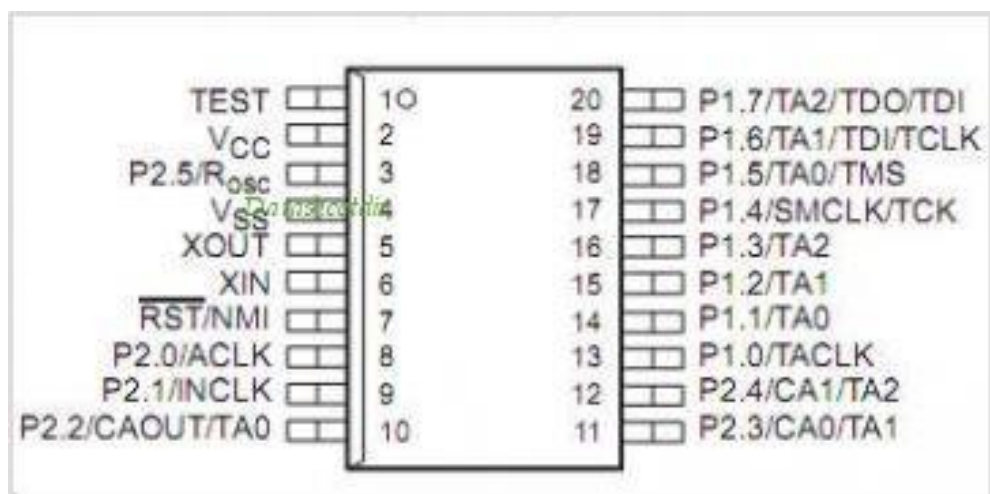


Рис. 3.12 Мікропроцесор MSP430F1101

3.2.7 Електрична схема в CAD PROTEUS

Розрахуємо значення напруги яке повинно бути на виході при силі затиску 3940Н за формулою 2.35 і використовуючи параметри що були використані в таблицях 3 і 5, і коефіцієнт розрахований в пункті 3.1.1 [14].

$$V_{\text{вих}} = 3940 \left(\frac{2}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 20} + \frac{4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 40} \right) \frac{4 \cdot 12,5 \cdot 12 \cdot 87}{2 \cdot 2 \cdot 12,56} 0,6942 = 0.3805$$

Перевіримо ці дані в ISIS Proteus (рис 3.13).

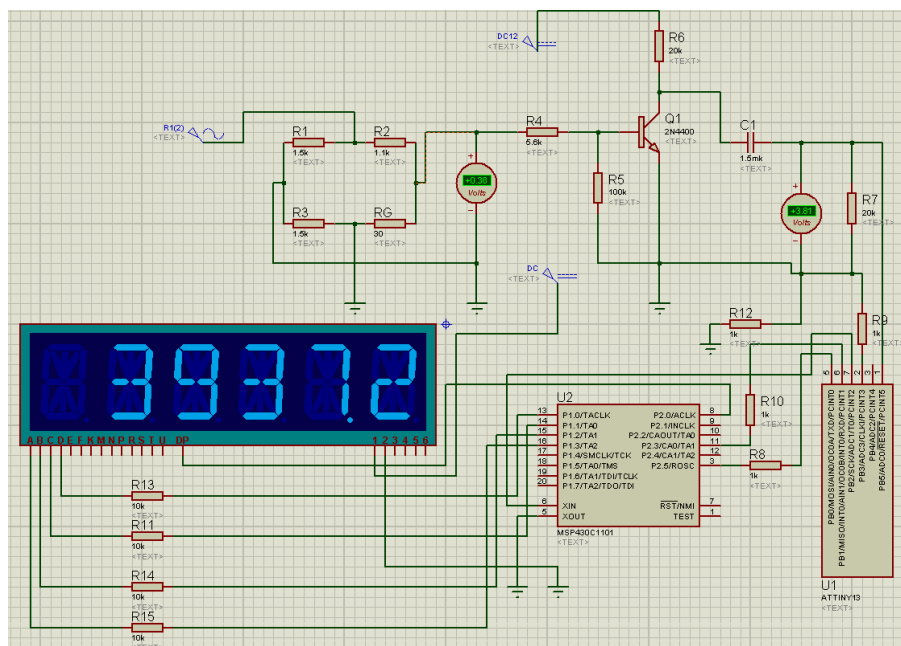


Рисунок 3.13. Схема в PROTEUS.

Всі розрахункові дані зійшлись із симуляцією в Proteus. Напряга на виході мосту Вітстоуна відповідає напрузі на симуляції. Також з невеликою похибкою значення сили затиску відповідає значенню на виході МП. Отже всі розрахунки було проведено правильно і систему можна вважати вірною.

Висновки до розділу 3

Результатом роботи над розділом 3 є автоматизована системи контролю якості і складання тензометричним методом. Дана система дозволить проводити контроль болтових з'єднань за рахунок виміру деформації в складальних

одиницях. Перевагою даного методу контролю є можливість отримувати результати в реальному часі, в автоматизованому режимі під час складання. Загалом впровадження даної системи контролю підвищить ефективність і надійність функціонування виробничих систем.

В розділі 2 було виведено аналітичну формулу залежності сили затиску від показника вихідної напруги на мосту Вітстоуна. Але ця формула відображала залежність для деформацій лише на нульовій відстані від місця затиску. Оскільки габарити датчика не дозволяють проводити виміри на нульовій або близькій до нуля відстані, то було введено поправочний коефіцієнт L . Було визначено значення коефіцієнту за допомогою симуляції в САЕ Abaqus.

Після завершення експериментальної частини дослідження на базі математичної моделі, було виконано розрахунки для складання болтового з'єднання М4, проведено симуляцію і порівняно результати. В ході порівняння результатів симуляції і розрахунків, було визначено, що в результаті на силах затиску, що рекомендовані згідно ГОСТ 52643-2006 різниця несуттєва. Різниця на рівні сил затиску в 3-4 рази вищі за рекомендовані. Наведена точність повністю задовольняє потреби системи контролю.

Після підтвердження дієвості математичної моделі було розроблено схему приладу структурну і функціональну схеми приладу. На основі цих схем в подальшому було обрано складові приладу.

На основі параметрів в мосту Вітстоуна і тензодатчика, було обрано оптимальний підсилювач сигналу. Підсилення сигналу в 10 разів дозволить сприймати інформацію на АЦП і МП. АЦП необхідне для обробки сигналу, щоб його міг без похибок обробляти МП.

На основі функціональної схеми і обраних частин системи було розроблено схему в САЕ Proteus.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ: MANUFACTURING QUALITY INC.

Розробка стартап-проекту- це маркетингове дослідження, що проводиться молодією компанією, з метою переконання інвесторів в забезпеченні ресурсами нову інноваційну ідею. Саме тому правильна розробка проекту є запорукою майбутнього успіху молодією компанії і її ідеї. Також однією із задач є аналіз ринку і вивчення продукції конкурентів, що дозволить молодій компанії визначитись із подальшим напрямком розробки [15].

В рамках роботи над магістерською дисертацією поставлено задачу виконання першого етапу розробки стартап-проекту – маркетингового аналізу.

4.1 Опис ідеї проекту

Ідея що запропонована і описана в попередніх розділах даної магістерської дисертації, саме «Автоматизована система контролю якості і складання тензометричним методом». Для початку потрібно описати ідею проекту, галузі та напрямки застосування і переваги якими зможуть використовувати потенціальні користувачі товару (Табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартапу [15]

Зміст ідеї проекту	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Автоматизована система контролю якості і складання тензометричним методом	Серійне приладо- і машинобудування	контроль якості складання в реальному часі, із отриманням зворотного зв'язку.
	Лабораторні дослідження	можливість проводити широкого спектру дослідження дослідних зразків
	Приладо- і машинобудівні підприємства із сервісу і ремонту	можливість точного визначення стану складальних одиниць без пошкодження

Отже. Ідеєю стартап-проекту є виконання такої автоматизованої системи контролю, яка буде використовуватись в сфері серійного приладо і машинобудування, сфері лабораторних досліджень і сфері ремонту і сервісу.

Основними конкурентами в даній галузі є іноземні компанії, зокрема Gefran (Італія), Balluff (Швейцарія), Autonics (Південна Корея). Ці компанії займаються автоматизацією виробництва, в тому числі контроль тензометричним методом.

Надалі потрібно провести аналіз технічних і економічних переваг запропонованої ідеї, продуктами які вже виробляються цими компаніями. В табл. 4.2 наводиться результат аналізу показників запропонованої ідеї і показників конкурентів.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких і нейтральних характеристик проекту [15]

№	Техніко економічні показники	Потенційні товари або концепції конкурентів				слабка сторона	нейтральна сторона	сильна сторона
		Мій проект	Gefran	Balluff	Autonics			
1	Економічність (ціна)	низька	висока	висока	Висока			X
2	Естетичні (габарити)	малі	малі	малі	Малі		X	
3	Екологічні (наявність шкідливих домішок)	не містить	не містить	не містить	не містить		X	
4	Технічні (вихідний сигнал)	цифровий	аналоговий	аналогово-цифровий	аналоговий			X
5	Безпечність	безпечний	безпечний	безпечний	безпечний		X	
Обрана технологія: автоматизована система контролю тензометричним методом.								

На основі проведеного аналізу можна зробити висновки, що запропонований проект не уступає продуктам основних конкурентів, а також має переваги над ними. В порівнянні з товарами конкурентів мій продукт має суттєво нижчу ціну без втрати якості, що робить продукт більш привабливим для споживачів. Даний продукт має цифровий вихідний сигнал, що підвищує точність розрахунків та дозволяє отримувати данні із датчиків одразу на систему контролю без додаткових перетворювачів. Отже, запропонована система є більш

точною і надійною в порівнянні з товарами конкурентів. Так як і в конкурентів при виготовленні даної системи шкідливі домішки не використовуються, тому він не уступає по параметру безпеки аналогам[15].

Розробимо морфологічну карту (табл.4.3). Для цього необхідно визначити функції, що повинні виконуватись обраними варіантом:

- контроль деформацій з точністю 0,08;
- точний вихідний сигнал;
- стабільність роботи, незалежно від джерела живлення;
- підсилення слабкого вихідного сигналу;
- надійний контроль сили затиск в реальному часі.

