

Магістерська дисертація

на тему: Автоматична система керування стендом калібрування
тензорезисторів

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

Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 681.5.08

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій КИРИЧУК
«__» _____ 2021 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології»
на тему: «Автоматична система керування стендом калібрування
тензорезисторів»**

Виконав:
студент II курсу, групи ПМ-01мп
Гладишко Андрій Павлович _____

Керівник:
старший викладач
Віктор ЗАЙЦЕВ _____

Консультант з «Розробки стартап-проектів»:
професор, д.е.н.
Катерина БОЯРИНОВА _____

Рецензент:
ст. вик.
Зайцев В.М. _____

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

Студент (-ка) _____ Андрій ГЛАДИШКО

Київ – 2021 року

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

Факультет - Приладобудівний

Кафедра автоматизації та систем неруливого контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Юрій КИРИЧУК**

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Гладишко Андрію Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Автоматична система керування стендом калібрування тензорезисторів

науковий керівник дисертації Зайцев Віктор Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2021 р. № 3228-с

2. Строк подання студентом дисертації 06.12.2021 р.

3. Об'єкт дослідження Комп'ютерно-інтегрована система автоматизованого задання, вимірювання зразкових відносних деформацій та обробки результатів калібрування фольгових тензорезисторів.

4. Предмет дослідження (вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Підвищення точності створення зразкових відносних деформацій при калібруванні тензорезисторів за рахунок автоматизації процесу створення та визначення зразкових сигналів на установках вищої точності.

5. Перелік завдань, які потрібно провести огляд та аналіз існуючих технічних рішень вимірювання відносної деформації; обґрунтування вибору апаратних засобів та схем автоматизації установок вищої точності; розробити математичну

модель пружного елемента установок вищої точності та можливості підвищення точності контролю деформацій, які створюються при калібруванні тензорезисторів; розробка елементів програмного забезпечення обробки результатів калібрування тензорезисторів; зробити висновки.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Схеми та кресленики автоматизованої установки вищої точності.

7. Орієнтовний перелік публікацій стаття в збірнику праць XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні».

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проект	Бояринова К.О., д.е.н., професор, викладач кафедри менеджменту		

9. Дата видачі завдання 06.11.2021 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень вимірювання відносних деформацій	06.09.2021 – 04.10.2021	
2	Розробка апаратно-програмного забезпечення автоматизації установок вищої точності	05.10.2021 – 25.10.2021	
3	Розробка математичної моделі підвищення точності завдання відносних деформацій балок чистого згину	26.10.2021 – 10.11.2021	
4	Розробка проекту тензорезисторного перетворювача абсолютної деформації для автоматизації процесу створення відносних деформацій	11.11.2021 – 16.11.2021	
5	Оформлення стартап-проекту	17.11.2021 – 25.11.2021	
6	Висновки та оформлення дисертації	26.11.2021 – 01.12.2021	

Студент

(підпис)

Андрій ГЛАДИШКО

(ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Віктор ЗАЙЦЕВ

(ім'я, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Автоматична система керування стендом калібрування тензорезисторів» містить: 87 с., 30 табл., 24 рис., 8 дод. та 21 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: Комп'ютерно-інтегрована система автоматизованого задання, вимірювання зразкових відносних деформацій та обробки результатів калібрування фольгових тензорезисторів.

Предмет дослідження: Підвищення точності створення зразкових відносних деформацій при калібруванні тензорезисторів за рахунок автоматизації процесу створення та визначення зразкових сигналів на установках вищої точності.

Мета роботи: Розробка автоматизованої системи контролю створення відносних деформацій на основі побудови математичної моделі деформації балок чистого згину, створення тензорезисторного перетворювача абсолютних деформацій, оптичної системи визначення параметрів поля створених деформацій та процесу обробки одержаних результатів.

Методи дослідження: В процесі виконання магістерської дисертації використані розділи теорії механіки матеріалів, точності вимірювальних пристроїв, теорії оптичних систем.

Результати роботи та їх новизна: 1. Створено тензорезисторний первинний перетворювач абсолютної деформації який дозволяє створити керуючий сигнал для реалізації автоматизованої системи калібрування тензорезисторів;
2. Обґрунтований вибір оптичної системи для визначення параметрів реального поля деформації, що дозволяє підвищити точність зразкових сигналів для калібрування тензорезисторів.

Рекомендації щодо використання результатів роботи: Розроблена система може бути використана при проектуванні сучасних установок вищої точності для сертифікації засобів деформації.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СТВОРЕННЯ ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ,
ВІДНОСНІ ДЕФОРМАЦІЇ, АБСОЛЮТНІ ДЕФОРМАЦІЇ, УСТАНОВКИ ВИЩОЇ
ТОЧНОСТІ, ТЕНЗОРЕЗИСТОРИ .

ABSTRACT

Thesis project contains: 86 pages, 30 tables, 23 figures, 3 appendices. And 20 links

Today, deformation measuring instruments and systems are widely used in many countries in various fields of production. They are one of the promising areas of scientific and technical development of many developed countries.

The state of the art of measuring deformations is characterized by serial production of working measuring instruments (ME), among which strain gauges, strain sensors, strain gauges, secondary strain gauge equipment – strain gauges, strain gauges are widespread.

Devices for measuring deformations have become widespread as an effective means of controlling the strength at the stages of design, finishing and operation of machines, devices and structures, in solving problems of process automation and technical diagnostics.

Therefore, the improvement of the system of metrological support of these measurements is of great economic importance. Tensor resistors are now the most widely used for measuring deformations. Determination of metrological characteristics of strain gauges is carried out at their release from production and in the course of operation, after the expiration of a warranty period of storage, at use of unregulated types of binder, before carrying out especially responsible measurements and in other cases.

The presence of a large number of manufacturers and consumers of strain gauges, which need to determine their metrological characteristics, on the one hand, and the lack of centralized production of tensor resistors on the other hand, led to the creation and use of a variety of metrological characteristics of strain gauges.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
ВСТУП	
1. Огляд та аналіз матеріалів за темою магістерської дисертації.....	10
1.1. Стан техніки вимірювання деформації	10
1.2. Огляд методів вимірювання деформації	11
1.3. Огляд засобів вимірювання деформації	13
1.4. Огляд оптичних систем для вимірювання деформації пружного елемента.	17
2. Проектування автоматичної системи керування стендом калібрування тензорезисторів	21
2.1. Опис кінематичної схеми стенду та короткий опис ЗВ, що входять до складу УВТ.....	23
2.2. Вибір балки чистого вигину	25
3. Розробка автоматизованої системи пуском електродвигуна та оптичної системи для зняття поля деформації.....	30
3.1. Гальмування противключенням	33
3.2. Безконтактне вимірювання деформації методом DIC	35
3.3 Система для безконтактних оптичних вимірювань DIC-Q400	37
4. Програма калібрування тензорезисторів.....	40
5. Математична модель об'єкта проектування, розрахунок основних характеристик системи.....	45
5.1. Розробка принципових схем деформаційно-вимірювального перетворювача	45
5.2. Опис з'єднання мостової схеми тензорезисторів.....	47
5.3. Розрахунок основних геометричних параметрів перетворювача	51
5.4. Розрахунок статичних характеристик вимірювального перетворювача	55
5.5. Дослідження похибки передачі розміру одиниці деформації	58
5.6. Перспективи подальшого вдосконалення системи	63
Загальний висновок	64
6. Розробка стартап-проекту	65
Перелік посилань	85
Додатки	

					МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Гладишко			Автоматична система керуванням стенду калібрування тензорезисторів			Літера	Арк.ви	Арк.вс		
Перевір.										3	87	
Реценз.								ПБФ, 2 курс, ПМ-01мн				
Н. Контр.												
Затверд.		Зайцев										

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

<i>УВТ</i>	- установка вищої точності
<i>ЗВ</i>	- засоби вимірювання
ε	- відносна деформація
<i>о.в.д.</i>	– одиниці відносної деформації
<i>ПЧЕ</i>	- пружний чутливий елемент
<i>ТР</i>	- тензорезистори
<i>E</i>	- модуль пружності
σ	- механічна напруга
<i>h</i>	- товщина балки, мм
<i>p</i>	- прогин балки, мм
ΔL	- відносне видовження балки, мм
<i>L</i>	- база прогиноміра, мм
R_0	- радіус вигину балки, мм
<i>ЕОМ</i>	– електронно-обчислювальна машина
<i>РКП</i>	– робочий коефіцієнт перетворення

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сьогодні прилади та системи вимірювання деформації широко використовуються у багатьох країнах у різних сферах виробництва. Вони є одним із перспективних напрямків розвитку наукового та технічного процесу багатьох розвинутих держав.

Стан техніки вимірювання деформацій характеризується серійним виробництвом робочих засобів вимірювань (ЗВ), серед яких широке розповсюдження мають тензометри, датчики деформацій, тензорезистори, вторинна тензометрична апаратура - вимірники деформацій, тензометричні вимірювальні системи.

Прилади для вимірювання деформацій набули великого розповсюдження як ефективний засіб контролю міцності на стадіях проектування, доведення і експлуатації машин, апаратів і споруд, при рішенні задач автоматизації процесів і технічної діагностики.

Тому вдосконалення системи метрологічного забезпечення цих вимірювань має важливе народногосподарське значення. Найширше розповсюдження для вимірювання деформацій в даний час знайшли тензорезистори. Визначення метрологічних характеристик тензорезисторів здійснюється при випуску їх з виробництва і в процесі експлуатації, після закінчення гарантійного терміну зберігання, при використуванні нерегламентованих типів зв'язуючого, перед проведенням особливо відповідальних вимірювань і в інших випадках.

Наявність великого числа виготівників і споживачів тензорезисторів, що мають потребу у визначенні їх метрологічних характеристик, з одного боку, і відсутність централізованого виробництва засобів перевірки тензорезисторів з другого боку, привели до створення і використання різноманіття засобів визначення метрологічних характеристик тензорезисторів.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Огляд та аналіз матеріалів за темою магістерської дисертації

1.1. Стан техніки вимірювання деформації

Велике значення надають властивості матеріалів, які застосовуються при розрахунку, проектуванні і використанні споруд, машин і конструкцій. У випадку, коли відомі властивості матеріалів, то можна визначити здатність деталей та вузлів витримувати навантаження без впливу руйнування. Одною із важливих фізичних ознак навантаження об'єкта є визначення його розмірів і форми котрі характеризують механічну деформацію.

Вважається те, що для більшості матеріалів справджується закон Гука, яким передбачається прямопропорційна залежність між деформацією і навантаженням. Як і закон Гука, існує залежність між механічною напругою (σ) та деформацією (ε) у більшій мірі для конструкційних матеріалів є лінійною функцією з параметром, котрий має назву модуль пружності (E).

$$\sigma = \varepsilon E. \quad (1.1)$$

Отже, коли відомий модуль пружності матеріалу, вимірявши деформацію цього матеріалу, можна розрахувати відповідну напругу.

Взаємозв'язок, який представляється формулою (1.1), лежить в основі при розробці багатьох методів для визначення напружено-деформованого стану вузлів машин і конструкцій, котрі виділяються в наступні групи: рентгенівські, поляризаційно-оптичні, гальванічних і крихких покриттів, муарових смуг та методи, котрі мають в основі перетворення деформації поверхні об'єктів, які досліджуються за допомогою тензометрів та тензометричних перетворювачів [1].

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Огляд методів вимірювання деформації

Засоби, для вимірювання деформації, котрі беруть участь у різних галузях господарства, включають багато видів вимірників деформацій, тензорезисторів, тензометрів, і вторинної вимірювальної апаратури відчизняного і закордонного виробництва.

Для вимірювання лінійних деформацій використовуються тензометри, які широко розповсюджені для вимірювання механічних властивостей матеріалів і випробувань конструкцій. Використовуються механічні індикаторні, важіль-стрілочні і важельно-лімбові тензометри; оптико-механічні призматичні тензометри та електромеханічні тензорезисторні тензометри. Нижче приводиться огляд тензометрів деяких типів і методів тензометрування.



Рис. 1.1. Класифікація методів тензометрування

Більшість тензометричних методів використовуються при вимірюванні напружно-деформованого стану деталей, в основі їх лежать фізичні принципи вимірювань. Є такі методи: методи крижких покриттів, методи фото пружності, муарових смуг, рентгенівські методи, методи з використанням тензометричних перетворювачів та методи гальванічних покриттів (рис. 1.1.).

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метод кригкиг покриттів заснований на ефекті створення тріщин під дією прикладених навантажень. Кригке покриття попередньо наносять на об'єкт дослідження, і після деякого часу коли поверхня висихає в цьому покритті відбуваються остаточні напруги, які і призводять до утворення тріщин, навіть коли прикладена незначна деформація. Метод використовується в більшості для дослідження зони максимальної напруги. Погрішність досить велика, становить 10 - 20% для визначення деформації цим методом, тому він використовується тільки для оціночних вимірювань, набагато точніші результати отримують при використанні інших засобів точного тензметрування.

В основі методу фототопружності лежить явища подвійного променезаломлення для прозорих матеріалів під дією механічних напружень. Пфд дією деформації значення подвійного променезаломлення прямопропорційна значенню деформації цього об'єкта, так визначається порядок інтерференційних смуг після просвічуванні матеріалу поляризаційним світлом.

Цей метод має суттєвий недолік. Діло в тому, що вимірювання проводяться на моделях і це завдає труднощів під час випробування об'ємних деталей.

До переваг же цим методом можна віднести високу точність вимірювань і також під час випробування цим методом є можливість вимірювати стан напруження всієї повенхності деталі під час візуального контролю.

За основу в рентгенівському методі вимірювання деформованого стану береться явище інтерференції рентгенівського випромінювання. Промені рентгенівського випромінювання проходять через ґрати кристалічної решітки матеріалів що досліджуються.

Метод гальванічних покриттів частіше за все використовується під час циклічного навантаження об'єкта. Метод реалізується утворенням темних плям на мідному гальванічному покритті, яке наноситься на досліджуваний

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єкт. Якщо хімічний стан гальванічного покриття, модулі пружності матеріалу об'єкту, число циклів навантаження відомі, визначається найменше значення напруги, під дією якої темні на гальванічному покритті з'являються темні плями. Тобто, взаємозв'язаними величинами являється число циклів навантаження і відповідна циклам навантаження значення напруги.

Муаровий ефект лежить в основі методу муарових смуг, який базується на появі чергуючихся світлих і темних смуг під час накладання одноднієї на іншу двох і більше растрових сіток. Крок муарових смуг зазначається умовами освітлення початкових розчинів і їх параметром. Один з растрів наносять на об'єкт випробування, який деформується разом з ним. Муарова картина містить інформацію про характер деформованого растру а також про деформований стан зразка. Під час невеликих деформацій, лінійних і кутових переміщень сіток спостерігаються великі зміни напрямку, положенню і кроку муарових смуг що виникаються. Метод застосовують для реальних об'єктів, і для їхніх моделей. Муарові смуги наносять знімаючимся емульсійним шаром за допомогою фотоплівок, або шляхом труїння фотохімічним методом. Перевагами методу можна назвати можливість вимірювання при високій температурі а також вимірювання деформацій на великих поверхнях.

Метод голографічної інтерферометрії базується на застосуванні когерентних джерел світла, застосовується при вимірюванні полів невеликих переміщень точок поверхні елементів конструкцій і матеріалів[2].

1.3. Огляд засобів вимірювання деформації

Під час вимірювання напруженого стану конструкцій широко розповсюдженими являються тензometri, засновані на принципі тензометричного перетворення: механічні, оптичні, електричні, пневматичні, струнні (акустичні). Далі розглядаються тензometri різноманітних типів і конструкцій з коротким описом принципу дії.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптичні тензометри засновані на перетворенні деформації з оптичного променя в зручну величину для реєстрації. Під час цього відраховувати можна при переміщенні світлої плями по шкалі, показано на рис. 1.2.

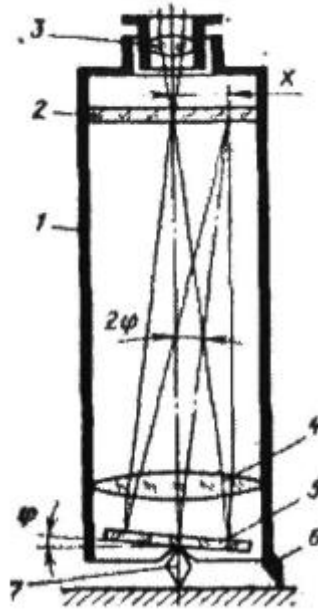


Рис. 1.2. Схема оптичного тензометра з автоколлімаційним дзеркальним відліковим пристроєм

1 - труба; 2 - шкала; 3 - окуляр; 4 - об'єктив; 5 - поворотне дзеркало; 6 - нерухома призма; 7 - рухома призма.