Таблиця 4.3 Морфологічна карта [15]

Основні параметри	Проміжні рішення				
	1-ше	2-ге	3-тє	4-ге	5-ге
Контроль деформацій	Тензо-перетворювач	П'єзо-перетворювач	Феромагнітний перетворювач	інше	
Вихідний сигнал	Аналоговий	Цифровий	Аналогово-цифровий	інше	
Джерело живлення	Мережа	Акумулятор	інше		
Контроль сили затиску	Тензодатчик	Лазерний датчик	Індикаторний	Вимірювальний	інше
Підсилення сигналу	Транзисторне	Аналогове	Інтегральна схема	інше	

4.2 Технологічний аудит проекту

Є необхідність провести аудит технології яку будемо використовувати при реалізації стартап-проекту. Проведемо аналіз використовуючи таблицю здійсненності ідеї проекту (табл. 14).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових таблиці 4.4:

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту [15]

№	Ідея проекту	Технологія реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Дротяний тензопретворювач	Дані отримуються за рахунок зміни опору дроту при деформації деталі	+	+
2	П'єзоелектричний сенсор деформації	Дані отримуються за рахунок різниці потенціалів, що виникає на п'єзоелементі при деформації.	+	-
3	Приварювальний поверхневий сенсор деформації	Дані надходять за використанням волоконно-оптичних датчиків.	+	-
4	Ультразвуковий перетворювач	Дані отримуються за рахунок різниці часу проходження звукової хвилі в матеріалах з різним механічним напруженням	+	-
5	Оптичний датчик	Дані надходять за рахунок різниці швидкості проходження світла по оптоволоконну при деформації	+	-
Обрана технологія реалізації проекту: дротяний тензопретворювач				

Отже, можна зробити висновок що можливість реалізації проекту існує, але для цього обхідне фінансування яке на даному етапі розробки відсутнє. За результатами аудиту визначено, що доцільним буде обрати технологію «Дротяний тензопретворювач». Ця технологія найбільше підходить, оскільки всі компоненти, які необхідні для роботи, значно дешевші і більш доступні. Також сама технологію легше інтегрувати в запропоновану систему автоматичного контролю [15].

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для розробки планів розвитку проекту потрібно провести попередню характеристику ринку запропонованого стартап-проекту (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту [15]

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн./ум.од.	8500
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу	висока конкуренція на міжнародному ринку, необхідні суттєвий початковий капітал
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	38

На основі даних що наведені в табл. 14 видно, що динаміка ринку зростає і середня норма рентабельності в галузі є вищою за банківський відсоток, тому вкладення в запропонований проект з ринкової точки зору є розумною інвестицією. Також важливим фактором є невелика кількість компаній конкурентів- таких компаній є не більше п'яти. Зважаючи на те, що всі конкуренти- це іноземні компанії, то можна прийти до висновку, що в нашій країні конкуренція невелика. Томі можна зробити попередні висновки про привабливість входження у ринок.

Далі визначено типи клієнтів які можуть використовувати мій запропонований продукт, їх характеристики, та сформовано приблизний список вимог до товару (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту [15]

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Автоматизована система контролю затиску болтових з'єднань конструкцій приладів	-Приладо- і машинобудівні серійні виробництва; -науково-дослідні інститути; -компанії з ремонту і сервісу.	- Серійні виробництва будуть використовувати для технічного контролю при виробництві; - НДІ будуть використовувати датчик для дослідження різноманітних об'єктів ; -невеликі компанії із сервісу і ремонту будуть використовувати систему для аналізу отриманих в ремонт приладів і машин.	-точність вимірювання; -простота використання; - універсальність

Отже потенційними клієнтами для придбання продукту будуть серійні приладо- і машинобудівні виробництва, науково дослідні інститути та компанії із сервісу і ремонту приладів і машин. Саме ці споживачі можуть використовувати автоматизовану систему контролю для потреб виробництва або досліджень. При всіх можливих застосуваннях споживач буде отримувати високу точність отриманих результатів. Також важливою перевагою є те що прилад якщо не використовується для сили затиску болтових з'єднань, то може працювати як звичайний тензометр для виміру деформацій. Це дозволить використовувати систему в широкому спектрі досліджень поведінки деталей [15].

На наступному етапі необхідно провести аналіз ринкового середовища, визначити фактор загроз (табл. 3.7) та фактори можливостей (табл. 3.8)

Таблиця 3.7 Фактори загроз [15]

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкурентоспроможність	Існують великі іноземні компанії, які вже закріпились на ринку	Закріплення на вітчизняному ринку за рахунок значно меншої ціни; Вигідна пропозиція для менших компаній за рахунок нижчої ціни.
2	Невелика кількість споживачів	Специфіка товару не дозволяє охопити багато сегментів ринку	Уніфікація приладу
3	Зміна рівня цін	Нестабільність курсу валют	Надання додаткових послуг з налагодження і установки системи.
4	Відсутність стартового капіталу	Деталі та компоненти системи необхідно закупати одразу тому для розробки та виготовлення товару необхідний значний стартовий капітал	Пошук додаткових інвестицій, банківський кредит.
5	Нестабільна політична обстановка	Через нестабільну політичну обстановку є загроза закриття каналу постачання необхідних компонентів з закордону	Пошук інших постачальників, в тому числі вітчизняних

З таблиці видно, що для впровадження запропонованого проекту на ринок є ряд перешкод. Через наявність великих закордонних фірм конкурентів проблемно вийти на міжнародному ринку, тому спочатку необхідно стати лідером на вітчизняному ринку. Оскільки даний товар не являє собою товар широкого вжитку є необхідність підвищити універсальність, для розширення сегменту споживачів. Оскільки закупівельна вартість компонентів буде зростати із ростом курсу валют, то і вартість системи також буде рости. для цього необхідно провести заходи, які дозволять зберегти клієнтів незважаючи на ріст цін, а також розширити спектр послуг що надаються клієнтам.. Це може бути надання послуг з сервісного обслуговування, наладки та установки, Через нестабільну ситуацію в середині країни виникає потенційна проблема закупівлі деталей закордоном, тому при проектуванні треба використовувати максимальну

кількість вітчизняних деталей і компонентів системи. Проте можна втратити точність та надійність роботи приладу[15].

Таблиця 3.8 Фактори можливостей [15]

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Технологічне забезпечення	Оптимізоване виробництво	Виготовляються деталі нескладної конфігурації на сучасному обладнанні
2	Сервісна підтримка	Високий рівень інформаційних технологій та кваліфікованих робітників	Надання послуг з наладки та установки для клієнтів
3	Робота за різних умов	Можливість роботи приладу в різних кліматичних умовах	Проектування системи з урахуванням факторів середовища
4	Економічний	Підтримка від державного виробника	Отримання держзамовлень та виграш тендерів
5	Новизна	Виникнення нових технологій	Безперервний моніторинг ринку та потреб споживачів, впровадження нових ідей

Хоча й існує ряд загроз що можуть перешкоджати впровадженню проекту на ринок, також є ряд можливостей, правильно скориставшись якими можна успішно вийти на ринок. Правильно налагоджене виробництво дозволить вчасно та без перебоїв доставляти товари клієнтам, а служба сервісної підтримки дозволить заробити додаткові кошти на наладці виробництва під розроблену систему контролю, а також надані гарантії підвищать привабливість запропонованого продукту і дозволить створити довгострокові відносини з клієнтами.. Значною перевагою є те, що такий прилад може працювати в різних кліматичних умовах та за різних умовах експлуатації, тому потрібно звернути увагу на це при проектуванні. Існує ряд державних компаній що можуть захотіти використовувати систему автоматизованого контролю, а так як не існує вітчизняних аналогів то держава підтримка є вірогідною[15].

Проведемо аналіз пропозиції, де визначаються загальні риси конкуренції. В табл. 3.9 представлений ступеневий аналіз конкуренції на ринку, в якому визначено особливості конкурентного середовища та їх вплив на діяльність підприємства.

Таблиця 3.9 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку [15]

№	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1	Тип конкуренції: монополістична	різноманітність послуг; - нецінові чинники: обслуговування, власний сайт, реклама, можливість оплати частинами, тощо; - легкий вхід та вихід фірми на ринок.	Виробляти уніфіковані системи; Проводити якісне обслуговування та забезпечення клієнтів
2	Рівень конкурентної боротьби: глобальний	Такий прилад є необхідним в будь-якій розвиненій країні світу, а особливо в регіонах з розвинутою промисловістю.	Виконання умов виробництва за міжнародними сертифікатами; проведення реклами на міжнародному рівні
3	За галузевою ознакою: галузева	Даний прилад застосовується лише в галузі вимірювальної техніки	Необхідно досягти оптимального співвідношення ціна/якість
4	Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду, а саме системами автоматизованого контролю	Підвищення точності вимірювального приладу та зниження ціни
5	За характером конкурентних переваг: нецінова	Захоплення ринку за рахунок випуску нових товарів, відмінних від товарів конкурентів в даній галузі	Постійна оптимізація та впровадження новітніх організаційних систем, що підвищить продуктивність
6	За інтенсивністю: марочна	Роль торгівельної марки важлива, йде боротьба за бренд	Проведення рекламної кампанії, розвиток бренду.

Під час проведення ступеневого аналізу конкуренції на ринку було визначено, що існує монополістична конкуренція, оскільки ціна може зростати без угод з клієнтами, проте таке зростання може бути збитковим оскільки гарантовані довгострокові угоди можуть виявитись збитковими. Глобальний рівень конкурентної боротьби обумовлюється тим, що необхідність впровадження запропонованої системи є на більшості великих підприємствах, особливо зараз, коли автоматизація є запорукою стабільного розвитку виробництва. Оскільки переважає товарно-видова конкуренція, тобто

конкуренція між автоматизованими системами контролю, то необхідно підвищувати точність та якість приладу, не змінюючи ціни для надійного закріплення на ринку в галузі вимірювальної техніки. Існує необхідність розвитку власного бренду, адже хороша репутація є запорукою надійного розвитку. Якщо торгова марка буде асоціюватись з надійністю і точністю то закріплення на міжнародному ринку буде простіше.

Після аналізу конкуренції проведено більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за М. Портером (табл. 3.10).

Таблиця 3.10 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером [15]

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Gefran, Balluf, Autonics	Наявність конкурентів, які давно вже на ринку	Вихід на міжнародний ринок та співпраця з країнами-лідерами	Пошук споживачем якісної продукції; пошук за доступним рівнем цін порівняно з власними прибутками	Відомі закордонні фірми та перевірений товар
Висновки	середня інтенсивність конкурентної боротьби	- є можливість виходу на ринок -є потенційні конкуренти - строки виходу їх на ринок 1 рік	Постачальники диктують умови роботи на ринку.	Клієнти диктують умови на ринку. Необхідність привабливого співвідношення ціна/якість	Необхідність впровадження нових технологій та ідей, порівняно з конкурентами

За аналізом конкуренції в галузі можна зробити висновок, що головними силами впливу є постачальники та споживачі. Постачальники впливають на такі фактори, як ціна товару, швидкість товару, об'єми поставок. Споживач визначає ціну на товар, адже він порівнює товар не тільки з продуктами-аналогами, але й вирішує згідно з своїми можливостями. Більш того для споживачів є важливим відношення ціна/якість. Також є вже встановленим рівень ціни, якості і точності,

разом з традиційними для галузями практиками ведення бізнесу і клієнти звикли до цих умов. Тому для досягнення конкурентоспроможності необхідно весь час оновлювати продукцію, використовувати нові технології, та пропонувати нові ідеї та рішення для ринку. Згідно проведеного аналізу проект має сильні сторони, такі як низька ціна за високої якості, використання вітчизняних складових, переваги за рахунок наявності цифрового виходу та можливості використання в різних умовах середовища. Отже з огляду на конкурентну ситуацію можна зробити висновок про те, що є можливість конкурувати на ринку[15].

В табл. 3.11 визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності, сформований на результатах попередніх аналізів.

Таблиця 3.11 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності [15]

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Конкурентність	Відсутність конкуренції на місцевому ринку.
2	Економічний	Невисока ціна системи при високій якості
3	Технічний	Цифровий вихідний сигнал
4	Технологічний	Достатнє технологічне забезпечення для виготовлення на місцевому виробництві
5	Сервісне забезпечення	Надання широкого пакету послуг зокрема наладки та установки системи.
6	Умови роботи	Незалежність роботи приладу від кліматичних умов
7	Універсальність	Можливість контролю різних показників складальних одиниць

В табл. 3.12 представлено порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту на основі даних, представлених в табл. 21.

Таблиця 3.12 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту [15]

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з моїм проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Конкурентність	15		X					

2	Економічний	17		X					
3	Технічний	10			X				
4	Технологічний	9				X			
5	Сервісне забезпечення	14		X					
6	Умови роботи	10			X				
7	Універсальність	9				X			

Порівняльний аналіз показав, що запропонований товар може з відносною легкістю виходити на вітчизняний ринок через відсутність місцевих конкурентів, що є головною перевагою товару. Також у товару нижча ціна, краща технологія передачі даних– цифрова і можливість якісного і доступного сервісного обслуговування. Отже проект можна вважати конкурентоспроможним на ринку[15].

Останнім етапом ринкового аналізу можливості впровадження стартап-проекту є складання SWOT-аналізу. SWOT-аналіз- це матриця що об'єднує дані з попередніх етапів, а саме перелік сильних і слабких сторін та загрози і можливості.

В табл. 3.13 представлений SWOT-аналіз стартап-проекту.

Таблиця 3.13 SWOT аналіз стартап-проекту [15]

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - відсутність вітчизняних конкурентів; - низька ціна; - висока якість; - наявність вихідного цифрового сигналу; - універсальність; - умови та простота використання 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> -конкуренція з великими іноземними брендами; -споживач мало, що знає про продукт; -вибір ціни залежить від можливостей споживача; -необхідність закупати складові за кордоном;
---	--

<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> -оптимізоване виробництво; -сервісна підтримка; -робота за різних умов; -підтримка від державного виробника; -новизна 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> -існують великі іноземні компанії, які вже закріпились на ринку; -специфіка товару не дозволяє охопити багато сегментів ринку; -зміна рівня цін; -відсутність стартового капіталу; -нестабільна політична обстановка
--	--

Ринкові загрози та можливості є передбачуваними результатами впливу факторів, що визначено на попередніх етапах, але наявність сильних сторін та незначущість слабких сторін може значно змінити ймовірність виконання даного прогнозу [15].

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок. Визначено ймовірність отримання ресурсів та строки реалізації по кожному з пунктів (табл. п) [15].

Таблиця п. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту [15]

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Виготовлення механічної та електричної частин системи з вітчизняними складовими і закупівля мікропроцесорів за кордону.	висока	6 місяців
2	Виготовлення механічної та електричної частин системи з вітчизняними складовими і розробка власних мікропроцесорів.	середня	32 місяці

Обрану першу альтернативу ринкового впровадження, а саме виготовлення механічної та електричної частин системи з вітчизняними складовими і закупівля МП за кордону. Обрана альтернатива краща, оскільки розробка власних МП дуже дорогий і трудомісткий процес, що буде коштувати значну частину коштів. Оптимальним буде закупка МП за кордону.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розробку ринкової стратегії необхідно розпочати з визначення стратегії охоплення ринку. Для цього визначимо цільову аудиторію потенційних споживачів (табл. 3.15).

Таблиця 3.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів [15]

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні підприємства	так	високий	відсутня серед вітчизняних виробників	середня
2	Державні підприємства	так	високий	відсутня серед вітчизняних виробників	середня
3	Науково-дослідні інститути	так	середній	відсутня серед вітчизняних виробників	середня
Цільовими групами було обрано державні і приватні підприємства					

В результаті в якості цільової групи були обрані приватні та державні підприємства, в яких є необхідність використовувати даний продукт. Обрано саме ці підприємства через те, що вони можуть запропонувати більший попит і стабільний ріст доходів. Було обрано стратегію диференційованого маркетингу, оскільки проект є товаром в декількох сегментах, необхідно розробляти свою ринкову стратегію на кожному.

Далі сформовано базову стратегію розвитку в обраних сегментах ринку (табл. 3.16).

Таблиця 3.16. Визначення базової стратегії розвитку [15]

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Виготовлення механічної та електричної частин системи з вітчизняними	Вітчизняний ринок за рахунок відсутності	- ціна приладу не більша за ціну конкурентів;	Стратегія спеціалізації

складовими і закупівля мікропроцесорів закордону.	вітчизняних конкурентів	- якість та точність приладу не поступається конкурентам.	
---	-------------------------	---	--

Було обрано стратегію спеціалізації, тому що дана стратегія передбачає сконцентрованість на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити весь ринок. Основною задачею стратегії спеціалізації є задоволення потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Дана стратегія була обрана за рахунок того, що немає великого обороту продукції на ринку через малу кількість споживачів та необхідність застосування приладу лише в галузі вимірювальної техніки [15].

Наступним кроком буде визначення базової стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.17).

Таблиця 3.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки [15]

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурентів, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
так- на вітчизняному ринку, ні закордоном	пошук нових споживачів	буде скопійовано деякі характеристики, а саме габарити, принцип роботи	Стратегія наслідування лідеру

Базовою стратегією конкурентної поведінки було обрано стратегію наслідування лідера. Ця стратегія є доцільною оскільки проект не має ніяких переваг по кількості клієнтів, або капіталу порівняно з конкурентами. Також необхідно зберегти частину капіталу для розширення спектру товарів і послуг. Обрана стратегія дозволить повноцінно використати перевагу відсутності конкуренції на місцевому ринкові [15].

Обравши базову стратегію, стратегію конкурентної поведінки і врахувавши вимоги споживачів до товару і виробника, розроблено стратегію позиціонування (табл. 3.18), яка полягає у формуванні ринкової позиції.

Таблиця 3.18. Визначення стратегії позиціонування [15]

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
- точність вимірювання; - якість; - доступна ціна; - універсальність	Стратегія спеціалізації	оптимальне співвідношення ціна/якість	надійність, точність, доступність

Базовою стратегією розвитку було обрано стратегію спеціалізації. Данна стратегія дозволить реалізувати, такі потреби споживачів як точність вимірювання, якість доступна ціна, універсальність. Проект буде мати конкурентну перевагу за рахунок оптимального співвідношення ціна/якість, а також за рахунок відсутності прямих конкурентів на вітчизняному ринку. Товар позиціонує себе як високо точний, надійний і доступний.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Підсумуємо результати попередніх аналізів, зокрема аналізу конкурентоспроможності. Ключові переваги концепції потенційного товару наведено в табл. 3.19.

Таблиця 3.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару [15]

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Точність	Точність вимірювання в межах 0,08	Підвищена точність за рахунок більшої кількості витків перетворювача
2	Низька ціна	Оптимальне співвідношення ціна/якість	Зниження ціни за рахунок використання вітчизняного обладнання та державної підтримки
3	Метод управління якістю	Вибрано метод діаграм	Можливе зміна/доповнення методу в разі необхідності

За рахунок перелічених потреб і переваг над конкурентами, гарантовано високий рівень конкурентоспроможності. Буде розроблено маркетингову програму старту проекту враховуючи ключові переваги товару і стратегію спеціалізації, яка дозволяє задовольняти потреби сегментів, які обрані за цільові [15].

Тепер розробляється трирівнева маркетингова модель товару (табл. 3.20). Уточняється ідея продукту, властивості, особливості його подання.

Таблиця 3.20. Опис трьох рівнів моделі товару [15]

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована система контролю якості і складання тензOMETричним методом		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/Характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е
	1. Якість	М	Тх
	2. Точність	М	Тх
	3. Маса	Нм	Е
	4. Габарити	Нм	Е
	5. Цифровий вигідний сигнал	Нм	Тх
	7. Зручність використання	М	Е
	8. Низька ціна	Нм	Вр
	Якість: нормативи, міжнародні стандарти.		
Пакування: Картонна коробка, що містить датчики, флешку з програмним забезпеченням та інструкцію			
Марка: Manufacturing Quality Inc.			
III. Товар з підкріпленням	До продажу: гарантійні умови, встановлення		
	Після продажу: сервісне обслуговування, доставка та наладка		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентування			

На даному етапі було визначено основні властивості та характеристики товару у реальному виконанні, спосіб забезпечення якості визначений нормативами і міжнародними стандартами. Визначено спосіб пакування і його складові, а також марку товару. Визначені супутні товари і послуги, що можуть іти з товаром. Сервісні послуги, доставка та наладка дозволять зробити продукт

більш привабливим, а також забезпечать додатковий дохід з товару окрім продажу. Споживач має змогу отримати гарантію якості, за умови використання сервісної служби. Це дуже вигідно оскільки це дозволяє сформувати довгострокові відносини з клієнтом [15].