Оптичними тензометрами вимірюють великі деформації, вони мають в основі фотоелектричні датчики. В них деформація перетворюється на електричний імпульс. Оптичний тензометр з фотодіодами представлений на рис. 1.4. Важелі 7, з віссю обертання яких лежить в корпусі з тензометром 4, закріплені на зразку 6 затискачами 5. На один важіль закріплюють зчитуючу голівку 1, де розміщується фотодіод і джерело світла, в той час як на другий важіль — встановлюють прозору шкалу 3 з поділками 2. Коли деформація об'єкта починає діяти голівка зчитування яка переміщається повздовш шкали, і з фотодіода приходять імпульси(їхнє число май пропорційне значення до доформації) до вторинної апаратури.

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

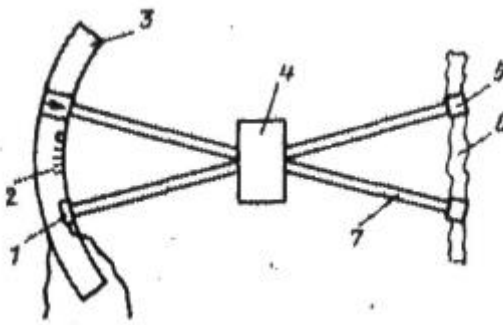


Рис 1.3, Оптичний тензометр з фотодіодом

Точність для вимірювання оптичними тензометрами має залежність від шкали і числа поділок на шкалі через це розмір цього пристрою мають бути великі, оскільки потребується збільшити довжину важелів і розміри шкали.

В основі механічних тензометрів лежить масштабове перетворення деформованого стану з механічною передачею до величини, яку зручно в подальшому реєструвати. Для цього мають використання важільно-зубчасті передачі.

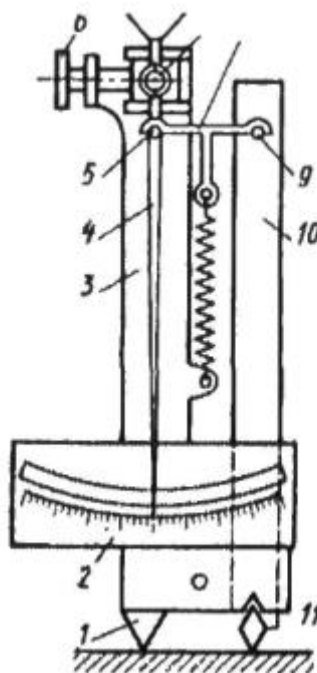


Рис. 1.4. Важільний тензометр Гугенбергера

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 - призма; 2 - дзеркальна шкала; 3 - корпус; 4 - стрілка тензометра; 5, 9 - штифти; 6 - гвинт; 7 - підшипник; 8 - траверсу; 10 - важіль двоплечевий; 11 - рухома призма.

Важільний тензометр Гугенбергера представлений на рис. 1.4. Його застосовують виключно для вимірювання статичного деформованого стану. На одному з двох кінців двоплечового важеля розташована рухома призма. На досліджуємому об'єкті закріплюється тензометр за допомогою магнітів, вакуумних присосів, або струбцинок. База тензометра така ж як і Відстань між призмами. Тензометр Гугенбергера в якого база становить 20 мм має похибку приблизно в 15 овд. На об'єкті для попередньої оцінки розподілу деформації зазвичай використовують механічні тензометри.

Рис. 1.5. представляє собою конструкцію струнного тензометра. Електромагніт встановлений над струною, при цьому збуджуються коливання в струні під час проходження електричних імпульсів по електромагнітній обмотці. Сигнал знімається з обмотки електромагніту, за рахунок цього вимірюється частота коливань струни.

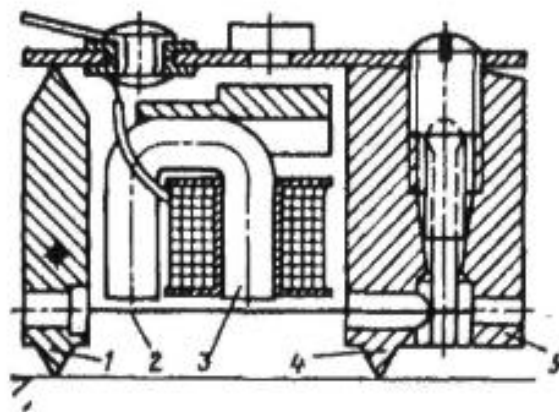


Рис. 1.5. Струнний тензометр

1 - рухома призма; 2 - феромагнитна струна; 3 - електромагніт; 4 - нерухома призма; 5 - корпус.

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тензометр струнний є пристрій частотний. Частотні дискримінатори та цифрові лічильники використовуються для зчитування значення частоти яку викликає об'єкт деформації. Тензометри струнні мають похибку 1 о.в.д.

Ці тензометри мають гарну точність і велику кількість схем для обробки модульно частотних сигналів, тому вони застосовуються для виміру динамічних та статичних деформацій.

Електричні тензометри. Їхній принцип роботи заснований на вимірюванні зміна параметра електричного ланцюга, наприклад індуктивності або опора місткості. Різновиди електричних тензометрів: п'єзоелектричні, ємнісні, тензометри індуктивні, опору та тензометри опору.

Механічні тензометри. Їхня дія заснована на ефекті внутрішньої зміни опору електронної, або вакуумної газонаповненої лампи, під час змінюванні величини відстані поміж електродами що викликана деформацією

Зміна реактивного опору покладена в основу індуктивних тензометрів котішки під час дії зовнішньої деформації. Є такі види індуктивних тензометрів: зі зміною магнітної проникності, тензометри з переміщенням якоря поперечним і індуктивні тензометри з переміщенням якоря повздовжнім де є зміна об'єма сердечника середині котушки[3].

1.4. Огляд оптичних систем для вимірювання деформації пружнього елемента

ARAMIS SRX — це оптична вимірювальна система для динамічної оцінки тривимірних координат, тривимірного зміщення та поверхневого натягу.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.6. Оптична система ARAMIS SRX

Базується на нових технологіях камер з 12-ти мегапіксельними модулями. Захоплення до 2000 зображень за секунду, сенсор спеціально розроблений для високошвидкісних завдань. Додатковим інструментом являється для краш тестів, що забезпечує швидкість отримання 1000 зображень за секунду у форматі HD. Завдяки поєднанню високої роздільної здатності та високої швидкості, система ARAMIS SRX ідеально підходить для дорогих високошвидкісних завдань. Система розроблена для забезпечення високої стабільності, надійності процесу та зручності для користувача, тому в основному використовується у промислових умовах.

Технології ARAMIS

Сенсор:

Сенсор системи ARAMIS SRX складається із двох високотехнологічних камер 12 мегапікселів кожна. Висока просторова роздільна здатність дозволяє виявляти ефекти локальної деформації з використанням великих обсягів вимірювання, а також вимірювати низькі рівні деформації. Для великих

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єктів з вузькими структурами та невеликих об'єктів, що демонструють високе зміщення у просторі, користувачі отримують перевагу від високої роздільної здатності, використовуючи реперні точки (маркери).

335 Гц у повному розширенні та до 2000 Гц

У повній роздільній здатності частота запису зображень ARAMIS SRX становить максимум 335 Гц, але його можна збільшити до 2000 Гц за рахунок зменшення роздільної здатності. Це дозволяє, наприклад, детально фіксувати відмову деталі у нюансах.

8ГБ вбудованої пам'яті, високе розширення

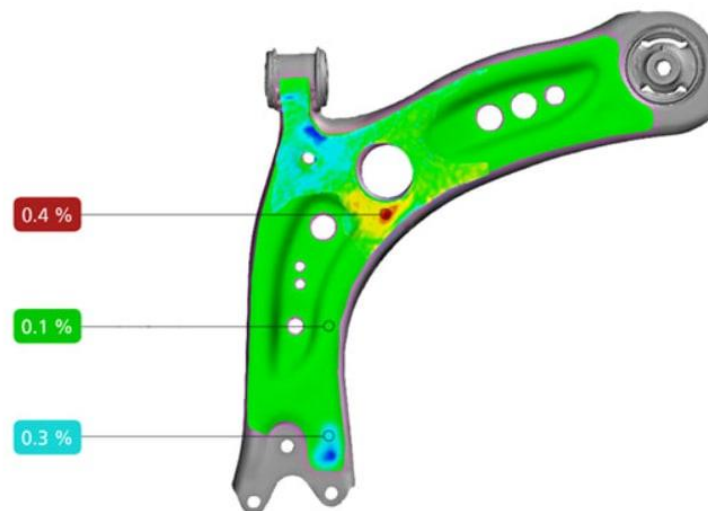


Рис. 1.7. Вимірювання деформації методом ARAMIS

Вбудована пам'ять на 8-ГБ дозволяє поєднувати високу роздільну здатність та високу швидкість. ARAMIS SRX спеціально розроблений для програм, які вимагають як високої швидкості захоплення послідовних зображень, так і вимірювання локальних дефектів.

Пристрій сенсора:

Сенсор ARAMIS є системою стереокамер, що знімають точні тривимірні координати за принципом триангуляції. Міцний корпус забезпечує високу стабільність і зменшує потреби калібрування, тому ARAMIS SRX ідеально

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підходить для застосування в промислових умовах. Змінні рами для камер та спеціальна оптика дозволяють швидко регулювати області вимірювання. Крім того, управління сенсором за допомогою контролера GOM забезпечує стабільний зв'язок між програмним та апаратним забезпеченням. Завдяки новій технології отримання зображення керується за допомогою перемикача у камерах, що забезпечує стабільність процесу знімання даних [4].

Система оптичних вимірювань DIC Q-400

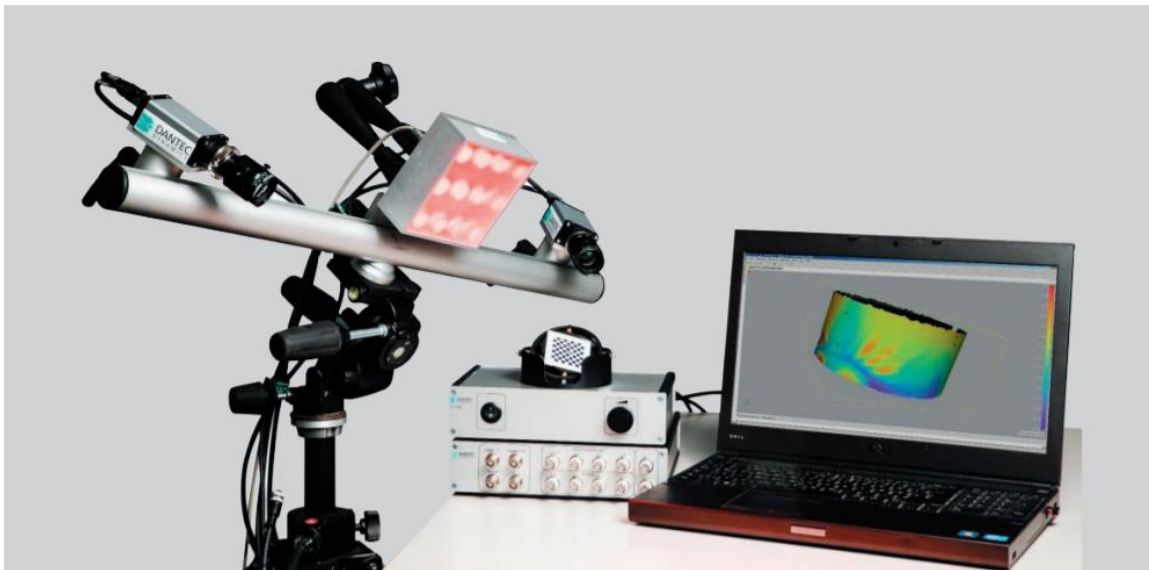


Рис. 1.8. Система оптичних вимірювань DIC Q-400

Оптична вимірювальна система DIC Q-400 застосовується для безконтактного тривимірного аналізу переміщень і деформацій поверхні об'єкта, що досліджується при випробуваннях на розтяг, кручення, вигин або комбінованих випробуваннях.

Результат застосування системи – поле переміщень поверхні об'єкта, компоненти деформації визначаються для кожної точки поверхні. Результати відображаються в режимі реального часу і можуть бути збережені для подальшої обробки.

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ

- безконтактний метод вимірювання
- відображення результатів у режимі реального часу
- вимірювання переміщення та деформації поверхні, а не точки
- компенсація руху об'єкта щодо вимірювальної системи у процесі контролю
- висока чутливість до переміщень (до часток мікрона)
- зшивання результатів вимірювань не в набір зображень, а в єдину тривимірну картину
- швидка та проста автоматизована процедура калібрування
- відкритий формат даних результатів вимірювань

2. Проектування автоматичної системи керування стендом калібрування тензорезисторів

При випробуваннях та градуюванні тензорезисторів необхідно вимірювати зміну опору, що залежить від деформації zdeформованого елемента. Про деформацію елемента тензорезистора, що навантажується в процесі випробувань або градуювання, судять з деформації пружного елемента, до якого приєднуються тензорезистори. З цього випливає, що характер навантаження та форма пружного елемента повинні бути обрані так, щоб на всій ділянці пружного елемента деформація поверхні мала однакове значення. Цією умовою задовольняється брус рівного опору згину, центрально розтягнутий стрижень, брус постійного перерізу, що піддається простому згину.

Установки вищої точності (УВТ) складається з таких засобів вимірювання (ЗВ) (рис. 2.1):

- установка, в якій використовується балка постійного перерізу, що навантажується за схемою чистого вигину;

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- компаратора - вимірника деформації[5].

Блок включає в себе градуйовану балку 1, навантажувальний пристрій 2, пульт керування навантаженням 8, оптична система вимірювання деформації 4. Тензодатчик містить перемикач 5, партію тензорезисторів 7, контрольно-вимірювальні прилади для перетворення падіння напруги 6 та ЕОМ(електронна обчислювальна машина) 10.

Принцип дії стенду заснований на вбудованому брусі постійного перерізу (градуйована балка), яка піддається простому чистому згинанню (балка вигинається по окружності і на всій її ділянці прогин балки має одне й те ж значення), що є найбільш раціональним в енергетичному та технологічному відношенні та забезпечує найвищу точність відтворення деформації та продуктивність при випробуваннях та калібруванні тензорезисторів.