Основна ідея проекту вже захищена патентами, але потрібно продовжити патентування всіх напрацювань проекту для повного захисту, і можливості заробітку з продажу права використання технології.

Також важливою частиною розробки маркетингової програми є визначення витрат на створення стартап-проекта. Загальні початкові витрати вказані в таблиці 3.21.

Таблиця 3.21 Загальні початкові витрати проекту [15]

№	Стаття витрат	Обсяги витрат
1	Проведення НДДКР	12 тис. грн.
2	Розробка проектних матеріалів і ТЕО	15 тис. грн.
3	Робоче проектування і прив'язка проекту	40 тис. грн.
4	Витрати на придбання й оренду земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	25 тис. грн.
5	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	300 тис. грн.
6	Витрати на приймально-здавальні випробування	50 тис. грн.
7	Витрати на пусконаладжувальні роботи	70 тис. грн.
8	Комплексне освоєння проектних потужностей	30 тис. грн.
9	Витрати на придбання нематеріальних активів	60 тис. грн.
10	Одноразові виплати, зокрема гарантуючим і страховим організаціям	80 тис. грн.
11	Витрати на створення оборотного капіталу, необхідного для початку операційної діяльності (створення виробничих запасів, передоплата сировини, матеріалів і комплектуючих виробів, які мають бути поставлені на початку операційної діяльності)	260 тис. грн.

12	Оплата юридичних послуг	90 тис. грн.
13	Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	50 тис. грн.
14	Витрати, пов'язані з формуванням та розвитком команди	80 тис. грн.
15	Податкові платежі (земельний, комунальний та інші), здійснені до початку операційної діяльності	50 тис. грн.
Разом		1212 тис. грн.

Отже, загальні початкові витрати на створення стартап-проекту становить 1 мільйон 212 тис грн [15].

Визначимо верхню і нижню границю встановленої ціни на товар.

Діапазон встановлення цін на товар представлено в табл. 3.22.

Таблиця 3.22 Визначення меж встановлення ціни [15]

Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачі	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
80 тис. грн	80 тис. грн	500 тис. грн.	45-80 тис. грн.

Було проаналізовано рівень цін на товари аналоги та замітники, а також рівень цін на товари конкуренти. Ціна на товар не перевищує середню ціну на товари-аналоги і товари-замінники. Нижня границя ціни товару набагато нижча за середню ціну на товар, що потенціально дозволить продукту бути дуже привабливим на місцевому ринку. Точніше ціну на товар можна бути визначити при проведенні фінансово-економічного аналізу проекту [15].

Наступним кроком є визначення системи збуту, глибини каналу збуту . та вибір посередників.

Результати представлені в табл. 3.33.

Таблиця 3.33 Формування системи збуту [15]

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля товару в невеликій кількості, купівля сервісних пакетів.	Своєчасна доставка, виконання гарантій, доставка товару без пошкоджень	Канал нульового рівня	- торгівля через магазини; - торгівля через Інтернет.

Канал нульового збуту обраний, через специфічність товару, тому є необхідність самостійно продавати товар та шукати клієнтів. Торгівля через інтернет і фірмові магазини дозволить одразу консультувати клієнта, що забезпечить краще розуміння між клієнтом і виробником [15].

На основі попередньо обраних стратегій розроблено стратегію маркетингових комунікацій (табл. 3.24).

Таблиця 3.24 Концепція маркетингових комунікацій [15]

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Високі вимоги до якості та надійності товару.	-електронна пошта; -мобільний телефон; -промислові виставки; -інтернет ресурси.	Новітній спосіб контролю з високою надійністю результатів і легкою автоматизацією	Забезпечити асоціацію нашої компанії з якістю і помірною ціною.	Доступний та якісний продукт. Професійна сервісна підтримка

Основною задачею маркетингових комунікацій є задача запевнити споживача у необхідності використання даного приладу саме цього підприємства. Прилад позиціонує себе, як високоякісний, точний, надійний за ціною державного виробника. Оскільки в наш час дуже розвинуто інформаційні

технології, які дозволяють швидко отримувати та поширювати інформацію, то для просування товару на ринку буде застосовано такі технології як інтернет форуми, вебсайти, соціальні мережі, публікації у Інтернет виданнях(для донесення інформації до приватних підприємців). Не буде й нехтуватись паперовими носіями інформації, такими як технічні каталоги та брошури, якими будуть користуватися державні підприємства. Даний інформаційний матеріал можна побачити на технічних виставках, конференціях, в публікаціях наукових журналів [15].

Результатом даного етапу є ринкова програма, що дозволяє забезпечити в повній мірі потреби клієнтів, гарантувати вихід компанії на вітчизняний ринок, а також забезпечити надійну базу для виходу на міжнародний ринок.

Висновки до розділу 4

Набутком даного розділу є маркетинговий аналіз проекту: «Автоматизована система контролю якості і складання тензометричним методом». За результатами можна зробити висновки, що в даного проекту є всі шанси вийти на вітчизняний і міжнародний ринки з успіхом. Через високу ціну на закордонний вибір споживачів всередині країни майже гарантований.

Загальні показники ринку є досить оптимістичними. Динаміка роти вища за банківський відсоток на вкладення, а висока середня ціна на товар дозволить мати велику кількість коштів в обігу. Так як, інвестиція в даний проект є економічно обумовленою і досить вигідною, отримання стартового капіталу дозволить реалізувати поставлені задачі в повному обсязі.

Хоча і існують деякі загрози для проекту, такі як великі іноземні компанії, які вже закріпились на ринку, зміна рівня цін, нестабільна політична обстановка, розумна стратегія розвитку і планування з врахування цих загроз дозволить без додаткових проблем успішно вийти на ринок.

Із двох існуючих альтернативних ринкових поведінок, було обрано ту, яка дозволяє оптимально використовувати ресурси і з більшою вірогідністю

отримати кошти від інвесторів. Цей варіант ринкової поведінки це виготовлення механічної та електричної частин системи з вітчизняними складовими і закупівля МП закордону. Хоча і закупка МП несе з собою певні ризики, пов'язані з курсом валют і нестабільною політичною ситуацією, це ризик на який необхідно піти.

Важливою складовою проекту є створення надійного сервісного відділу із висококваліфікованими працівниками. Це дозволить Підтримувати наших клієнтів впродовж довгого часу і мати додатковий дохід.

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської дисертації було розроблено автоматизовану систему контролю якості складання тензометричним методом. Основною задачею даного методу є контроль сили затиску болтових з'єднань, на основі деформацій викликаних силою затиску. Даний метод дозволяє отримувати результати контролю, а саме силу затиску і деформацію, в реальному часі, що дозволяє легко інтегрувати дану систему в автоматизоване виробництво зі складання.

Для того щоб визначити значення на відстані необхідно провести експеримент з визначенням зміни деформації на відстані. В ході експерименту було перевірено значення для відстані 4мм від місця затиску. Це дозволило ввести коефіцієнт L , який дозволяє зробити поправку на відстань.

В ході експериментальної перевірки математичної моделі було використано програмне забезпечення САЕ Abaqus, що призначене для симуляції технологічного процесу складання та імітації реакції складальних одиниці на прикладену зовні силу. Обране програмне забезпечення дозволяє провести симуляцію поведінки деталей при різних навантаженнях.

За результатами симуляції зроблено висновок, що розроблена система контролю відповідає необхідній точності вимірювання. На основі розрахунків було спроектовано систему контролю.

Спроектовано структурну і функціональну схеми роботи системи. На основі цих схем розраховано параметри складових системи. На основі проведених розрахунків обрано компоненти системи. Перевірено дієвість схеми в програмному забезпеченні САЕ Proteus. Результати симуляції в Proteus, відповідають розрахунковим значенням сили затиску і електричної напруги, отже схему розроблено правильно.

На основі дипломної дисертації розроблено стартап—проект. В ході розробки проекту перевірено економічну доцільність, конкуренцію на ринку, визначено переваги і недоліки, проаналізовано ринок систем контролю, Було

вивчено переваги і недоліки. Зроблено висновки, що продукт конкурентоспроможний і має потенціал успішного виходу на ринок.

На основі дипломної дисертації було опубліковано, одну статтю і три заявки на корисну модель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Завражина Т.Г. Датчики: Учеб. Пособие. – Екатеринбург / Т.Г. Завражена – Рос. Гос. Проф., 2002. – 87с.
2. Миронов Э.Г. Методы и средства измерений. – Екатеринбург/ Э.Г. Миронов – ГОУ ВПО УНТУ-УПИ, 2009. – 463с.
3. Раннев Г.Г. Информационно-измерительная техника и электроника. – М.: «Академия», 2006. – 512с.
4. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
5. Основы электротензометрии. – В.А. Шушкевич. – Минск: «Вишэйш. школа», 1975. – 352с.
6. Агейкин, Д.И. Датчики контроля и регулирования / Д.И. Агейкин, Е.Н. Костина, Н.Н. Кузнецова. – М. : Машиностроение, 1965. – 928 с.
7. Васин Н.Н. Датчики автоматизированных величин: учеб. пособие / Н.Н. Васин. – Самара : РИП «Кредо», 1987. – 34 с.
8. Левшина, Е.С. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
9. Khan A. S. Strain measurements and stress analysis / A. S. Khan, X. Wang. – Pearson: Prentice Hall, 2001. – 272 с. – (Search Continuum Mechanics Website).
10. Герасимов В. Г. Электротехнический справочник. / Владимир Григорович Герасимов. – МОСКВА: ЭНЕРГИЯ, 1980. – 520 с. – (6).
11. Nearing J. Mathematical Tools for Physics / James Nearing. – New York: Dover Publications, 2010. – 496 с.
12. Ряховский О. А. Расчет деформаций деталей / О. А. Ряховский, В. С. Сыромятников. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 150 с.
13. Ashby M. Materials Selection in Mechanical Design / Mike Ashby. – Cambridge: Butterworth-Heinemann, 2010. – 640 с. – (4th edition).