Комп'ютер 9 керує двигуном 8 (через RS232), який розтягує балку чистого вигину. На балку наклеєні тензодатчики 7, які піддаються деформації внаслідок деформації балки. Комп'ютер посилає сигнал на вимикач 5, який перемикає тензодатчики і який зчитує їх показання через оптичну систему збору інформації, яка контролює деформацію балки. Оптична система в залежності від переміщень тензометрів 7 показує сигнал (точність до 0,1 відсотка), який передається на комутатор 5 (ком-порт через RS232). З перемикача 5 значення оптичної системи 4 передаються на пристрій управління для перетворення падіння напруги на тензодатчиках в цифровий код 6, з якого ці сигнали передаються назад на комп'ютер і зберігаються.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

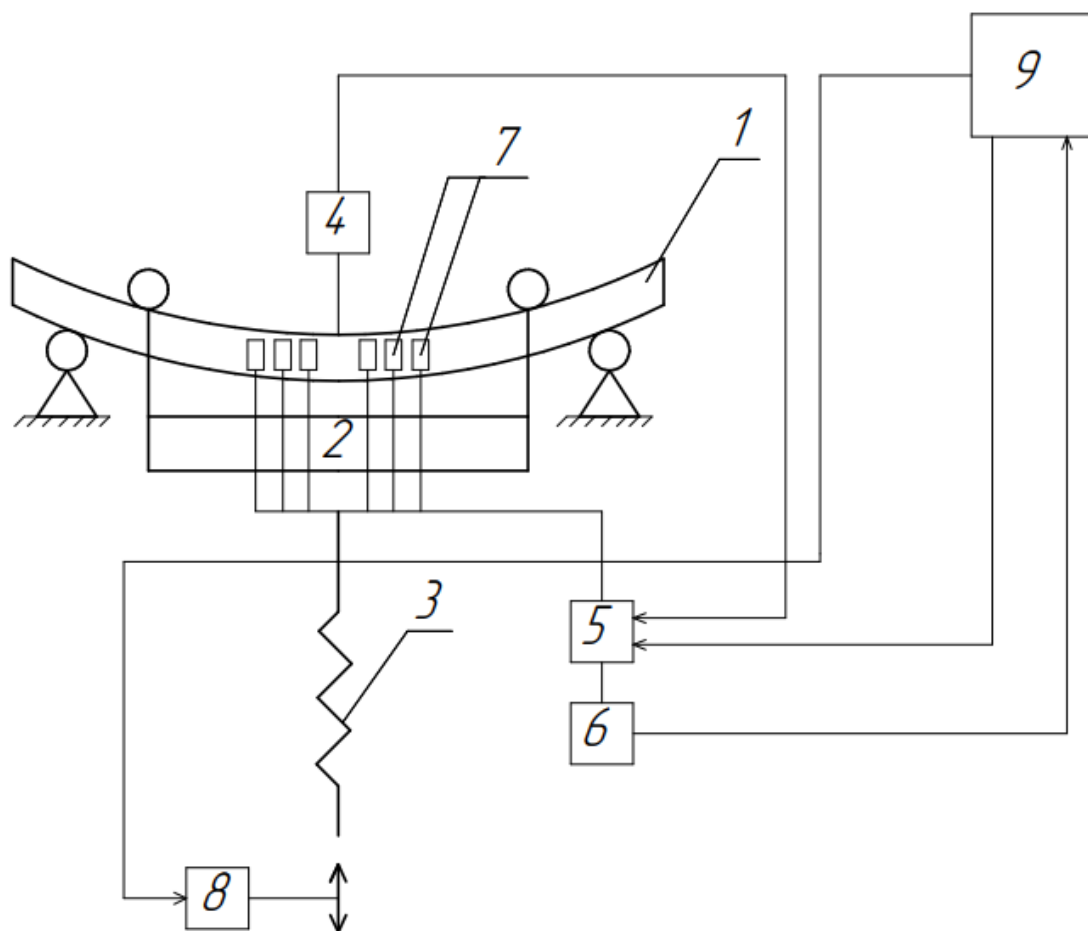


Рис. 2.1. Склад УВТ

- 1 - брусок постійного перерізу (градуйована балка)
- 2 – навантажувальний пристрій
- 3 - ходовий гвинт
- 4 - Оптична система збору інформації
- 5 - перемикач
- 6 - Вимірювання ПУ для перетворення ΔU на тензодатчиках
- 7 - тензодатчики
- 8 - контролер двигуна
- 9 - електронно-обчислювальна машина (комп'ютер)

2.1. Опис кінематичної схеми стенду та короткий опис ЗВ, що входять до складу ЗВТ

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Деформація балки 22 відбувається за допомогою навантажувального пристрою, кінематична схема якого показана на рис. 2.2.

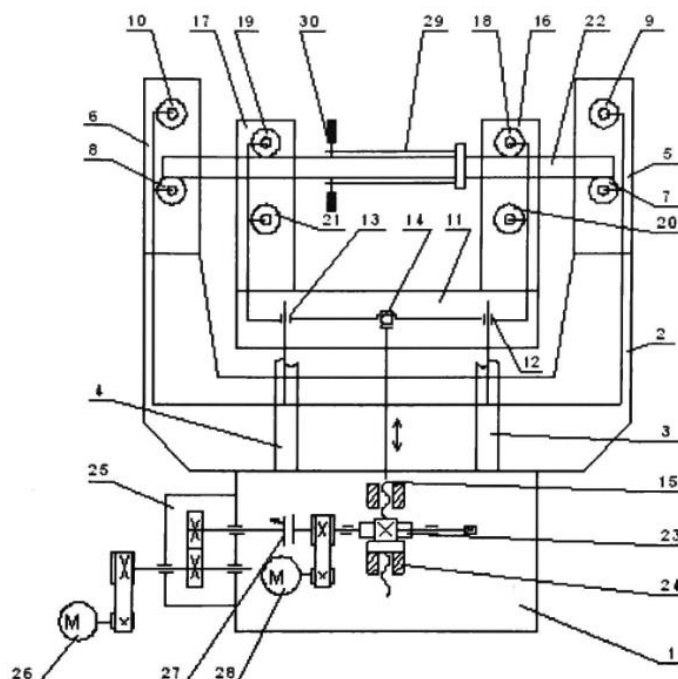


Рис. 2.2. Кінематична схема стенду

Основа 1, кронштейн 2 і колони 3 і 4 утворюють жорсткий каркас, навантажують підставку. На кронштейнах 2 на відстанях 700 ± 03 мм від осі опори 5 і з нижніми роликами 7 і 8 і верхніми 9 і 10. Стіл 11 переміщається на колонах 3 і 4 на направляючих втулках 12 і 13 та з'єднаний двостороннім кульовим шарніром 14 з ходовим гвинтом 15. електромеханічного приводу. На столі 11 на відстанях $350 \pm 0,02$ мм від осі навантаження встановлені опори 16 і 17 з верхніми 18 і 19 і нижніми 20 і 21 нажимними роликами.

Навантаження на градуйовану балку 22 від ходового гвинта 15 подається через притискні ролики 18 і 19 при деформації градуйованої балки опуклістю вниз, а притискні ролики 20 і 21 при деформації градуйованої балки опуклістю вгору.

Під час деформації градуйованої балки 22 на ходовому гвинті 15 забезпечується поступальний рух від черв'ячної передачі 23, яка розташована на основі 1 і розрізної гайки 24. Обертання черв'яка подається від редуктора

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

типу 25, що забезпечує швидкість обертання вихідного валу 1, 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10000. На трансмісії встановлений асинхронний електродвигун привода 26. Коробка передач меандрового типу дозволяє отримати широкий діапазон швидкостей деформації градуйованої балки: 0,005; 0,05; 0,5; 5; 50 мм/хв. Вихідний вал трансмісії 25 з'єднаний з черв'яком черв'ячної передачі 23 електромагнітною муфтою 27.

Під час поступальних переміщеннях столу електромагнітна муфта 27 відключається і черв'як отримує обертання від електродвигуна 28 через клиноремену передачу.

Управління установкою здійснюється за допомогою спеціального пульта.

Тензодатчик підключається до пристрою на базі ПК, який перед дослідженням має бути градуйований в одинарній деформації (ATS). До складу пристрою входять:

- вимірювач електричних сигналів тензорезисторів, який використовується для перетворення падіння напруги на тензодатчиках у цифровий код;
- блок комутації, який призначений для перемикання даного тензодатчика на вході вимірювального приладу;
- контролер на базі ПК, який виконує функції керування схемами керування, зберігає та обробляє результати вимірювань та реєструє їх;

Градування проводиться за допомогою мікрокатора перед початком дослідження. Це дає можливість проводити вимірювання з точністю до мікрона [6].

2.2. Вибір балки чистого вигину

Балка являє собою брусок прямокутного перетину 40x60x1500 мм, виготовлений з високолегованої сталі 35ХГСА. Градуйована балка, рис. 2.3 являються основним робочим елементом, на який наклеєні тензорезистори.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними вимогами до форм і розмірів градуйованої балки є те, щоб деформація її поверхонь мала однакову величину на всьому перерізі балки. Це означає, що форма і розміри калібрувальної балки повинні бути однаковими по всій довжині. Окрім того, балка, що навантажується, не повинна мати залишкової деформації після розвантаження, тобто повинна володіти дуже хорошими пружними якостями. Ці вимоги до градуйованої балки наведені на рис. 2.3[7].

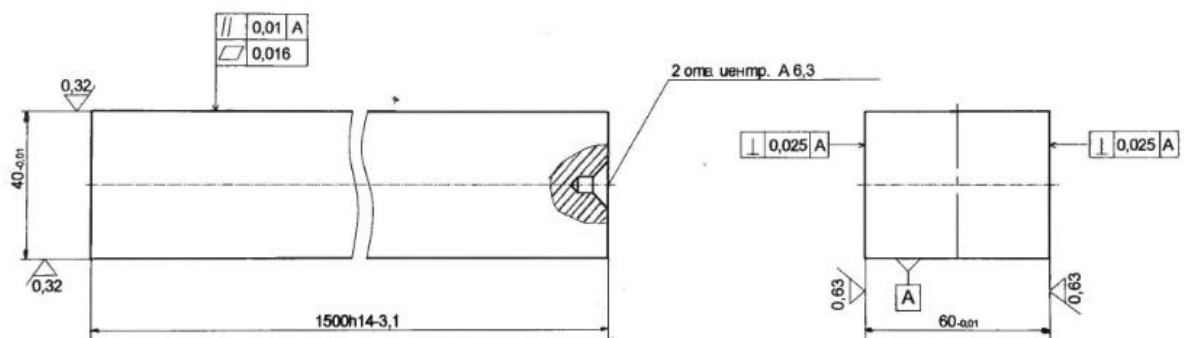


Рис. 2.3. Балка градуйована

2.3. Розрахунок зміни деформації виходячі з теорії чистого вигину

Під час чистого згинання балки (бруса) постійного перерізу її вісь вигинається по дузі кола. За цієї умови залежність між відносною деформацією ϵ наклеєного тензорезистора, геометричними розмірами градуйованої балки та її прогином має такі вирази:

$$\frac{L_0}{R_0} = \frac{L_0 - \Delta L}{R_0 - \frac{h}{2}} = \frac{L_0 + \Delta L}{R_0 + \frac{h}{2}} \quad (1.2)$$

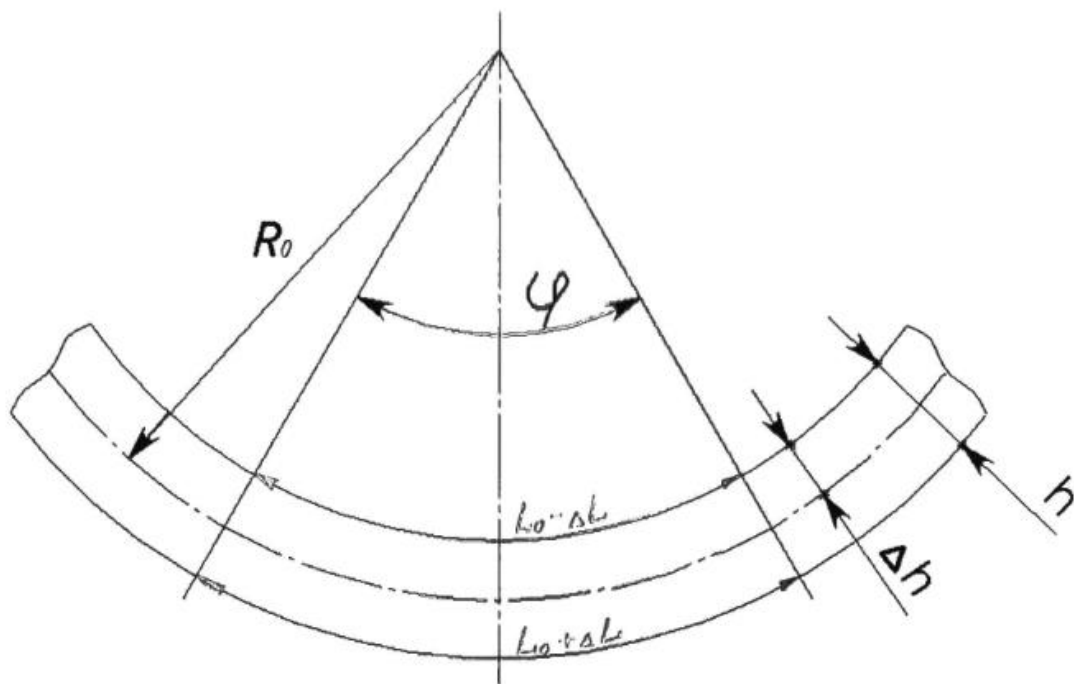


Рис. 2.4. Деформована балка (чистий вигин)

$$\frac{L_0}{R_0} = \frac{L_0 + \Delta L}{R_0 + \frac{h}{2}} \quad (1.3)$$

$$\frac{R_0 + \frac{h}{2}}{R_0} = \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} \quad (1.4)$$

$$1 + \frac{\frac{h}{2}}{R_0} = 1 + \frac{\Delta L}{L_0} = \varepsilon; \quad (1.5)$$

$$\frac{\frac{h}{2}}{R_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \varepsilon; \quad (1.6)$$

$$\varepsilon = \frac{h}{2R_0}; \quad (1.7)$$

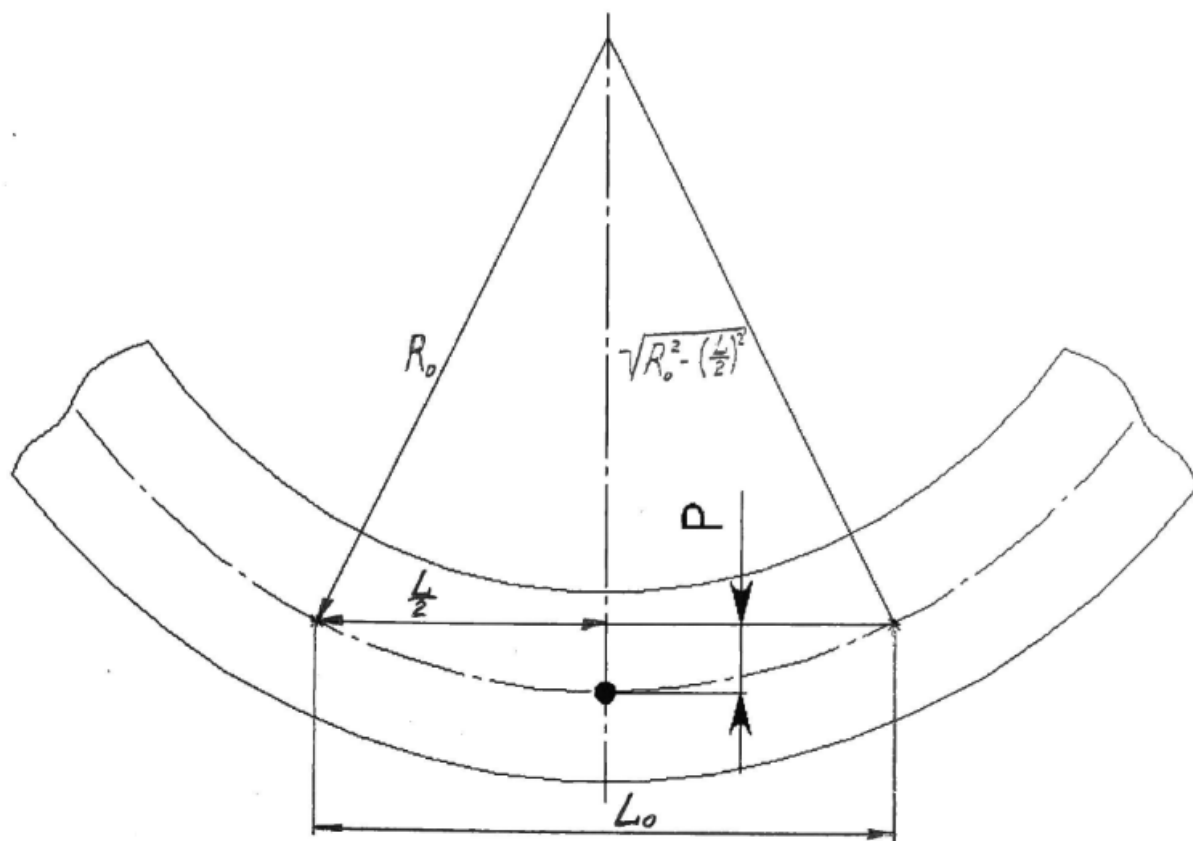


Рис. 2.5. Зв'язок між геометричними параметрами балки чистого вигину

Залежність геометричної деформації балки від геометричних параметрів

Рис. 2.5.

$$R_0 - \sqrt{R_0^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} = p; \quad (1.8)$$

$$R_0 - p = \sqrt{R_0^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}; \quad (1.9)$$

$$(R_0 - p)^2 = R_0^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2; \quad (1.10)$$

$$R_0^2 - 2R_0p + p^2 = R_0^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2; \quad (1.11)$$

$$2R_0p = p^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2; \quad (1.12)$$

$$R_0 = \frac{p^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}{2p} = \frac{p}{2} + \frac{L^2}{8p}; \quad (1.13)$$

$$\varepsilon = \frac{h}{2R_0} = \frac{h}{p + \frac{L^2}{4p}}. \quad (1.14)$$

де h - товщина бруса, мм;

p - прогин балки, мм;

ΔL – відносне видовження балки, мм;

L - основа прогінюмери, мм;

R_0 - радіус вигину балки, мм

Вираз (1.4) — це залежність між прогином балки та її деформацією. Використовується при калібруванні деформаційного вимірювального перетворювача.

Технологічний процес під час якого проводиться процес калібрування і випробування тензорезисторів має послідовність: на монтажному столі на градуйованій балці встановлюється тензодатчик і проводиться первинний монтаж напівмостів вимірювальної електричної схеми. Потім градуйовану балку перекачують на навантажувальний пристрій, де виконується завершальний монтаж вимірювальної схеми і проводиться деформація балки на чистий вигин з визначенням характеристик тензорезисторів[8].

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розробка автоматизованої системи пуском електродвигуна та оптичної системи для зняття поля деформації

Автоматизація пуску двигуна значно полегшує керування електроприводом, усуває можливі помилки під час пуску та веде до підвищення продуктивності механізмів. Найбільш просто здійснюється автоматизація для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, оскільки управління пуском тут зводиться в переважній більшості випадків до прямого включення двигуна на повну напругу мережі. Для потужних синхронних та асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором пуск іноді здійснюється перемиканням обмотки статора зі зниженої напруги на номінальну. При проектуванні схем управління асинхронних двигунів із фазним ротором виходять із заданих умов пуску. На рис. 3.1 показано пускову діаграму двигуна з трьома ступенями пускового резистора (реостата), побудовану з умов зміни струму в певних заданих межах від I_1 до I_2 . Пуск електродвигуна, згідно з цією діаграмою, може бути зроблений вручну або автоматично.

Якщо пуск здійснюється вручну, то резистори перемикаються з орієнтуванням на показання амперметра ланцюга якоря. Автоматичне управління дозволяє більш точно витримати задані умови пуску та звільняє людину від виконання стомлюючих операцій. Вимкнення ступенів резистора має відбуватися за певної кутової швидкості двигуна ($\omega_1, \omega_2, \omega_3$), певному струмі I_2 і через певні проміжки часу (t_1, t_2, t_3). Очевидно, що управління пуском може бути здійснено функції швидкості, струму, часу.

Іноді керування двигуном здійснюється у функції шляху. Діаграми наведені на рис. 3.1 ілюструють процес ступінчастого пуску за допомогою

					<i>МД ПМ-01мп02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

релейно-контактних апаратів в розімкнених системах управління.

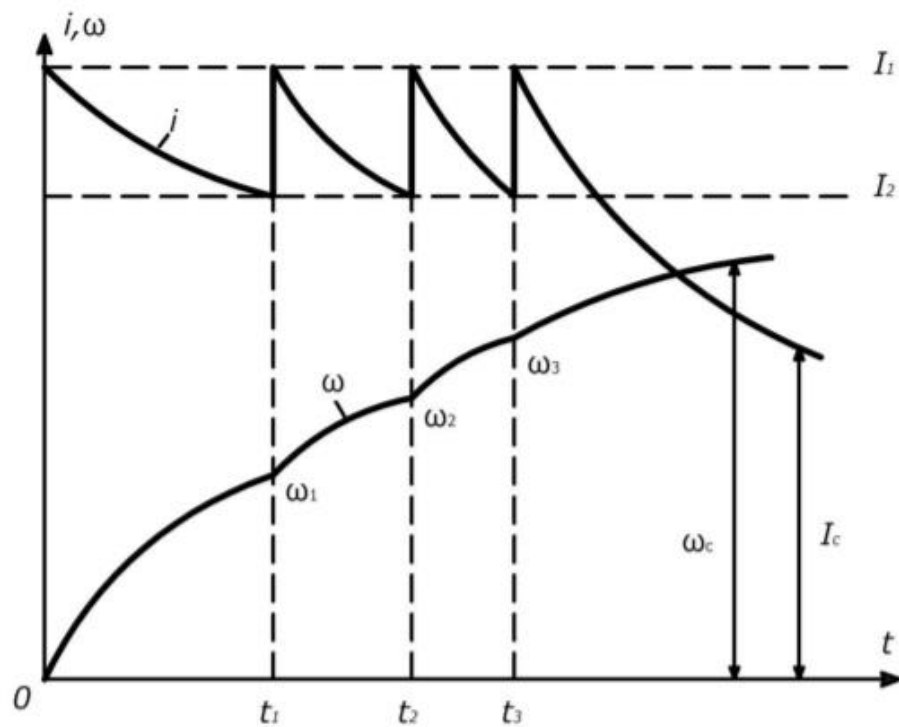


Рис. 3.1. Пускова діаграма двигуна з трьома ступенями пускового резистора

Схема керування асинхронним двигуном представлена на рис. 3.2. При натисканні кнопки пуску SB2 спрацьовує реле КМ, яке стає на саможивлення, двигун М підключається до мережі і розганяється.

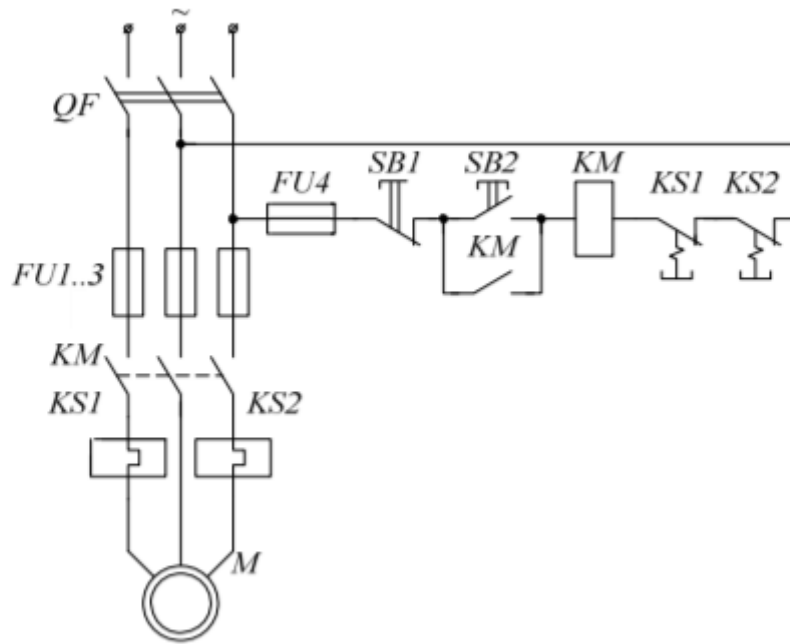


Рис. 3.2. Схема пуску асинхронного двигуна

Захист від навантаження реалізується в такий спосіб. Якщо струм статора більший за допустимий струм $I > I_{\text{доп}}$, то елементи теплових реле KS1, KS2 нагріваються. При сильному нагріванні блок-контакти KS1, KS2 розмикаються, знеструмлюючи ланцюг із реле KM, після чого двигун відключається від мережі. Нульовий (від зниження напруги) захист здійснює реле KM1 (магнітний пускач). В інших схемах управління для цього додатково можуть включатися і інші реле. Для захисту від коротких замикань (КЗ) встановлені запобіжники FU.

Гальмування асинхронного двигуна

Електричне гальмування двигуна можна здійснити як при живленні від мережі змінного струму (гальмування противключення та рекупераційне гальмування), так і при підключенні ланцюга статора до джерела постійного струму (динамічний гальмування), а також при його збудженні. У всіх випадках гальмування двигуна здійснюється переведенням його в режим генератора, в якому він розвиває на своєму валу гальмівний момент.

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1. Гальмування противключенням.

Цей режим може бути реалізований двома способами. Один з них пов'язаний зі зміною чергування на статорі двох фаз живлячого двигуна напруги. Допустимо, що двигун працює на механічній характеристиці 1 у точці «а» (рис. 3.3, а) при чергуванні фаз напруги на статорі АВС. Тоді при перемиканні двох фаз (наприклад, В і С) двигун переходить на характеристику 3 в точку «d», проміжок db який відповідає гальмування противключенням. При реалізації гальмування для обмеження струму та моменту двигуна проводиться включення додаткових резисторів у ланцюг ротора чи статора.

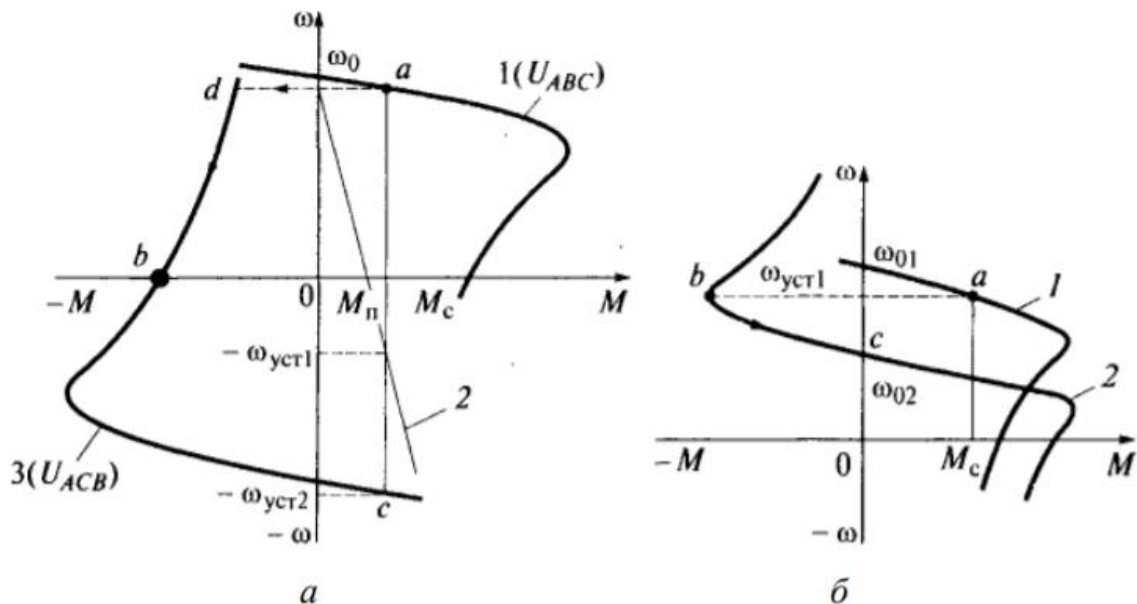


Рис. 3.3. Механічні характеристики при гальмуванні противключенням (а) та рекупераційному гальмуванні (б)

3.4. Схеми керування реверсом двигунів

При здійсненні реверсу двигунів слід виключити режим короткого замикання (КЗ) у разі неправильної дії персоналу. Наприклад, одночасно натискання кнопок «Вперед» і «Назад» може призвести до КЗ. Такі режими

виключаються за допомогою електричних блокувань (рис. 3.12).

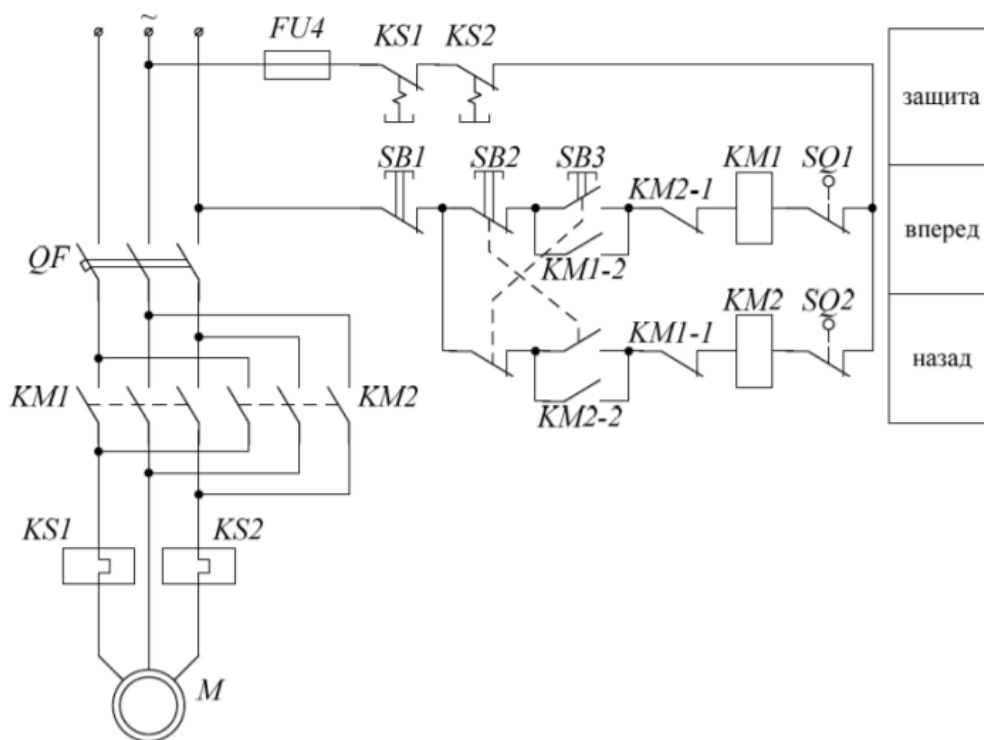


Рис. 3.4. Схема керування реверсом асинхронного двигуна

У цій схемі є блокування від неправильних дій у вигляді здвоєних кнопок SB2 і SB3. Від приварювання (залипання) контактів – блок-контакти KM1-2 та KM2-2. Захист від недозволених переміщень – кінцеві вимикачі SQ1 та SQ2 (кінцевий захист). Вимикач SQ1 розмикається при досягненні переміщень крайнього положення "наперед", а SQ2 - "назад". У цих положеннях двигун зупиняється. Можна натисканням кнопки, що протидіє, змусити двигун переміщатися назад. При натисканні кнопки пуску SB3 спрацьовує реле KM1, яке стає на саможивлення, двигун М підключається до мережі ABC і розганяється. При натисканні кнопки SB2 відпадає реле KM1, спрацьовує реле KM2, яке стає саможивлення, двигун М підключається до мережі BAC і реверсується. При натисканні кнопки SB1 відбувається зупинка двигуна. [9]

3.2. Безконтактне вимірювання деформації методом DIC

Метод кореляції цифрових зображень DIC (digital image correlation) заснований на цифровій відеозйомці процесу деформації об'єкта, моделі або зразка під час випробування та комп'ютерної обробки з кореляційним аналізом отриманих зображень.

Для того щоб виміряти деформацію, DIC-метод визначає переміщення поверхні об'єкта, що вимірюється під час експерименту, використовуючи природний малюнок шорсткості поверхні зразка або спеціально нанесений на неї спекл-малюнок. При цьому аналізується відносне усунення малюнка поверхні в невеликих областях по всьому зображенню. Програмне забезпечення обчислює повне поле деформацій по всій поверхні об'єкта та його тривимірну форму, що дозволяє точно визначати області локалізації деформації.

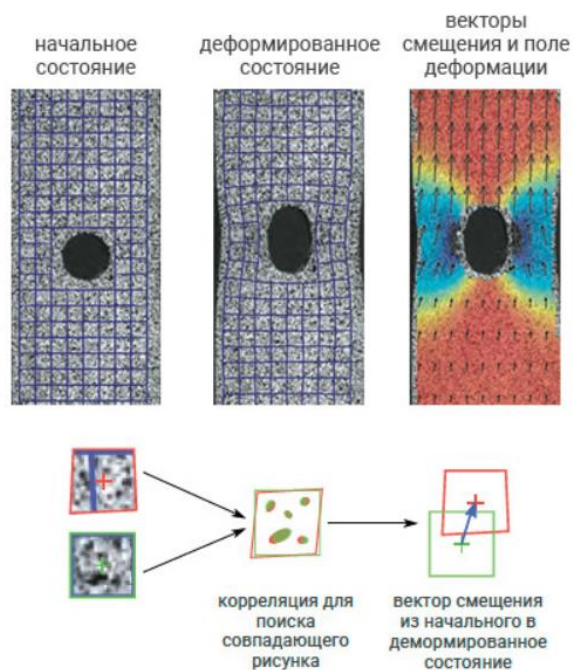


Рис. 3.5. Безконтактне вимірювання деформації методом DIC

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Візуалізація

Поле деформацій та вектори зміщення відображаються поверх зображення зразка, є можливість виведення даних у вигляді 2D та 3D-візуалізації, графіків та таблиць.