14. Ларшин В.П. Интегрированные технологические системы в машиностроении / В.П. Ларшин // Тр. Одес. политехн. ун-та. - 1999. - Вып.3(9).
15. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
16. Адаптивная система управления / В.А. Остафьев, Г.С. Тымчик, В.В. Шевченко // Механизация и автоматизация управления. – 1983. – № 1. – С. 18-20.
17. Ряховский О. А. Расчет деформаций деталей / О. А. Ряховский, В. С. Сыромятников. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 150 с.
18. Ларшин В.П. Интегрированные технологические системы в машиностроении / В.П. Ларшин // Тр. Одес. политехн. ун-та. - 1999. - Вып.3(9). - С.55-58.
19. Никулин Ю.В. Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления. Материалы XVI Научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов под редакцией профессора В.Н. Азарова. - М.: МГИЭМ, 2004. -355 с.
20. Серьезнов, А. Н. Методы и средства измерений в прочностном эксперименте / А. Н. Серьезнов, А. К. Шашурин. – М.: Изд-во МАИ, 1990. – 200 с.
21. Khan A. S. Strain measurements and stress analysis / A. S. Khan, X. Wang. – Pearson: Prentice Hall, 2001. – 272 с. – (Search Continuum Mechanics Website).
22. Beckwith T. Mechanical Measurements (Third ed.) / T. Beckwith, L. Buck, R. Marangoni. – MA: Addison-Wesley Publishing Co., 1982. – 360 с.
23. Румбешта В.О. Курс лекцій по курсу: «Системи керування якістю виготовлення виробів» / В.О. Румбешта – НТУУ «КПІ», 2000. – 85с.
24. Restivo M. Strain measurement / M. Restivo, F. Glomes de Almeida, M. De Fatima Chuzal. – Barselona: IFSA, 2012. – 105 с.
25. Grigoriy S. Tymchik, Oleksandr O. Podolian, Andriy V. Pavlovych, Iuliia Iu. Lysenko, Paweł Komada, and Ainur Kozbakova "Quality control system of well-bonded coupling fitting onto high pressure gas-main pipelines", Proc. SPIE 10808,

Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108085A (1 October 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2501594>

26. Тымчик Г.С., Подолян А.А., Пудрий С.В. Экспериментальные исследования эффективности усиления участка трубопровода высокого давления муфтой с внутренним наполнением // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – Вып. 4. – С. 35–39.

27. Gregory S Tymchik, Aleksandr A Podolian, Kateryna S Serhienko, Theoretical investigations of the generation of an ultrasonic wave by an electromagnetic acoustic transducer, KPI Science News, 2018, Vol.3, pp.84-92, <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.3.127129>

28. Тымчик Г.С. Анализ электромагнитно-акустического преобразователя с угловым вводом возбуждения ультразвуковой волны / Г.С. Тымчик, А.А. Подолян // Вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” серія приладобудування. – Київ: Вид-во НТУУ “КПІ”, 2014 – Вип. 47 – с.85-94.

29. Тымчик Г.С. Технология ремонта дефектных участков трубопровода с помощью паяно-сварных муфт / Г.С. Тымчик, А.А. Подолян // Наукові вісті національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – Київ: Вид-во НТУУ “КПІ”, 2016 – Вип.2 – С.94-99.

30. Тымчик Г.С. Технология повышения прочности участков действующего магистрального трубопровода с помощью паяно-сварных муфт / Г.С. Тымчик, А.А. Подолян // Наукові вісті національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – Київ: Вид-во НТУУ “КПІ”, 2015 – Вип.2 – С.97-103.

Додатки

Додаток А

Наукові опубліковані праці за тематикою магістерської дисертації

СПИСОК

Наукових на навчально-методичних праць

Бабича Юрія Олександровича

№ п/п	Найменування праць	Рукописні або друковані	Назва видавництва, журналу (номер, рік), або номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркуші в або сторінок разом	Співавтори
1	2	3	4	5	6
1. <u>Наукові статті</u>					
1	Аналіз залежності напруги на мосту тензоперетворювача на деталі і сили затиску болта	друк.	XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні» 10-11 грудня 2019р., м. Київ, Україна	4	Бабич Юрій Олександрович
2. <u>Патенти</u>					
2	Магнітопружний датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах	друк.	Заявка на патент Україна на корисну модель № u 2019 11498	7	Тимчик Григорій Семенович, Подолян Олександр Олександрович, Бабич Юрій Олександрович
3	Датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах	друк.	Заявка на патент Україна на корисну модель № u 2019 11497	7	Тимчик Григорій Семенович, Подолян Олександр Олександрович, Бабич Юрій Олександрович
4	Магнітний датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах	друк.	Заявка на патент Україна на корисну модель № u 2019 11495	7	Тимчик Григорій Семенович, Подолян Олександр Олександрович, Бабич Юрій Олександрович

Студент _____

Бабич Ю.О.

Науковий керівник дисертації _____

Подолян О.О.

Додаток Б

Акт впровадження матеріалів і результатів магістерської дисертації

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ "Екстудер"

_____ Бабченко В.В.

« ___ » _____ 2019 р.

АКТ

про впровадження результатів магістерської дисертації

студента гр. ПБ-81мп

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бабича Юрія Олександровича

Комісія в складі голови – ректора Бабченка Василя Васильовича і членів: головного конструктора Бабченка Олександра Васильовича і головного технолога Попова Євгена Віталійовича склали дійсний акт про те, що результати магістерської дисертації «Автоматизація контролю якості і складання приладів тензометричним методом», зокрема:

- метод контролю механічних напружень і деформацій;
- метод контролю сили затиску болтового з'єднання;
- систему автоматизованого контролю складання.;
- система підвищення надійності процесу складання в умовах автоматизованого виробництва.

використані при складанні відповідальних нежорстких корпусів в службі головного технолога Попова Є.В.

Впровадження в технологічний процес обробки результатів магістерської роботи дозволило підвищити надійність процесу складання в 1,5-2 рази за рахунок контролю якості виконаної складання корпусів. В результаті дасть можливість в процесі пошкодження деталей або їх ненадійне закріплення

ГОЛОВА КОМІСІЇ:

Директор

Бабченко В.В.

ЧЛЕНИ КОМІСІЇ:

Головний конструктор

Бабченко О.В.

Головний технолог

Попов Є.В.

НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ І СКЛАДАННЯ ПРИЛАДІВ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Виконав студент:

Бабич Юрій Олександрович

Гр. ПБ-81мп

Актуальність теми

В умовах технологічного прогресу і автоматизації виробництв в приладобудуванні є потреба в розробці новітніх і ефективних методах контролю. Сучасні виробники надають перевагу здійснювати на свої заводах лише кінцеве складання приладів і машин, а більшість складових закупати сторонніх постачальників. Завдяки цьому виробництва можуть більше звертати увагу на інноваційні методи контролю, що дозволять підвищити якість і потенційно зменшити собівартість кінцевого продукту. В даних умовах розробка системи контролю якості і складання що може легко бути інтегрована в автоматизоване виробництво є актуальною задачею для сучасного приладобудування.

Мета дослідження: розробка та вдосконалення методу контролю якості і складання тензOMETричними методами в умовах автоматизованого виробництва.

Завдання дослідження:

- Виконати пошук та аналіз літературних джерел за тематикою Дослідження;
- розробити математичну модель, за якою буде функціонувати автоматизована система контролю якості складання;
- провести розрахунок тензOMETричного датчика контролю.
- провести експеримент на основі розробленої математичної моделі;
- спроектувати систему контролю.

Об'єкт дослідження: процес контролю якості складання шляхом вимірювання натягів тензOMETричними методами.

Предмет дослідження: керування роботою автоматизованою системою складальних одиниць тензOMETричними датчиками.

Структурна схема системи контролю

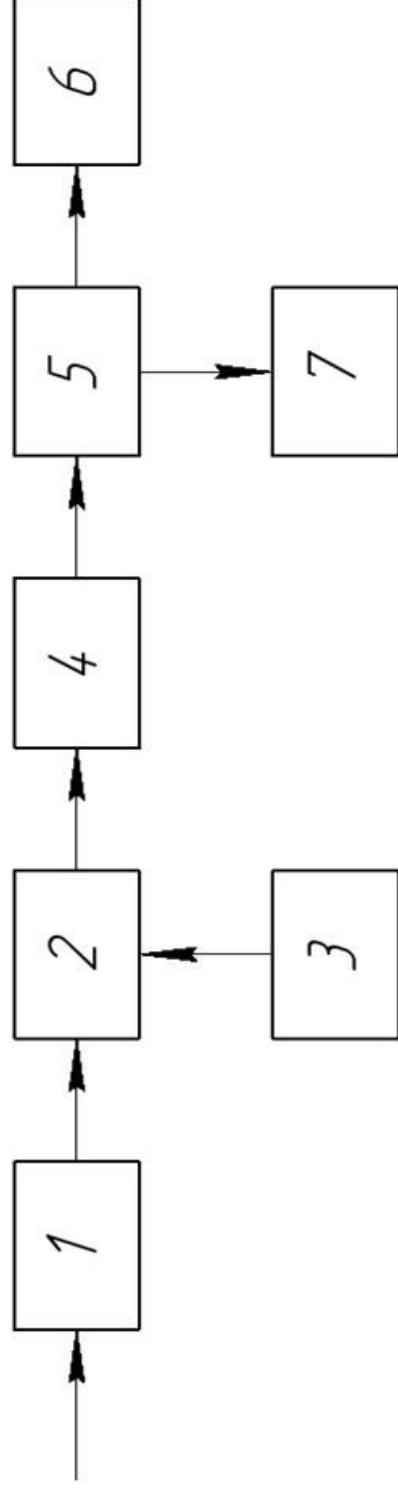


Рисунок 1. Структурна схема.

1- об'єкт контролю, 2- тензодатчиком, 3- джерело енергії, 4- підсилювач сигналу, 5- блок обробки інформації, 6- екран, 7- наступна ланка автоматизованої системи.