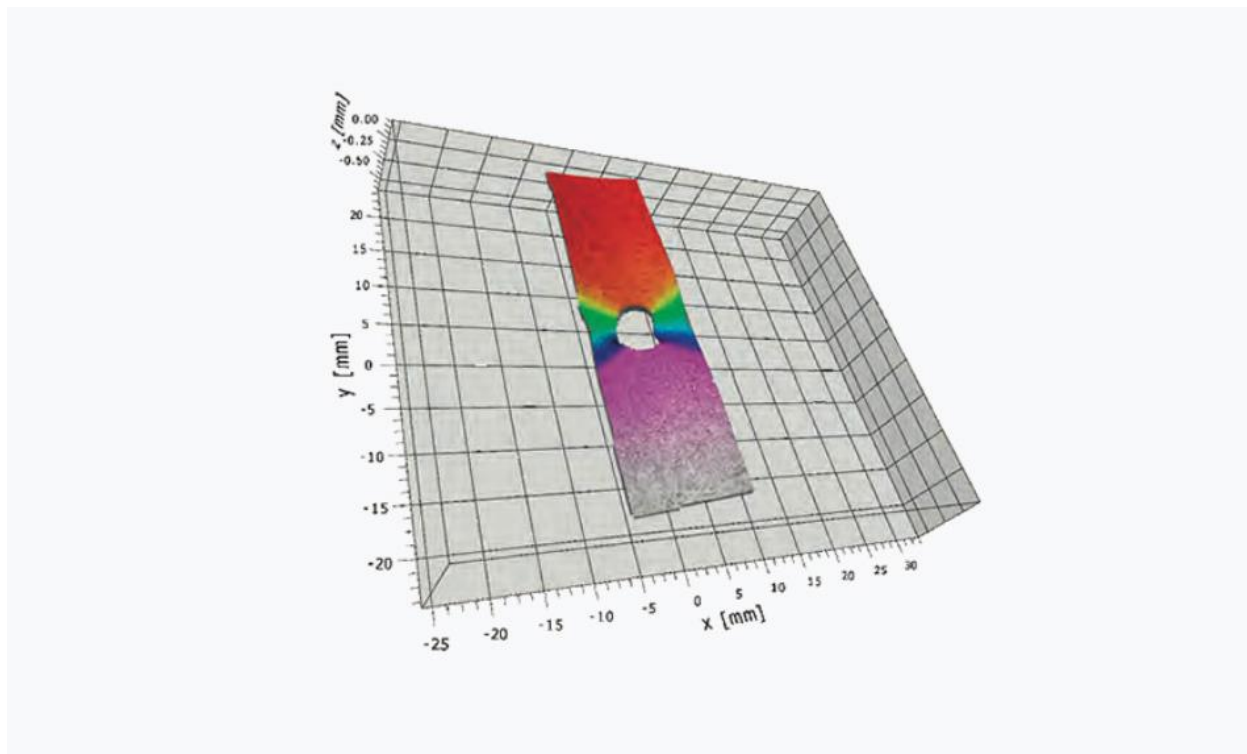


Рис. 3.6. Візуалізація поля деформації

Системи безконтактного виміру деформацій StrainMaster виробництва фірми LaVision (Німеччина) можуть бути застосовані на будь-яких випробувальних машинах, необхідно лише забезпечити оптичний доступ до поверхні зразка. Спеціальні версії систем StrainMaster дозволяють вимірювати мікро-деформації, високошвидкісні деформації, а також досліджувати складні процеси взаємодії об'єкта із середовищем, наприклад, при проведенні експерименту в аеродинамічній трубі.

Система StrainMaster поставляється як у модульному виконанні, включаючи цифрові CMOS-камери наукового класу, набори об'єктивів, освітлювальні прилади, блок синхронізації та оснащення для монтажу та калібрування, так і у вигляді єдиного оптико-електронного блоку StrainMaster

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Compact з високоточним заводським калібруванням. обмежений діапазон вимірів.

Модульні системи дають користувачеві максимальну гнучкість у застосуванні системи, однак, для більшості завдань дослідження матеріалів рішення StrainMaster Compact найбільш зручне, тому що не вимагає виконання процедур калібрування та заощаджує час на розгортання системи та приєднання великої кількості кабелів. [10]

3.3. Система для безконтактних оптичних вимірювань DIC-Q400

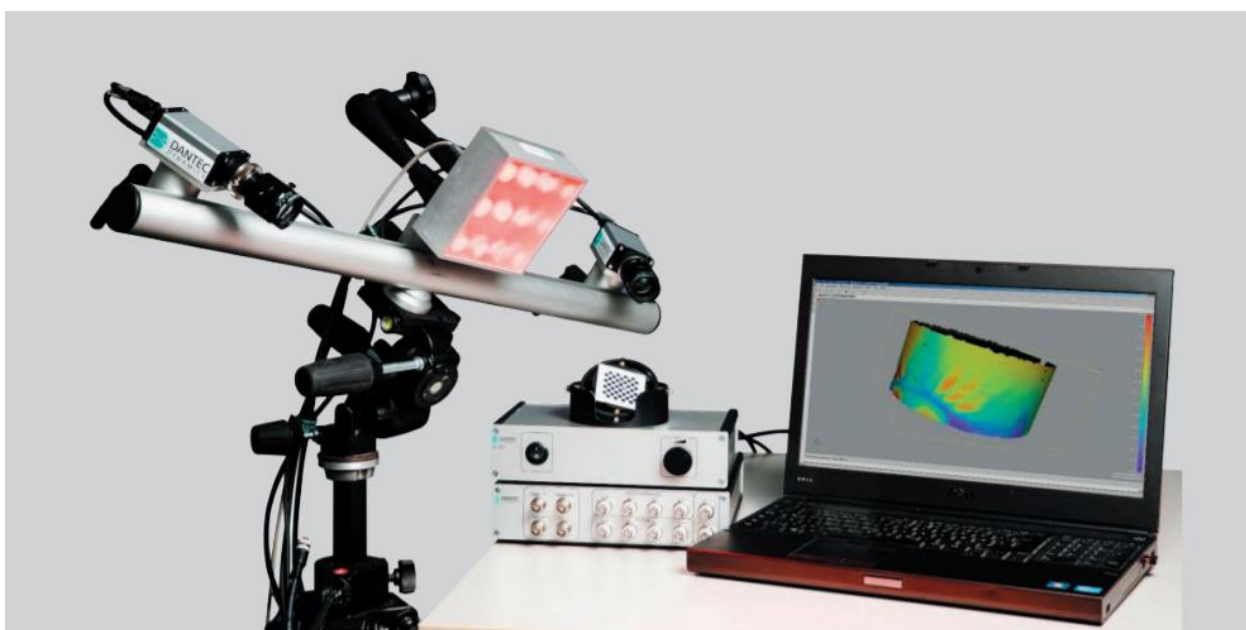


Рис. 3.7. Система для безконтактних оптичних вимірювань DIC-Q400

Оптична вимірювальна система DIC Q-400 застосовується для безконтактного тривимірного аналізу переміщень і деформацій поверхні об'єкта, що досліджується при випробуваннях на розтяг, кручення, вигин або комбінованих випробуваннях.

Результат застосування системи – поле переміщень поверхні об'єкта, компоненти деформації визначаються для кожної точки поверхні. Результати відображаються в режимі реального часу та можуть бути збережено для подальшої постобробки.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип дії

Метод кореляції цифрових зображень (Digital Image Correlation – DIC) дозволяє відслідковувати переміщення поверхні зразка під час випробувань на розтяг, стиснення, вигин.

Зображення зразка розбивається на сектори та аналізується переміщення малюнка поверхні (природного або нанесеного за допомогою барвника) у межах кожного елементарного вікна. Максимум кореляції відповідає переміщенню поверхні і дає довжину та напрямок вектора для кожного елементарного вікна.

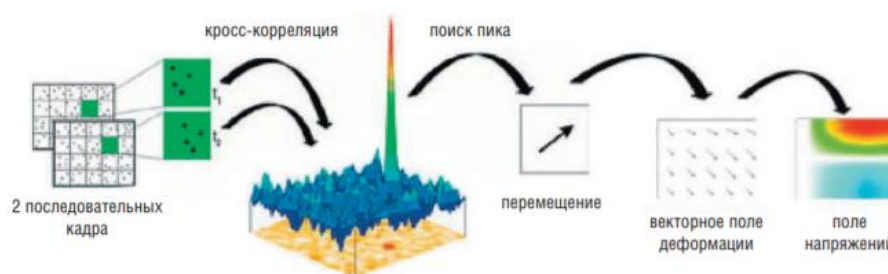


Рис. 3.8. Принцип роботи оптичної системи

Для аналізу необхідні мінімум два зображення випробуваного зразка, одне з яких зазвичай знято при нульовому навантаженні. Для отримання зображень використовують CCD-відеокамеру. При використанні стерео системи із двох CCD відеокамер можливе вимірювання деформацій у тривимірному просторі. Системи DIC дозволяють аналізувати як статичні навантаження, так і швидкоплинні процеси при випробуванні матеріалів за допомогою швидкісних відеокамер.

ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ

- безконтактний метод виміру
- відображення результатів у режимі реального часу
- вимірювання переміщення та деформації поверхні, а не точки
- компенсація руху об'єкта щодо вимірювальної системи у процесі контролю

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- висока чутливість до переміщень (до часток мікрона)
- зшивка результатів вимірювань над набору зображень, а єдину тривимірну картину
- швидка та проста автоматизована процедура калібрування
- відкритий формат даних результатів вимірювань

СОСТАВ DIC Q-400

- камери високої роздільної здатності 1-16 Мп, до 8 шт.
- пристрій монохромного рівномірного освітлення
- модуль синхронізації
- керуючий модуль
- спеціальне програмне забезпечення

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Чутливість до вимірювання переміщень: Не гірше 1 до 100000 від поля зору (тобто до 10 мкм для поля зору 1 м)
- Область вимірів: від 0,5х0,5 мм
- Типова похибка: виміру 3 мкм
- Діапазон вимірюваної відносної деформації: 0,005-2000%
- Максимальна похибка виміру деформації: 1 мікрострейн (10-6)
- Частота захоплення зображення: до 16 кГц
- Формати даних: HDF5, SciLab, MatLab, jpg, avi, stl и др. [11]

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Програма калібрування тензорезисторів

```
#define STAT 0 x 309    /* Реєстр стану макетної плати */
#define CNTRL 0 x 30C   /* Керуючий регістр макетної плати */
#define ADC 0 x 308     /* АЦП: адреса та дані */
#define STRTAD 0x30A    /* Реєстр запуску перетворення */

main ( )

{
int nagr 0,5, nagr 30, nagr x, slope,F, velichinasoprotivlenia;
char c=0

output(CNTRL,1);        /* Установка другого біта в управляючому */
                        /*регістрі для дозволу запуску програми*/
                        /* перетворення */

output(ADC,1):          /* Вибір каналу 1*/

printf («Ввести величину навантаження F \ n»);
printf («Калібрування 1: задати навантаження =0,5 \ n»);
printf («Через 1 хвилину натисніть будь-яку клавішу. \n»);

while (!kbhite());      /* Чекає натискання клавіші */
    nagr 0,5=get_data() /* Отримати значення величини
                        струму для порога ударних навантажень =0,5*/

printf («Ввести величину навантаження F \ n»);
printf («Калібрування 2: задати навантаження F =30 \ n»);
printf («Через 5 хвилин натисніть будь-яку клавішу. \n»)
```

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

while (!kbhit());          /* Чекати натискання клавіші */
nagr 30=get_data()
slope=29,5/( nagr 30- nagr 0,5);    /* Розрахунок коефіцієнта лінійної */
/* залежності величини опору від величини навантаження F */

printf («Натисніть будь-яку клавішу для відліку величини опору. \n»);
printf («Натисніть е, щоб вийти з програми. \n»);

while(c!='e')              /* Повторювати, доки не натиснута клавіша е*/
{
    If (kbhit())            /* Відлік величини опору, якщо натиснута
    будь-яка клавіша */
    {
        nagr x=get_data();

        velichinasoprotivlenia =slope*( nagr x/F); /* Розрахунок величини
    опору */

        printf («Величина опору = мкОм d/n», velichinasoprotivlenia);
        c=getch();
    }
}

get=data()
{
    int datum;

    outp(STRTAD);          /* Запуск перетворення */
    while(!(inp(STAT)&2)); /* Чекати на завершення
    перетворення */

```

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        datum=inp(ADC);
        return(datum);
    }

output(ADC,1):          /* Вибір каналу 2*/

printf («Ввести величину навантаження F \ n»);
printf («Калібрування 1: задати навантаження =0,5 \ n»);
printf («Через 1 хвилину натисніть будь-яку клавішу. \n»);

while (!kbhite());      /* Чекати натискання клавіші */
    nagr 0,5=get_data()  /* Отримати значення величини
                        струму для порога ударних навантажень =0,5*/

printf («Ввести величину навантаження F \ n»);
printf («Калібрування 2: задати навантаження F =30 \ n»);
printf («Через 5 хвилин натисніть будь-яку клавішу. \n»);

while (!kbhit());       /* Чекати натискання клавіші */
    nagr 30=get_data()
slope=29,5/( nagr 30- nagr 0,5);    /* Розрахунок коефіцієнта лінійної */
/* залежності величини опору від величини навантаження F */

printf («Натисніть будь-яку клавішу для відліку величини опору. \n»);
printf («Натисніть е, щоб вийти з програми. \n»);

while(c!='e')           /* Повторювати, доки не натиснута клавіша е*/
{
    If (kbhit())         /* Відлік величини опору, якщо натиснуто */
                        /* будь-яка клавіша */

```

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        {
            nagr x=get_data();

            velichinasoprotivlenia =slope*( nagr x/F); /* Розрахунок величини
опору */

            cprintf («Величина опору =мкОм d/n», velichinasoprotivlenia);
            c=getch();
        }
    }
    }

    get=data()
    {
        int datum;

        outp(STRTAD);    /* Запуск перетворення */
        while(!(inp(STAT)&2)); /* Чекати на завершення
перетворення */

        datum=inp(ADC);
        return(datum);

        output(ADC,1):    /* Вибір каналу 3*/

        cprintf («Ввести величину навантаження F \ n»);
        cprintf («Калібрування 1: задати навантаження =0,5 \ n»);
        cprintf («Через 1 хвилину натисніть будь-яку клавішу. \n»);

        while (!kbhite());    /* Чекати натискання клавіші */

        nagr 0,5=get_data()    /* Отримати значення величини
струму для порога ударних навантажень =0,5*/

```

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

printf («Ввести величину навантаження F \ n»);
printf («Калібрування 2: задати навантаження F =30 \ n»);
printf («Через 5 хвилин натисніть будь-яку клавішу. \n»)

while (!kbhit());          /* Чекати натискання клавіші */
nagr 30=get_data()
slope=29,5/( nagr 30- nagr 0,5);      /* Розрахунок коефіцієнта лінійної */
/* залежності величини опору від величини навантаження F */

printf («Натисніть будь-яку клавішу, щоб відлік величини опору. \n»);
printf («Натисніть е, щоб вийти з програми. \n»);

while(c!='e')              /* Повторювати, доки не натиснута клавіша е*/
{
    If (kbhit())            /* Відлік величини опору, якщо натиснуто */
                            /* будь-яка клавіша */
    {
        nagr x=get_data(); [24]

        velichinasoprotivlenia =slope*( nagr x/F); /* Розрахунок величини
опору */

        printf («Величина опору =мкОм d/n», velichinasoprotivlenia);
        c=getch();
    }
}

get=data()
{
    int datum;

```

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        outp(STRTAD);    /* Запуск перетворення */
        while(!(inp(STAT)&2)); /* Чекає на завершення
перетворення */

        datum=inp(ADC);
        return(datum);

```

5. Математична модель об'єкту проектування, розрахунок основних характеристик системи

5.1. Розробка принципових схем деформаційно-вимірювального перетворювача.

Технічні вимоги до конвертора:

- тип пружного елемента - балка;
- задані деформації ± 3000 о.в.д.;
- похибки відтворення деформації, не більше ± 10 о.в.д.;
- РКП вимірювального перетворювача 2 мВ / В;
- відліковий тип - цифровий.

Блок схеми подальшого перетворення вимірюваної величини Δl в тензометричному перетворювачі показаний на рис. 5.1.

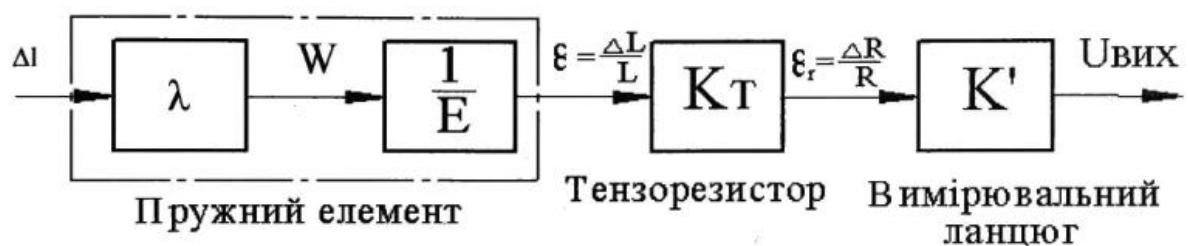


Рис. 5.1. Структурна схема тензометричного перетворювача

Перша ланка цього ланцюга - пружний чутливий елемент (ПЧЕ) має форму пластини з прямокутним перерізом, яка працює на згинання, в умовах якого можна розділити два етапи перетворення: конструкція (форма) ПЧЕ

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворює видовження балки в поле механічних напруг σ , а останній, згідно з законом Гука, для матеріала з якого виготовлений ПЧЕ перетворюється на поле деформацій ε_r в повздовжньому напрямку зовнішньої поверхні пружного чутливого елементу, на якій наклеєні тензорезистори.

Друга ланка перетворювача - тензорезистори (ТР), що витримують деформації, рівні деформаціям поверхонь ПЧЕ, які розташовані безпосередньо під ними. Тензорезистори перетворюють сукупність деформацій в сукупність змін опорів ΔR .

Третя ланка перетворення - мостова схема з'єднання тензорезисторів, яка перетворює зміни опору тензорезисторів і нормалізуючих перетворювачів у зміну коефіцієнта перетворення напруги ΔK , яке рівне відношенню зміни вихідної напруги $\Delta U_{вих}$ до напруги живлення $\Delta U_{жив}$.

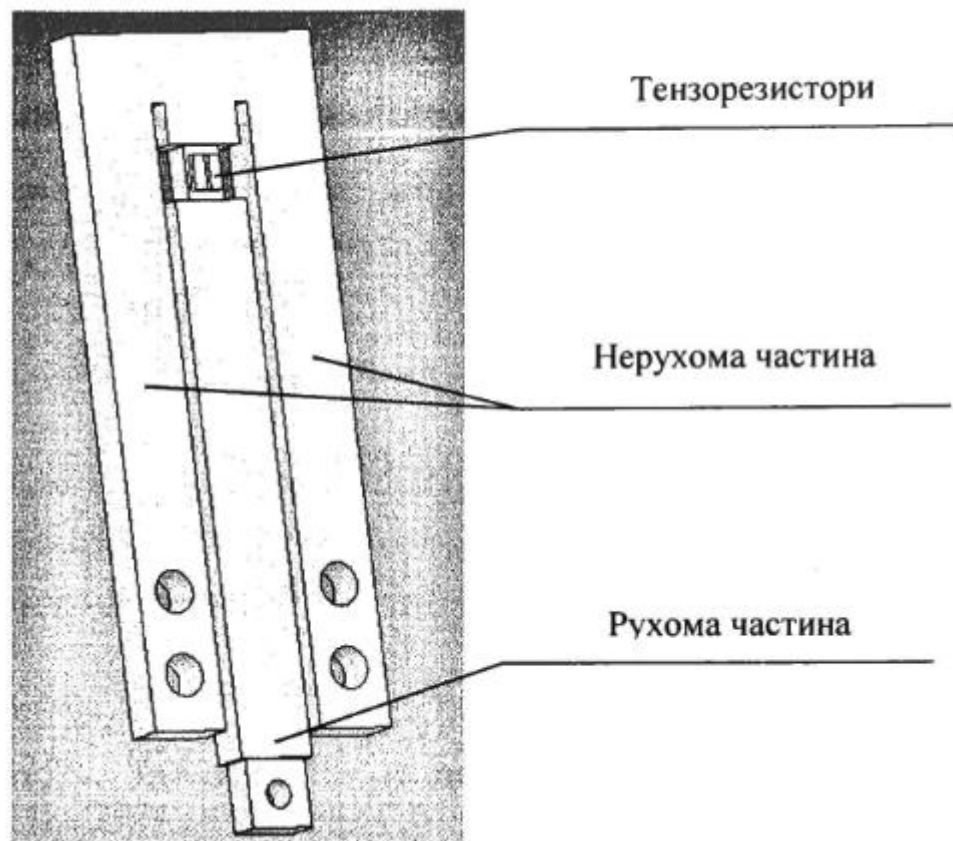


Рис. 5.2. Чутливий елемент перетворювача.

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На етапі проектування вибираємо чутливий елемент Ш-образної форми
 Рис. 5.2. Рух рухомої опорної призми перетворюється в електричний сигнал
 резистивною системою - тензодатчиками, які з'єднані в мостову схему.
 Тензодатчик має різні системи кріплення, тому дозволяє змінювати його
 основу [12].

5.2. Опис з'єднання мостової схеми тензорезисторів

Як зазначалося раніше, в цьому тензометрі, як і в багатьох інших, є
 мостова схема підключення тензорезисторів (рис. 5.2.), що живляться від
 напруги U_n . Перевага мостової схеми полягає в тому, що вона вимірює лише
 зміни опорів тензодатчиків R_1 , R_2 , R_3 і R_4 , а не їх загальний опір.
 Балансування моста при відсутності навантаження на пружному елементі
 датчика сили можна виключити постійну складову вихідного сигналу.
 Збалансувати міст тензодатчиків можна не при нулі, а при будь-якому
 заданому навантаженні на пружний елемент датчика сили, що, в свою чергу,
 дає можливість вимірювати відносне силу. В обох суміжних плечах групи з
 тензодатчиками входять допоміжні регулюючі резистори для початкового
 балансування моста.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

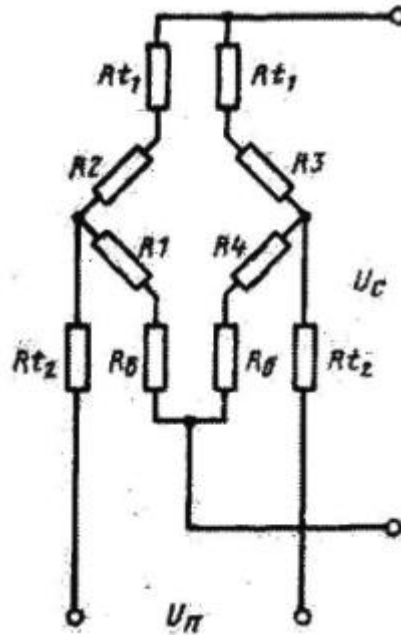


Рис. 5.3. Мостова схема підключення тензорезисторів

Міст забезпечує прості сили, схему температурної компенсації та знижену чутливість датчика до невимірних компонентів сили. Для вирівнювання опорів тензорезисторів, які неминуче мають певну дисперсію, до плеча моста входять термочутливі опори R_{t1} і балансування R_6 . Це виключає вплив температурних деформацій пружного елемента, а також температурних змін опору тензодатчиків.

Для компенсації температурних змін тензочутливості тензорезисторів, які викликають зміни чутливості датчика сили, діагональна схема живлення моста включає термочутливі опори R_{t2} , які регулюють напругу живлення моста для компенсації змін чутливості з температурою. .

Установка термочутливих резисторів R_{t1} і R_{t2} дозволяє знизити температурну похибку нуля R_{t1} і температурну похибку чутливості R_{t2} до 0,1-0,5% при 10 °C для дрітчастих і фольгованих тензодатчиків. [13].

Використання температурної компенсації необхідно в датчиках з напівпровідниковими тензорезисторами, через що їх температурні похибки на

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порядок вище, аніж для металу не можуть досягати 10% від вимірюваної величини для кожного 10 °С.

Підключення тензорезисторів у всі плечі мостів зменшує похибку приблизно в 30 разів, тобто до 0,3% при 10 °С, якщо розкид опорів тензорезисторів не перевищує $\pm 1\%$, а тензочутливості $\pm 2\%$. З'єднання в ланцюзі моста терморезисторів забезпечують температурні похибки в 10-20 разів. Так, температурна похибка силових датчиків з струмопровідними тензорезисторами може досягати не більше 0,05-0,1% при 10 °С, тобто може досягати значення, що відповідає якісним датчикам з металевими тензорезисторами.

Поряд з термокомпенсаційними опорами і балансами в мостову схему можна вводити ще опори R_a і R_b , за допомогою яких можна регулювати значення вхідних і вихідних опорів моста. Регулювання опору мостів і, отже, його чутливості необхідна в тих випадках, коли потрібно зберегти взаємозамінність датчиків. Можна використати приклад, компанія BLN (США) групує датчики за ступенем точності підгонки вхідних і вихідних опорів в межах 0,1-0,25% від номінального [14].

Градуїрована характеристика тензорезисторів повинна бути лінійною.

Удосконалення існуючих конструкцій тензорезисторів, що є завданням приладобудування в цій галузі, полягає в розширенні їх застосування, підвищенні продуктивності та точності. Це вимагає впровадження сучасних матеріалів, схематичних рішень та забезпечення автоматизованої реєстрації та результатів вимірювань.

Оскільки серійні тензодатчики не забезпечують виконання багатьох специфічно вимірювальних задач, у тому числі при кріогенних температурах, разом з вимірюванням деформацій і температур, динамічних тисків у широкому діапазоні частот і температур, високих рівнів деформації тощо, кількість організацій самостійно розробляють необхідні для цього тензорезистори і тензодатчики, як загального призначення, так і спеціальні,

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засновані на різних принципах дії: ємнісні, фотоелектричні, напівпровідникові та інші.

Така ситуація призводить до необхідності вивчення питань оптимізації міжгалузевої номенклатури тензорезисторів та чіткої класифікації їх призначення. У цьому положенні тензодатчики можна розділити наступним чином:

- тензодатчики для міцносної тензометрії, призначені для вимірювання деформації ε в діапазоні $\pm 3000 \times 10^{-6}$, при яких робочі температури становлять від -100 до $+200$ °C;

- тензодатчики для високотемпературного сильного тензометра, де $\varepsilon = \pm 2000 \times 10^{-6}$, $t_{\max} = 1000$ °C;

- тензодатчики, призначені для низькотемпературного сильного тензометра в діапазоні $\varepsilon = \pm 2000 \times 10^{-6}$, при $t_{\min} = -273$ °C;

- тензодатчики, що забезпечують одночасне вимірювання температури та деформації під час сильних випробувань виробів; вони мають $\varepsilon = \pm 2000 \times 10^{-6}$, робочі температури при цьому від 10 до 1000 °C;

- тензодатчики, призначені для вимірювання динамічних деформацій при високих температурах: $\varepsilon = \pm 1500 \times 10^{-6}$, $t_{\max} = 1000$ °C, частотний діапазон вимірювання $f = (1-2 \times 10^4)$ Гц;

- тензодатчики, призначені для вимірювання великих деформацій:

- $\varepsilon = \pm 20000 \times 10^{-6}$, робочі температури при цьому становлять від -70 до $+200$ °C.

Слід також зазначити, що останнім часом у багатьох галузях промисловості все більше використовуються тензодатчики тріщин, а також спеціальні тензодатчики для виявлення накопиченої кількості пошкоджень в конструкції.

Для міцносної тензометрії при робочих температурах від -100 до $+200$ °C підійдуть такі тензорезистори KF4 і KF5. Раніше випробування показали,

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що ці тензодатчики можуть витримувати деформаційні тиски до 5000×10^{-6} , не пошкоджуючи їх.

Істотний вплив суб'єктивних факторів на достовірність результатів мають особливості тензометричних вимірювань. Тому на даний момент розроблено методику оцінки величини створення та реалізації похибок тензорезисторів.

До недавнього часу ті, хто має справу зі зразками приладів, виробляли і використовували вимірювальні деформації типів, а також у тому числі тензокалібраторів лінійних деформацій застарілих типів, установок ТС-4, ТБ-12, УГТВ, УГТН та інших конструкцій саморобного типу, які за точними характеристиками, зручністю та продуктивністю в експлуатації не відповідають рівню промисловості на сучасний стан. [15].

5.3. Розрахунок основних геометричних параметрів перетворювача

На цьому етапі проектування нам потрібні точне визначення геометричних параметрів чутливого елемента тензорезистора. Виходячи з норми тензометра, ми знаємо, що площа наклейки тензорезисторів (робоча зона) повинна бути меншим перерізом, ніж переріз чутливого елемента (рис. 5.5). Тому розрахунки та виведення основної формули повинні базуватися на тому, що:

Максимально допустима деформація дорівнює ± 3000 о.в.д. Це означає, що співвідношення між видовженням балки і базою прогнометра буде дорівнювати

$$\frac{\Delta L}{L} = 3 \cdot 10^{-3}.$$

Тому

$$\Delta L = 3 \cdot 10^{-3} \cdot L.$$

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

І звідси можна обчислити, що максимальне видовження балки буде дорівнювати

$$\Delta L = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \text{ мм};$$

$$\Delta L = 0.09 \text{ мм}.$$

Звідси відносно видовження балки буде дорівнювати $\Delta L \approx 0.1 \text{ мм}$.

Якщо виходити з теорії чистого вигину, то можна записати наступні геометричні відмінності між параметрами чутливого елемента (рис. 5.4.).

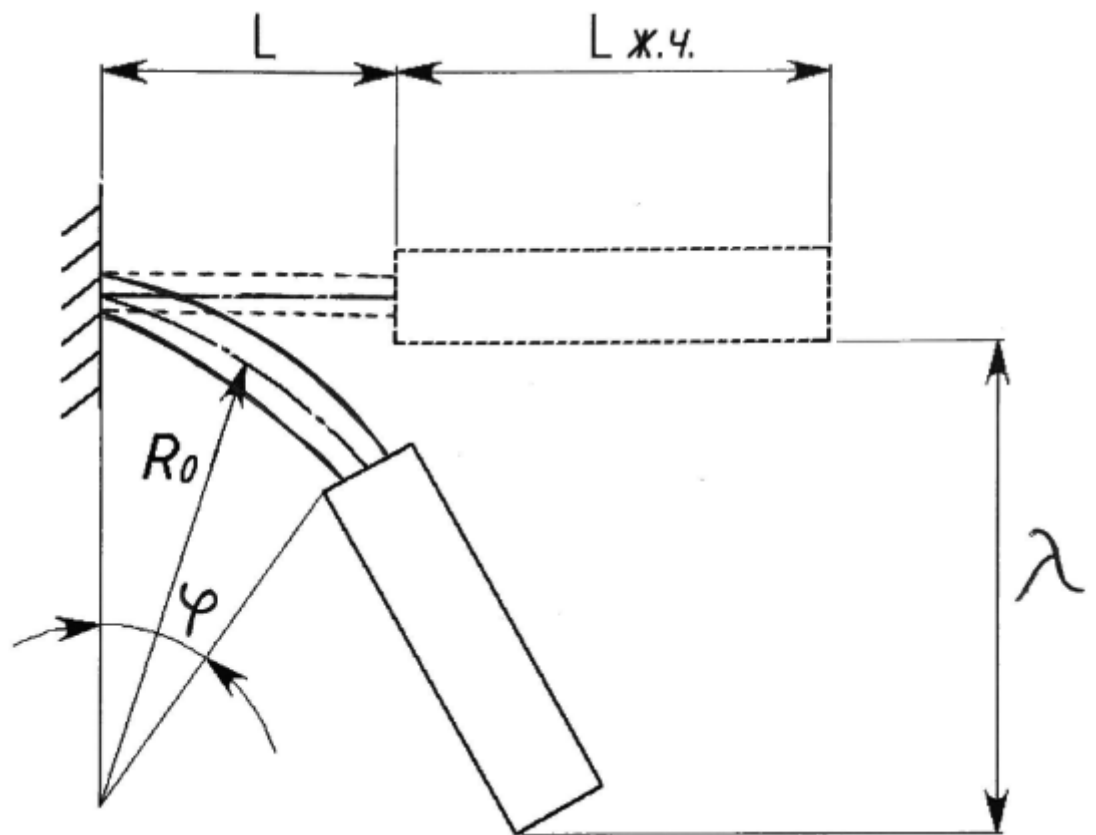


Рис. 5.4. Схема вигину чутливого елемента тензометра

Можна записати співвідношення між переміщенням незакріпленого (вільного) кінця, довжини робочої зони, довжини жорсткої частини та радіусом кривизни робочої зони рухомої балки чутливого елемента:

$$\frac{\lambda}{L_{\text{жч}}} = \frac{l}{R_0}; \quad (1.15)$$

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходячи з цього, можна писати

$$\lambda = \frac{L_{ЖЧ} \cdot l}{R_0} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l}; \quad (1.16)$$