Функціональна схема

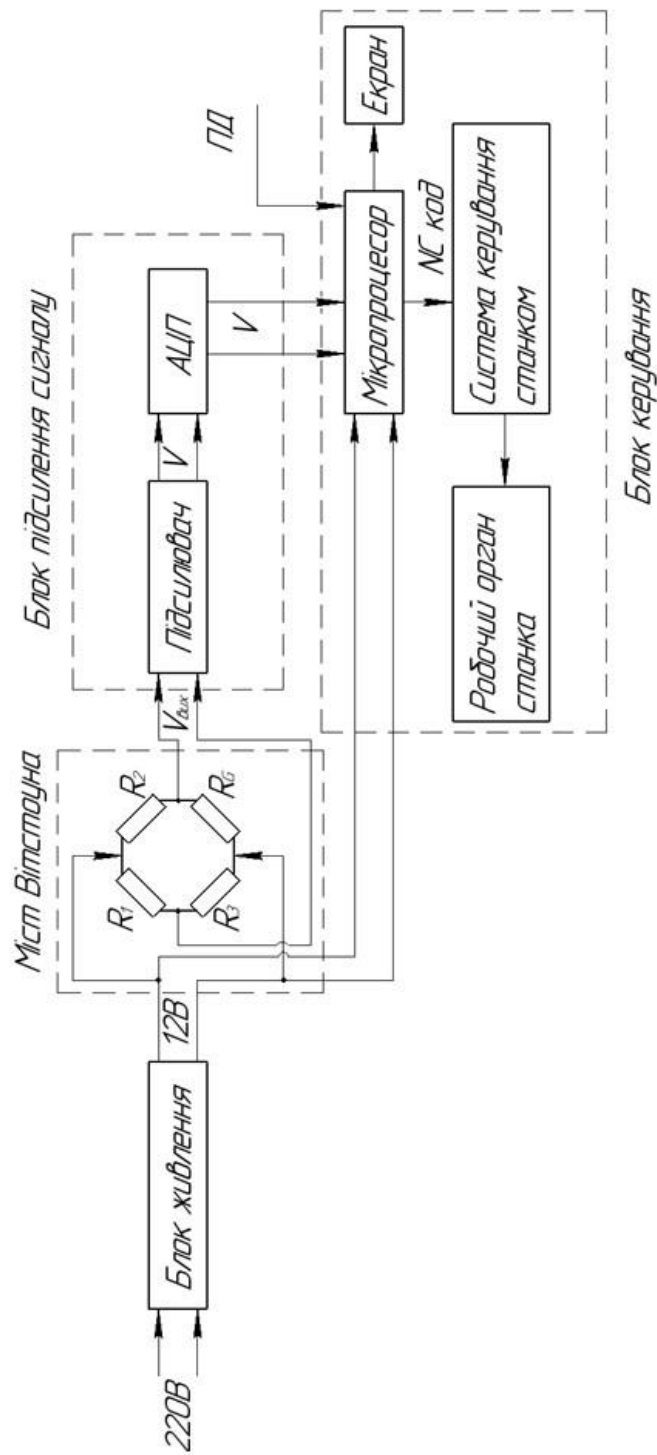


Рисунок 2. Функціональна схема.