З формули (1.14) маємо

$$\varepsilon = \frac{h}{2R_0} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{\varepsilon}{\frac{h}{2}}; \quad (1.17)$$

Отже, коефіцієнт деформації тензومتра буде таким:

$$\frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l} = \frac{2\varepsilon}{h} \Rightarrow \varepsilon_{TP} = \frac{h}{2} \cdot \frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l}; \quad (1.18)$$

$$\varepsilon_{TP} = \frac{h}{2} \cdot \frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l}. \quad (1.19)$$

Може написати вираз для визначення робочого коефіцієнта перетворення тензодатчика (РКП):

$$PKП = \frac{K}{(K+1)^2} \cdot K_T \cdot 2 \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2); \quad (1.20)$$

де K_T - коефіцієнт деформаційної чутливості;

K - коефіцієнт симетрії мостової схеми;

ε_1 - відносна деформація поздовжнього тензорезистора;

ε_2 - відносна деформація поперечного тензорезистора.

Вважаємо, що в цьому випадку має місце лише поздовжня деформація, тому $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$.

$$PKП = \frac{K}{(K+1)^2} \cdot K_T \cdot 4 \cdot \varepsilon_{TP}; \quad (1.21)$$

$$PKП = \frac{K}{(K+1)^2} \cdot K_T \cdot 4 \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l}. \quad (1.22)$$

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За допомогою програми Math Cad визначимо геометричні параметри чутливого елемента. Вважаємо, що $\lambda = 0,1$ мм, $K = 1$, $K_T = 2,1$ (для тензорезисторів виготовлених з константану), РКП = 2 мВ/В.

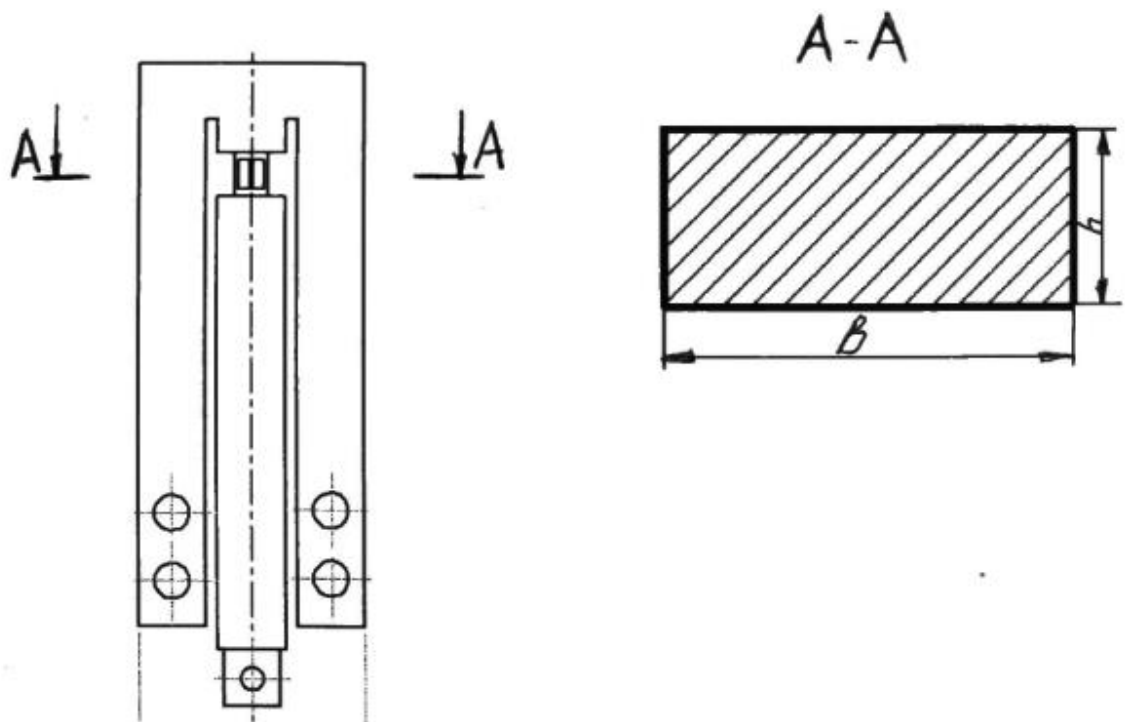


Рис. 5.5. Розрахунок геометричних параметрів пружного елемента вимірювального перетворювача

$$l = 4 \text{ мм};$$

$$b = 3 \text{ мм};$$

$$h = 2 \text{ мм};$$

$$L = 40 \text{ мм}.$$

Тепер ми знаємо параметри чутливого елемента перетворювача, кількість склеєних тензорезисторів, з'єднаних мостовою схемою та інші параметри, можна показати загальну збірку тензодатчика рис. 5.6.[16].

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

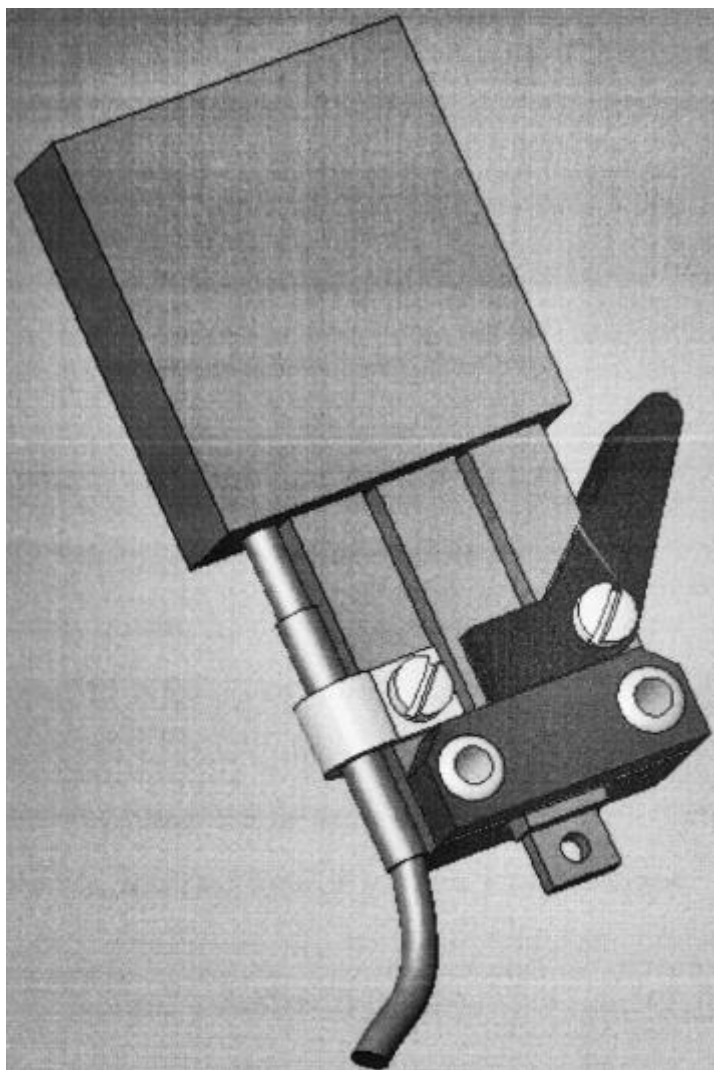


Рис. 5.6. 3D модель тензومتра вимірного перетворювача деформації

5.4. Розрахунок статичних характеристик вимірювального перетворювача

Функціональна залежність вихідного сигналу від сигналу на вході $X_{вих}$ при постійному значенні вхідного сигналу називається статичною характеристикою.

$$X_{вих} = f(X_{вх}). \quad (1.23)$$

Рівняння 1.23 характеризує стан рівноваги чутливого елемента і дозволяє проаналізувати статичну точність системи в стані рівноваги. Залежно від властивостей статичних характеристик розрізняють дві групи: лінійні та нелінійні.

					<i>МД ПМ-01мп02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для тензометра вхідним значенням є відносна деформація ε (видовження градуйованої балки), а вихідним є вихідна напруга $U_{вих}$.

Функція перетворення вимірювальної схеми тензометра має такий вигляд:

$$U_{жив} = U_{жив} \cdot \frac{K}{(K+1)^2} \cdot K_T \cdot 2 \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2); \quad (1.24)$$

де K - коефіцієнт симетрії мостової схеми;

K_T - коефіцієнт деформаційної чутливості;

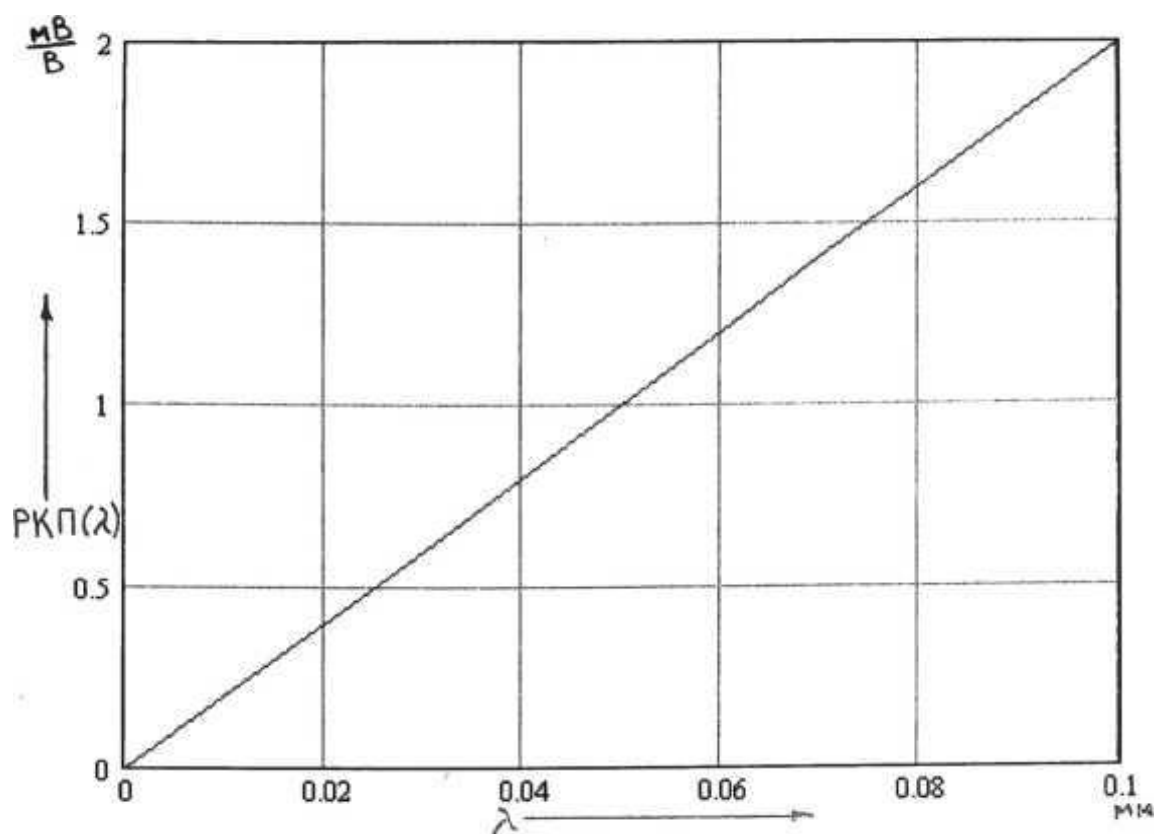
ε_1 і ε_2 – поперечні та повздовжні відносні деформації тензорезисторів відповідно ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2$).

Враховуючи, що статична характеристика тензометричного перетворювача є лінійною, ми можемо записати її таким чином [13]:

$$PKП = f(\lambda). \quad (1.25)$$

Після всього цього статичні характеристики перетворювача будуть виглядати так:

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Також будемо статичну характеристику, яка залежить від змінної деформації:

$$PKП = f(\epsilon)$$

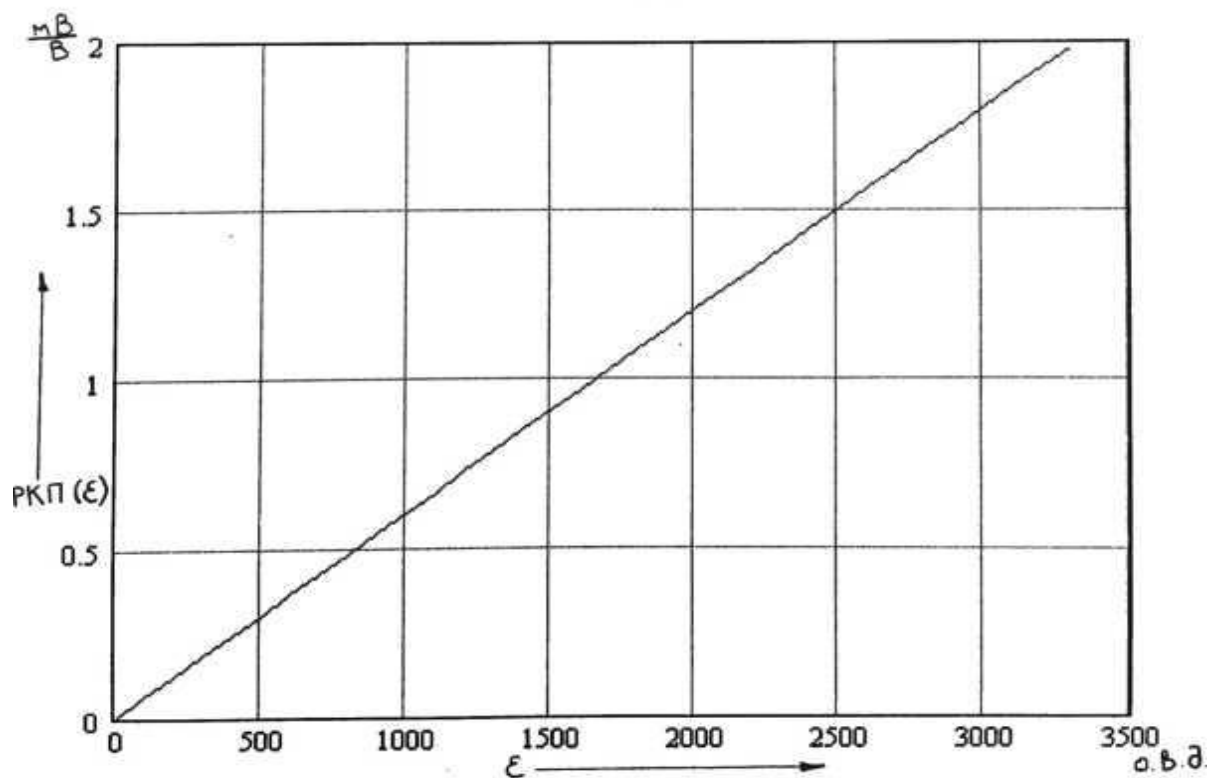


Рис. 5.7. Статичні характеристики перетворювача

5.5. Дослідження похибки передачі розміру одиниці деформації

Для визначення похибки передачі розміру одиниці деформації проводиться дослідження вимірника деформації і однієї партії тензорезисторів КФ5, відібраних за розробленими для цього критеріями. З цієї партії в їх групу була обрана група тензорезисторів по 70 штук, а різниця опорів тензорезисторів у групі не перевищувала 0,1% від номінального значення 200 Ом. Групи тензорезисторів були випадковим чином поділені на дві групи, кожна з яких у кількості 35 одиниць була встановлена на робочій поверхні з вимогами інструкції по наклейці АЖВ2.782.001 ТО. Перший зразок встановлювали на робочу поверхню балки, а другий - на протилежну. Проводили перевірку установки тензорезисторів по поверхні балки згідно з розміткою, а також перевірку відсутності розшарувань, повітряних міхурів, забруднень. Вимірювали опори тензорезисторів, приклеєних до робочої поверхні і опори ізоляції. Тензорезистори, які були відбраковані виключали з подальшої експлуатації.

Для кожної вибірки визначаються коефіцієнти функції перетворення (коефіцієнт перетворення - K_i). Таким же чином були проведені дослідження на двох групах тензорезисторів, кожна з яких включала 2 вибірки. Результати вимірювань коефіцієнтів перерахунку наведені в таблицях 5.1 – 5.4.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1

**Результати вимірювання коефіцієнтів перерахунку та перевірки
однорідності груп спостереження двох зразків тензорезисторів (1 група)**

ε , млн ⁻¹	Коефіцієнт перетворення, К		СКВ результатів S_K		$\frac{S_{K.б}^2}{S_{K.м}^2}$	$ K_1 - K_2 \cdot 10^4$	t	$t_q \cdot K$	$t \leq t_{q \cdot K}$
	1 вибірка,	2 вибірка,	1 вибірка	2 вибірка,					
	K_1	K_2	$S_{K1} \cdot 10^4$	$S_{K2} \cdot 10^4$					
-500	2,1701	2,1698	42	38	1,22	3	0,3	2,4	Так
-1000	2,1670	2,1668	35	31	1,27	2	0,2	2,4	Так
-1500	2,1632	2,1629	29	26	1,24	7	1,0	2,4	Так
-2000	2,1602	2,1598	26	27	1,08	4	0,6	2,4	Так
-2500	2,1566	2,1565	23	22	1,09	1	0,2	2,4	Так
-3000	2,1531	2,1529	23	21	1,20	2	0,3	2,4	Так
-2500	2,1545	2,1546	25	23	1,18	1	0,2	2,4	Так
-2000	2,1573	2,1567	29	24	1,46	6	0,8	2,4	Так
-1500	2,1597	2,1593	30	25	1,44	4	0,5	2,4	Так
-1000	2,1633	2,1624	36	34	1,12	9	1,0	2,4	Так
-500	2,1643	2,1638	44	41	1,15	5	0,4	2,4	Так

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2

**Результати вимірювання коефіцієнтів перетворення та перевірки
однорідності групи спостереження двох добірок тензорезисторів (1 група)**

ε , млн ⁻¹	Коефіцієнт перетворення, К		СКВ результатів спостережень, S_K спостережень, ВК		$\frac{S_{K.б}^2}{S_{K.м}^2}$	$ K_1 - K_2 \cdot 10^4$	t	t_q К	$t \leq t_{q-K}$
	1вибірка,	2вибірка,	1вибірка	2вибірка,					
	K_1	K_2	$S_{K1} \cdot 10^4$	$S_{K2} \cdot 10^4$					
500	2,1709	2,1703	44	46	1,09	6	0,5	2,4	Так
1000	2,1715	2,1704	30	29	1,07	11	1,4	2,4	Так
1500	2,1739	2,1727	25	22	1,29	12	1,9	2,4	Так
2000	2,1750	2,1736	25	21	1,42	14	2,2	2,4	Так
2500	2,1762	2,1752	23	20	1,32	10	1,7	2,4	Так
3000	2,1781	2,1773	24	21	1,31	8	1,3	2,4	Так
2500	2,1750	2,1741	26	23	1,28	9	1,3	2,4	Так
2000	2,1730	2,1719	26	25	1,08	11	1,6	2,4	Так
1500	2,1710	2,1699	27	28	1,08	11	1,5	2,4	Так
1000	2,1679	2,1669	32	34	1,13	10	1,1	2,4	Так
500	2,1654	2,1658	50	52	1,08	4	1,3	2,4	Так

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3

**Результати вимірювання коефіцієнтів перетворення та перевірки
однорідності груп спостереження двох зразків тензорезисторів (2 групи)**

ε, млн ⁻¹	Коефіцієнт перетворення, К		СКВ результатів спостережень, S _к		$\frac{S_{K.б}^2}{S_{K.м}^2}$	K,-K ₂ · 10 ⁴	t	t _q · K	t ≤ t _{q·K}
	К		спостережень, ВК						
	1вибірка, K ₁	2вибірка, K ₂	1вибірка, S _{K1} · 10 ⁴	2вибірка, S _{K2} · 10 ⁴					
-500	2,1721	2,1729	22	24	1,19	8	1,2	2,4	Так
-1000	2,1680	2,1681	17	18	1,12	1	0,2	2,4	Так
-1500	2,1644	2,1637	16	16	1,00	7	1,6	2,4	Так
-2000	2,1612	2,1611	16	17	1,13	1	0,2	2,4	Так
-2500	2,1578	2,1585	16	17	1,13	7	1,5	2,4	Так
-3000	2,1547	2,1548	15	18	1,44	1	0,2	2,4	Так
-2500	2,1559	2,1562	15	18	1,44	3	0,6	2,4	Так
-2000	2,1583	2,1583	16	18	1,27	0	0	2,4	Так
-1500	2,1608	2,1602	17	19	1,25	6	1,2	2,4	Так
-1000	2,1636	2,1631	19	24	1,60	5	0,8	2,4	Так
-500	2,1650	2,1663	24	28	1,36	13	1,8	2,4	Так

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.4

**Результати вимірювання коефіцієнтів перетворення та перевірки
однорідності групи спостереження двох зразків тензорезисторів (група 2)**

ε , млн ⁻¹	Коефіцієнт перетворення, К		СКВ результатів спостережень, S_K спостережень, ВК		$\frac{S_{K.б}^2}{S_{K.м}^2}$	$ K_1 - K_2 \cdot 10^4$	t	$t_q \cdot K$	$t \leq t_{q-K}$
	1вибірка, K_1	2вибірка, K_2	1вибірка, $S_{K1} \cdot 10^4$	2вибірка, $S_{K2} \cdot 10^4$					
500	2,1734	2,1731	35	30	1,36	3	0,3	2,4	Так
1000	2,1738	2,1733	21	18	1,36	5	0,9	2,4	Так
1500	2,1751	2,1753	21	18	1,36	2	0,4	2,4	Так
2000	2,1767	2,1770	20	15	1,78	3	0,6	2,4	Так
2500	2,1785	2,1786	19	14	1,84	1	0,2	2,4	Так
3000	2,1807	2,1807	20	15	1,78	0	0	2,4	Так
2500	2,1769	2,1769	21	15	1,96	0	0	2,4	Так
2000	2,1740	2,1744	22	16	1,89	4	0,7	2,4	Так
1500	2,1716	2,1716	23	17	1,83	0	0	2,4	Так
1000	2,1694	2,1686	24	18	1,78	8	1,3	2,4	Так
500	2,1661	2,1656	36	30	1,44	5	0,6	2,4	Так

Для кожної з груп тензорезисторів проводилася перевірка нормальності розподілу результатів спостережень при визначенні K_i і перевірка однорідності двох вибірок в групі тензорезисторів. Оскільки при наклеюванні груп тензорезисторів використовувався клей з різних партій, то порівняння груп тензорезисторів між собою не проводилося[18].

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.6. Перспективи подальшого вдосконалення установки

Надалі дослідження ЗВТ мають бути спрямовані насамперед на підвищення точності вимірювання відтворення деформації, покращення нерівномірності поля деформації пружного елемента установки та методики вимірювання згину.

Дослідження зі створення точних конструкційних сплавів з високими і стабільними фізико-механічними властивостями в широкому діапазоні деформацій, дослідження з розробки абсолютних методів вимірювання деформацій поля на основі оптичних квантових генераторів і методів фазової частоти, дослідження з розробки одиничних тензорезисторів [19].

Вирішення цих завдань підвищить в 2-3 рази точність відтворення і передачі одиниці деформації за ступенем випробувальної схеми.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ

«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СТЕНДОМ КАЛІБРУВАННЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРІВ»

В цьому розділі наведений маркетинговий аналіз проекту магістерської дисертації для визначення можливості виходу продукту на ринок та його реалізації. Для аналізу використаний алгоритм наведений в [21].

6.1. Опис ідеї та технологічний аудит проекту