Міст Вітстоуна

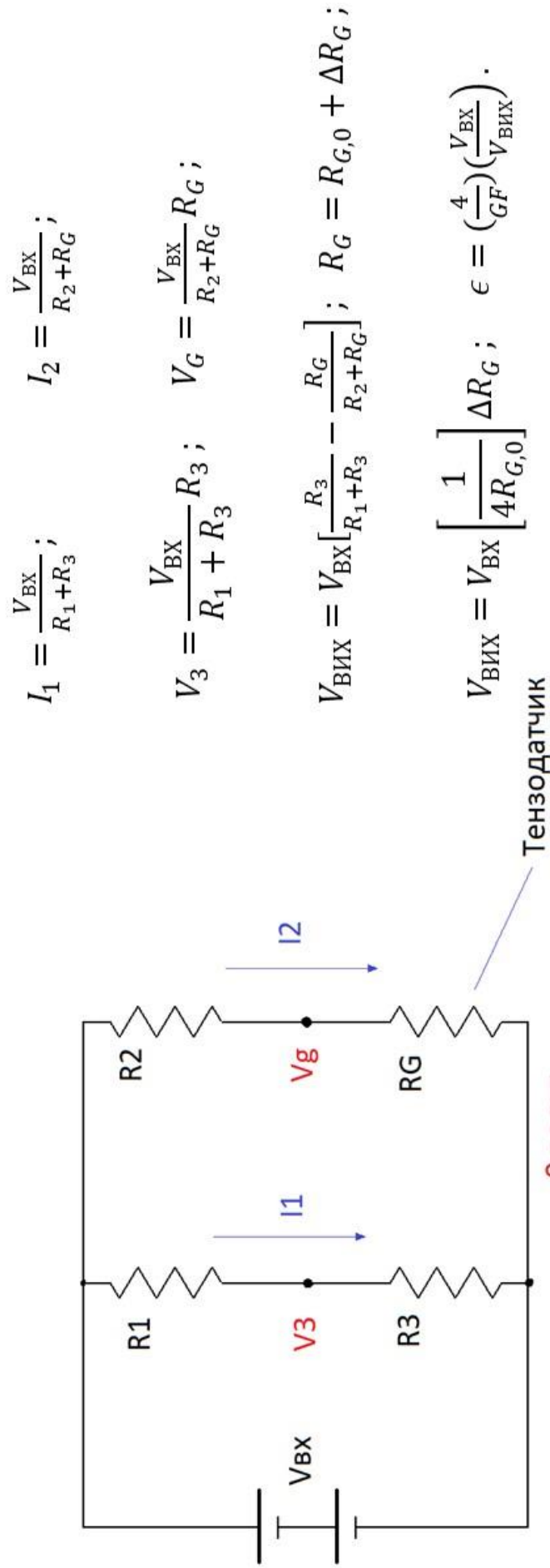


Рисунок 3. Міст Вітстоуна

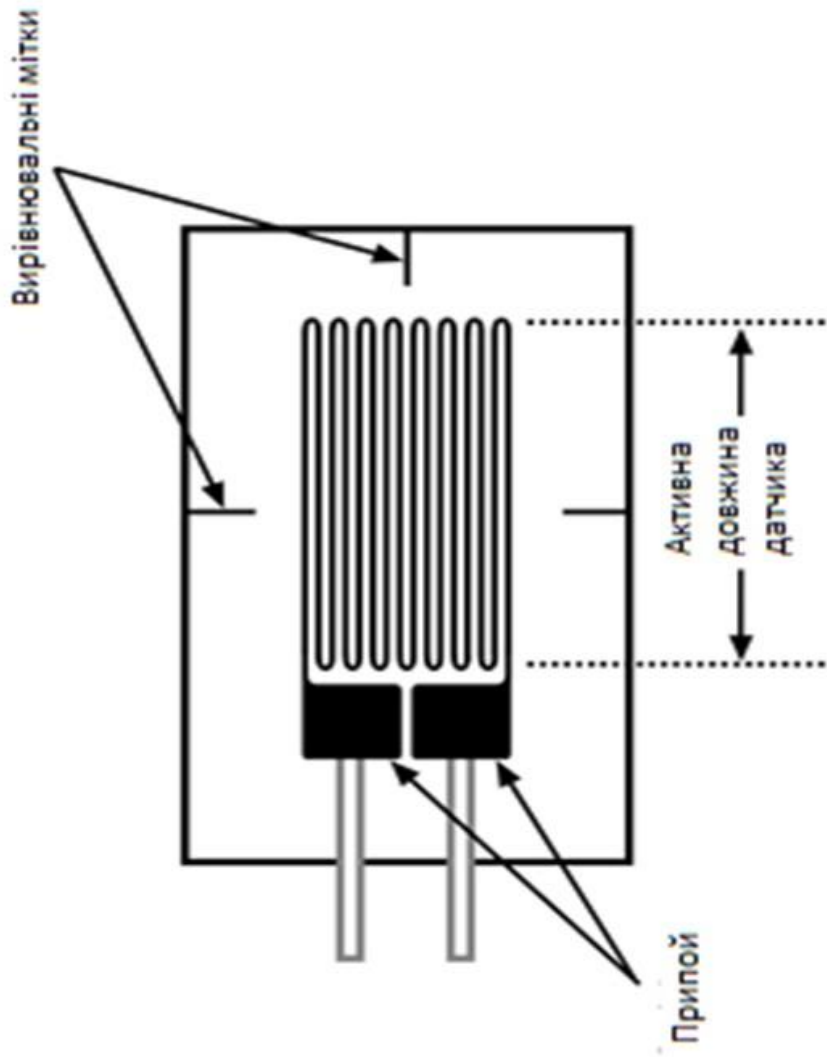


Рисунок 4. Дротяний тензодатчик

Електричні параметри мосту Вітстоуна

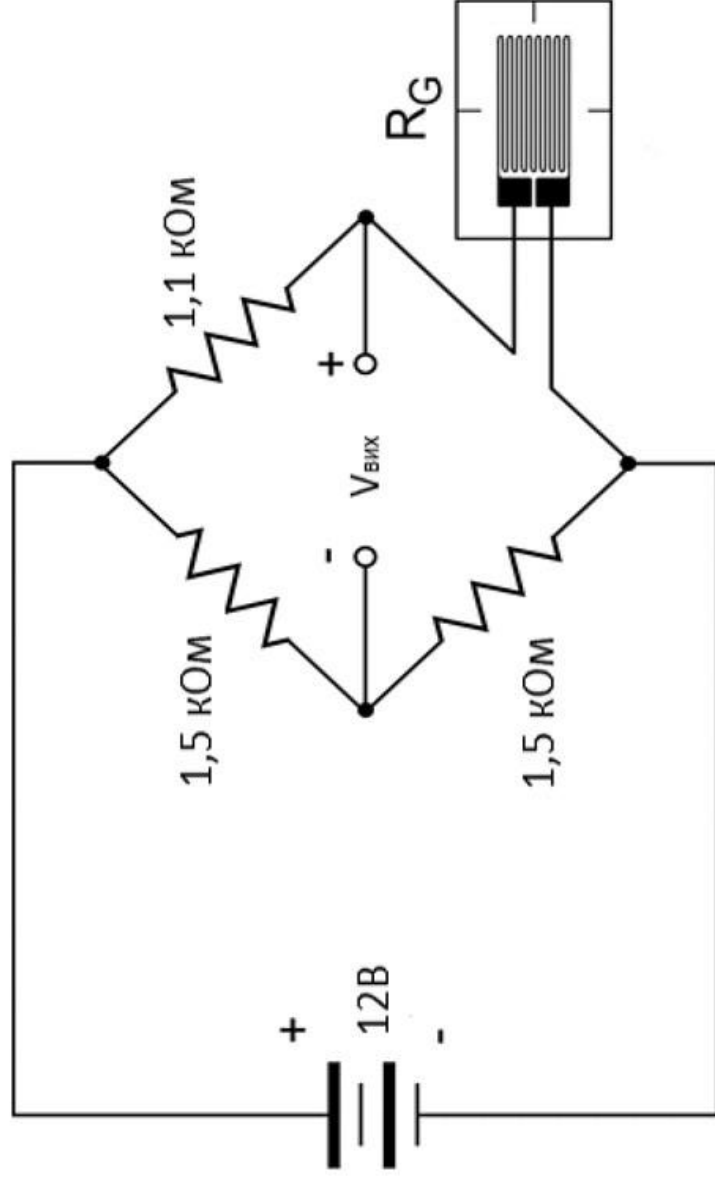


Рисунок 5. Міст Вітстоуна.

Тензометричні розетки

Тензометрична розетка - це просто три звичайні осьові датчики, розміщені близько один до одного та за встановленою орієнтацією відносно один до одного. Три зразки на Рис 6. Кожна розетка містить датчики при орієнтації під 45° відносно, хоча відносні орієнтації під 60° також використовуються. Зауважте, що кожен датчик у розетці не залежить від інших, у кожного датчика є своя схема моста Вітстоуна .

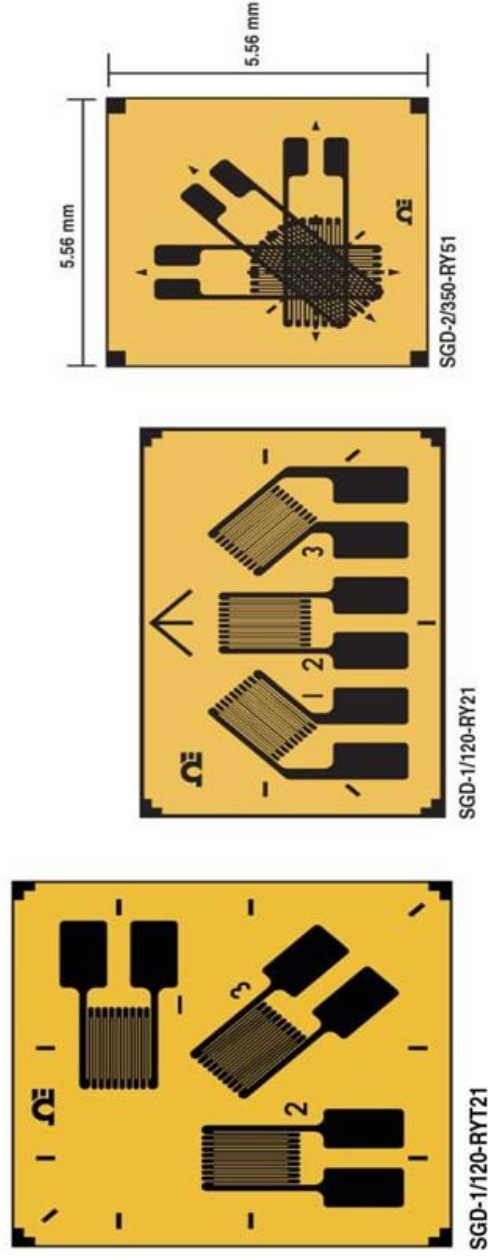


Рисунок 6. Тензометричні розетки

Результати розробки математичної моделі

$$\delta_d = F(\lambda_d + \lambda_b) - \delta_b = F \left(\sum_1^n \frac{h_{nd}}{E_{nd} S_{nd}} \right) \frac{l_b}{E_b S_b}$$

$$V_{\text{вих}} = F \left(\sum_1^n \frac{h_{nd}}{E_{nd} S_{nd}} \right) \frac{4l_b V_{in} l_0}{E_b S_b G F}$$

$$\epsilon = F \left(\sum_1^n \frac{h_{nd}}{E_{nd} S_{nd}} \right) \frac{4l_b}{E_b S_b} L$$

де E_{nd} - модуль пружності n -ї деталі, E_b - модуль пружності болта, l_b - довжина болта, S_b - площа перерізу болта, S_{nd} - площа перерізу конуса n -ї деталі, h_{nd} - товщина n -ї деталі, λ_d і λ_b - піддатливість деталі і болта відповідно, δ_d і δ_b - деформації деталей і болта відповідно, де L - це коефіцієнт, який враховує відстань між болтом і датчиком.

Коефіцієнт L

В попередньо представлений систематичний рівнянь використовується коефіцієнт L. Даний коефіцієнт повинен бути визначений експериментально. Для цього використовуємо програмне забезпечення CAE Simulia Abaqus.



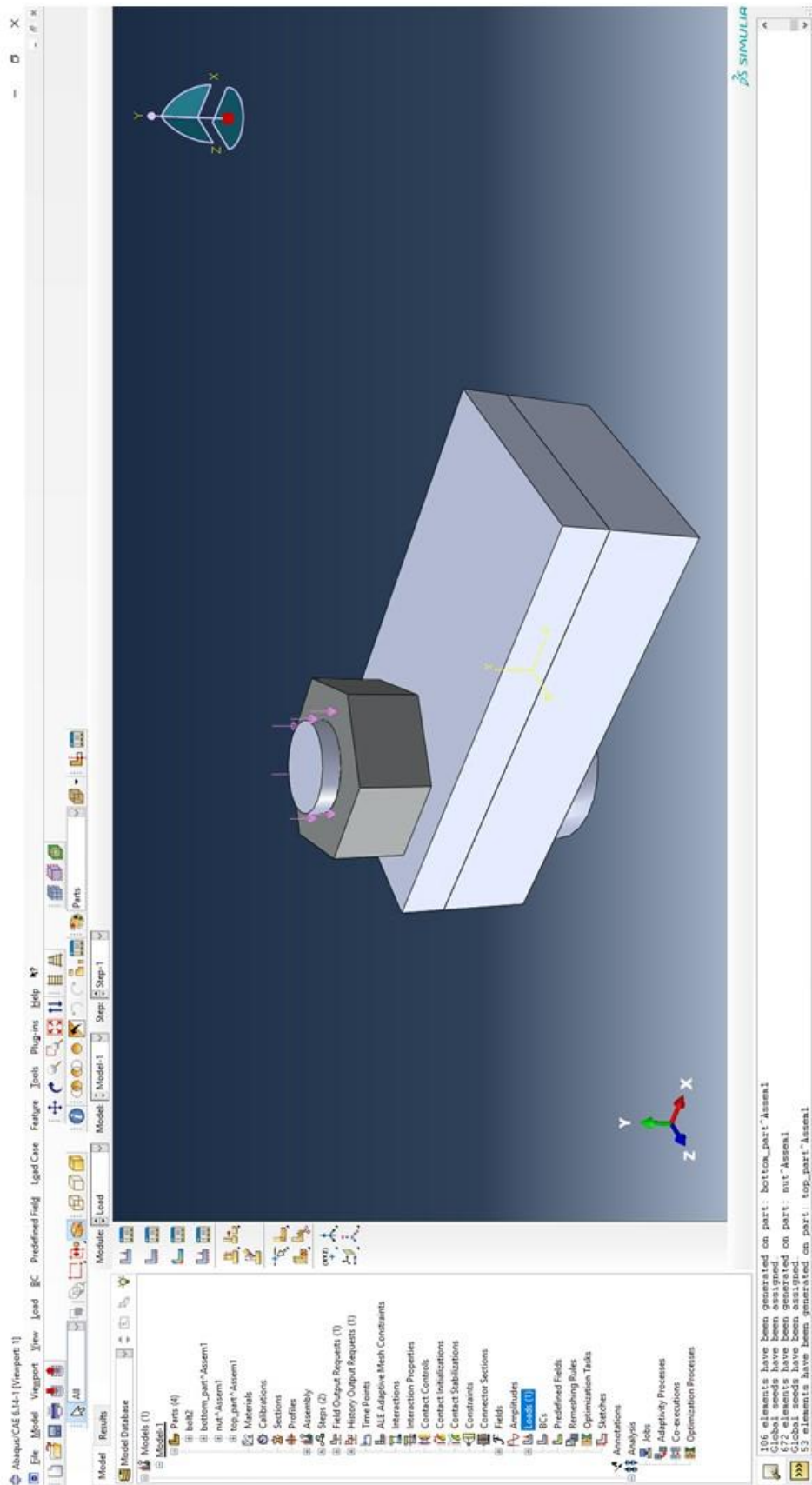


Рисунок 7. Модель, що використана для симуляції

Результати симуляції

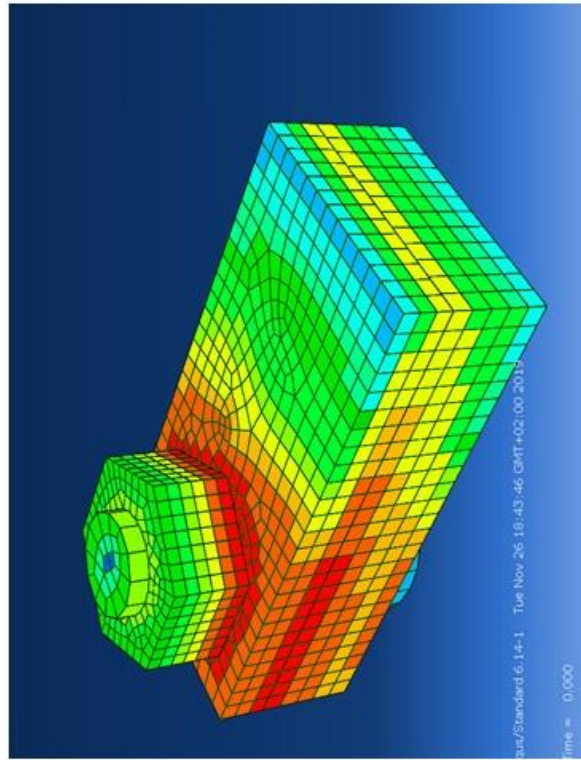


Рисунок 8. Візуалізація симуляції в Abaqus CAE.

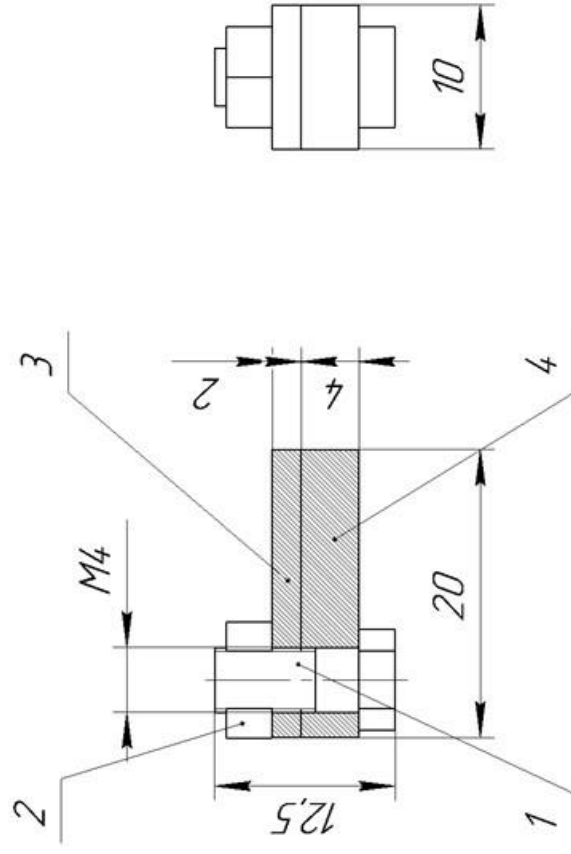


Рисунок 9. Ескіз пакету.

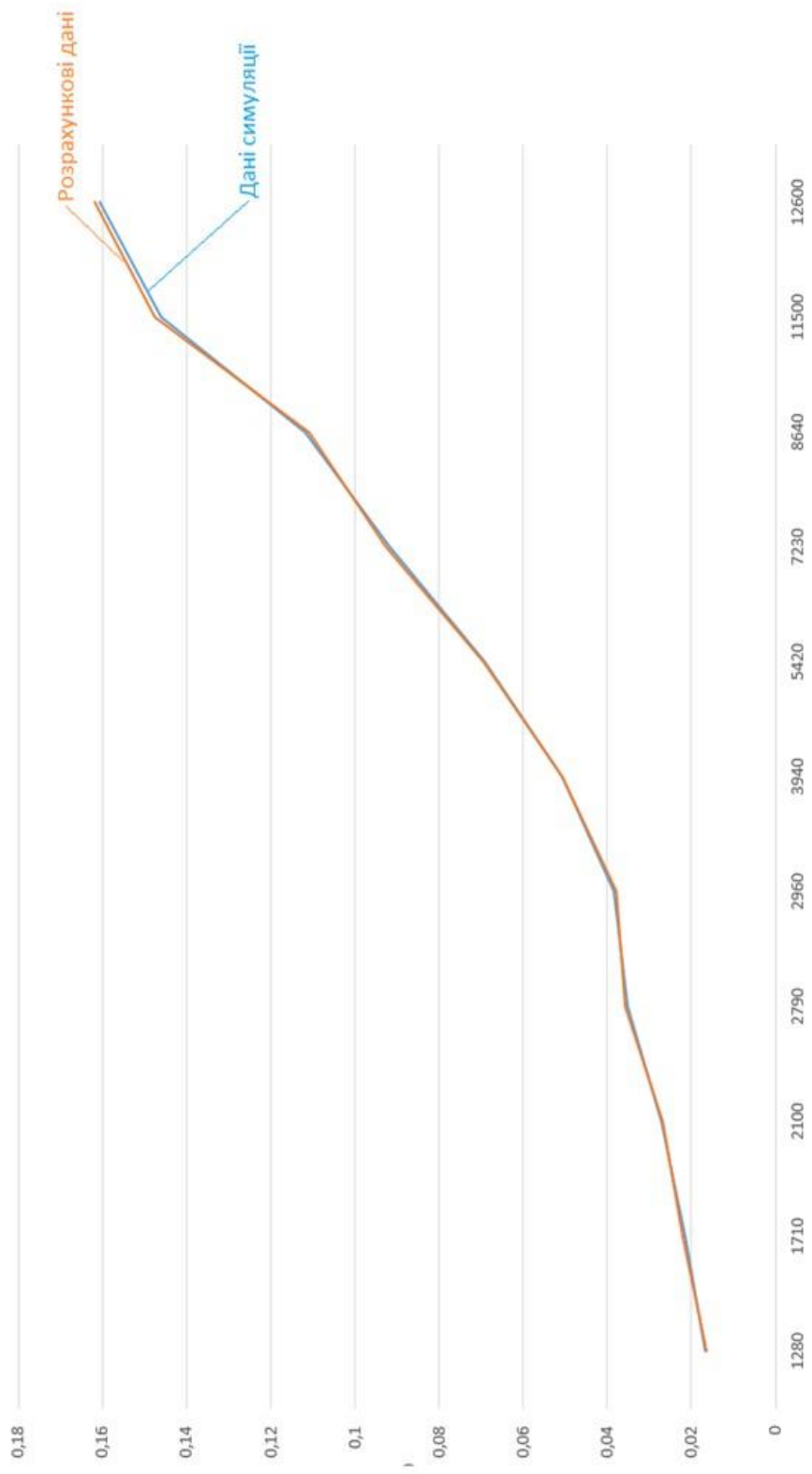


Рисунок 10. Графік залежності деформації від сили записку.

Спроектowana схема в CAD Proteus

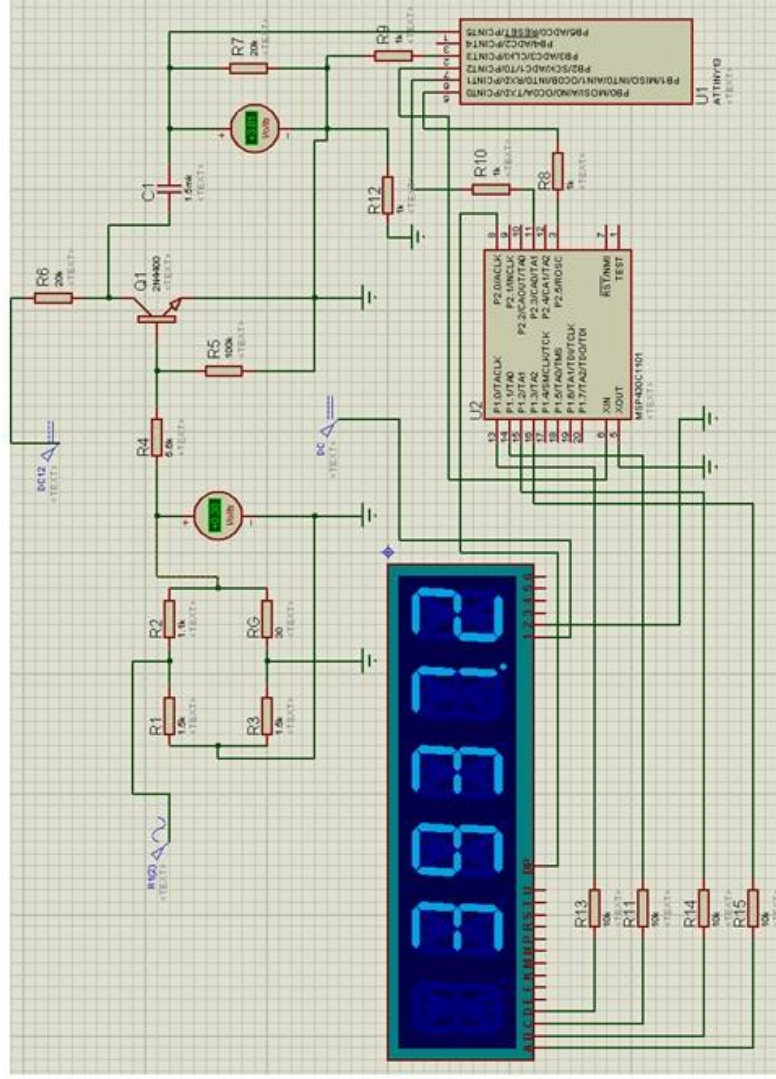


Рисунок 11. Электрична схема приладу.

Наукові праці за темою роботи

- Бабич Ю.О., Аналіз залежності напруги на мосту тензоперетворювача на деталі і сили затиску болта / XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні» 10-11 грудня 2019р., м. Київ, Україна
- Заявка на корисну модель Україна. Магнітопружний датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах, МПК G01N27/80 / Тимчик Г.С., Подолян О.О., Бабич Ю.О. - №u201911498; заявл. 28.11.2019
- Заявка на корисну модель Україна. Магнітний датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах, МПК G01N28/80. / Тимчик Г.С., Подолян О.О., Бабич Ю.О. - №u201911495; заявл. 28.11.2019
- Заявка на корисну модель Україна. Датчик для визначення механічних напружень в феромагнітних матеріалах, МПК G01N27/80 / Тимчик Г.С., Подолян О.О., Бабич Ю.О. - №u201911497; заявл. 28.11.2019

ВИСНОВОК

В ході виконання магістерської дисертації було розроблено автоматизовану систему контролю якості складання тензOMETричним методом. Основною задачею даного методу є контроль сили затиску болтових з'єднань, на основі деформації викликаних силою затиску. Даний метод дозволяє отримувати результати контролю, а саме силу затиску і деформацію, в реальному часі, що дозволяє легко інтегрувати дану систему в автоматизоване виробництво зі складання.

Дякую за увагу!