Розглянувши в попередніх розділах системи для калібрування тензорезисторів було розроблено автоматичну систему що базується на оптичній системі вимірювання поля деформації.

У таблиці 1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 6.1. Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Автоматизована система керування стендом калібрування тензорезисторів	1. Тензометрія	Забезпечення більш високої точності калібрування тензорезисторів
	2. Системи вимірювання деформацій	Автоматичність
	3. Перетворювачі механічних величин	Перетворення механічного навантаження в електричний сигнал

Отже, запропонована автоматизована система калібрування тензорезисторів, що забезпечить високу точність, та простоту для калібрування. В таблиці приведені основні напрямки застосування запропонованої системи. Основними споживачами є приватні та державні установи де є необхідність використовувати точні методи вимірювання деформації.

Далі в таблиці 6.2 наводиться інформаційна карта стартап проекту

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2. Інформаційна картка стартап-проєкту

Назва проєкту	Автоматична система керування стендом калібрування тензорезисторів
Автори	Гладишко А. П., Зайцев В. М.
Анотація	Система дозволяє збільшити точність та діапазон вимірювання за рахунок використання Оптичної системи.
Термін реалізації	1 рік
Необхідні ресурси	Людські, фінансові.
Опис проблеми, яку вирішує стартап - проєкт	На даний час метрологічні характеристики УВТ не задовольняють кінцевого користувача в точності, похибках.
Ціль	Покращення метрологічних характеристик Установки для калібрування тензорезисторів
Очікуваний результат	Калібрування тензорезисторів відбувається точніше за рахунок використання оптичної системи для вимірювання деформації прожнього елемента

Далі проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг, визначимо чим виріб в даній роботі відрізняється від існуючих аналогів, порівняно з конкурентами.

Для цього визначимо :

- Перелік техніко-економічних властивостей та характеристик
- Список конкурентів або аналогів чи товарів-замінників, що існують на ринку
- Порівняльний аналіз показників.

Таблиця 6.3. Визначення слабких сильних та нейтральних характеристик ідеї.

n/ n	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Stratasys	ARAMIS	AVE-2			
.	Похибка	≤1 %	±1 %/±2%	±1 %/± 3%	± 0.5%	-	-	+

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

.	Точність	Вис ока	Сер едня	Сер едня	Вис ока	-	+	-
.	Діапазон вимірювання	Вис окий	Вис окий	Вис окий	Вис ока	-	-	+
.	Зручність використання	Сер едня	Сер едня	Сер едня	Вис окий	+	-	-
.	Надійність	Вис ока	Вис ока	Сер едня	Сер едня	-	-	+

З приведенного переліку сильних, слабких і нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару можна зробити висновок, що продукт має переваги над конкурентами.

Для проведення технологічного аудиту необхідно зробити аналіз таких складових як:

- Технологія за якою буде виготовлений товар.
- Існування таких технологій .
- Доступність таких технологій.

Таблиця 6.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автоматична система Керування стендом калібрування тензорезисторів	Розробка компонентів системи та програмного забезпечення	Наявні	Доступна
		Випробовування та виготовлення готового програмного забезпечення	Наявні	Доступна
		Моделювання установки за допомогою CAD систем	Наявні	Доступна
		Перевірка системи в різних умовах роботи	Наявні	Доступна
		Виготовлення стенду	Наявні	Доступна

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Методика реалізації ідеї проекту спирається на створення компонентів системи та програмного забезпечення, основним компонентом якої буде оптична система для вимірювання поля деформації пружного клкмента

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що ідея можлива для створення та всі технології є доступні. Вибір системи для оптичного вимірювання є найпріоритетнішою задачею а також зменшить витрати в подальшому удосконаленні системи.

6.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному розділі проводиться аналіз ринкових можливостей які можна використати під час впровадження проекту на ринок та загроз які можуть бути перешкодами для реалізації проекту. Даний аналіз дозволить зробити плани що розвитку проекту з урахуванням стану ринку, пропозицій конкурентів та потреб потенційних клієнтів. Аналіз представлено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	3000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Практичне застосування та сертифікація, наявність конкурентів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30%

За результатами таблиці можна зробити висновки, що вихід на ринок є рентабельним. Високий процент рентабельності та загальний обсяг продажів дає змогу швидко відбити затрачені кошти на розробку системи. Мала кількість гравців свідчить про неважкий вихід на ринок.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Далі визначимо потенційні групи клієнтів , сформулюємо перелік вимог до товару для кожної з груп та визначимо характеристики груп клієнтів (таблиця 6.6)

Таблиця 6.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1.	Розробка нової вимірювальної системи. А також зміна застарілих методів вимірювання поля деформації	Приватні та державні установи де є необхідність високоточного вимірювання деформації	Технічні стандарти які встановлюються на підприємствах. Фінансові можливості підприємств або приватних компаній	- висока точність результатів вимірювання - надійність системи - високий діапазон вимірювання - висока чутливість

Формування ринку визначається потребою в розробці нової вимірювальної системи, а також зміні застарілих методів зчитування поля деформації. Основними користувачами методики є приватні та державні установи де є необхідність точного вимірювання деформації. Головними вимогами до методики досліджень є висока точність результатів вимірювання, надійність системи, високий діапазон вимірювання та висока чутливість системи.

Далі складемо таблицю факторів ринкового середовища, що перешкоджають (табл.6.7) ринковому впровадженню проекту, та факторів, що сприяють йому (табл. 6.8).

Таблиця 6.7. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
------------------	---------------	----------------------	---------------------------------

1.	Зріст конкуренція	Поява конкурентів	Покращення свого продукту, маркетингова діяльність
2.	Економічна нестабільність	Економічний стан країни, де виробляється продукт, мала купівельна спроможність населення	Спрощення комплектації системи
3.	Якість	Відсутність надійних постачальників високоякісного обладнання, незадоволення якістю приладу	Покращення якості до рівня необхідності клієнту
4.	Технології	Винайдення нових методів вимірювання	Пошуки шляхів впровадження нових методів та засобів вимірювання
5.	Відсутність попиту	Ймовірність того що клієнт не буд купувати товар	Визначення потреб клієнтів

У таблиці 6.7. описані основні види загроз Найбільшим фактором загроз є зріст конкуренції, тому потрібно завчасно продумувати як можна покращити характеристики системи. Також одним з найголовніших факторів якості продукту та економічний стан країн де буде проводитись розробка та продаж системи, тому є необхідність в майбутньому виходити на зарубіжний ринок.

Можливості наведені в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Збільшення попиту	Збільшення виробництва товару та товаробігу, збільшення клієнтів	Задоволення попиту на систему. Притягнення нових інвестицій
2.	Необхідність модифікацій	Потреба в унікальних можливостях приладу	Розширення функціоналу системи
3.	Нові групи клієнтів	Поява нових покупців	Визначити потреби нових клієнтів
4.	Вихід на міжнародний ринок	Зацікавленість продуктом за кордоном	Відкриття нових відділів продажу за кордоном

5.	Розробка веб-додатку	Підвищення якості обслуговування, збільшення попиту	Якісніше обслуговування клієнтів
----	----------------------	---	----------------------------------

У таблиці 6.8 наведені основні можливості. Головним фактором можливостей є збільшення попиту на продукт, це призведе до збільшення кількості нових клієнтів, а отже і кількості нових інвестицій до продукту. Освоєння міжнародного ринку також є одним з головних, оскільки дана можливість дає змогу збільшити кількість клієнтів, та залишатися стабільною не зважаючи на економіку конкретної країни.

Далі необхідно проввести аналіз пропозиції, а саме визначити загальні риси конкуренції на ринку (табл. 6.9).

Таблиця 6.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції: - чиста конкуренція	Невелика конкуренція	Можливість прогнозувати зміни на ринку. Можливість випереджувати конкурентів шляхом покращення товару
2. За рівнем конкурентної боротьби: - міжнародний	Можливість знаходження замовників з закордону, залучення іноземних інвестицій	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою: - внутрішньогалузева	Конкуренція між підприємствами в межах однієї галузі	Маркетингова діяльність по залученню клієнтів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція товарів одного виду	Задоволення потреб клієнтів
5. За характером конкурентних переваг: - цінова	Від зміни ціни при закупці комплектуючих залежить ціна всієї системи	Пошук постачальників, які пропонують менші ціни на компоненти приладу

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. За інтенсивністю - марочна	Конкурентні компанії не пропонують продукт з подібними комплектуючими системи	Маркетингова діяльність; зниження ціни на товар; покращення якості продукту; створення власної торгової марки
----------------------------------	--	---

В табл. 6.9 приведений аналіз основних рис конкуренції на ринку та їх вплив на діяльність підприємства, і також наведені можливі дії компанії щоб продовжувати бути конкурентоспроможною. Аналіз пропозицій показав, що запропонована система демонструє високу конкурентоспроможність. На ринку є чиста конкуренція через не велику кількість конкурентів. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний з внутрішньогалузевою ознакою. За видами товарів конкуренція є товарно-видовою, а за характером конкурентних переваг – ціновою.

Далі проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 6.10).

Таблиця 6.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачал ьники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари- замінники</i>
<i>Склад ові аналізу</i>	ВЕДА + ПП «АНВІТ»	НВМ	НВМ	Установ и де є необхідні сть контролю якості калібруванн я тензорезист орів	Створен ня інфої установки для калібруванн я тензорезист орів
Висн овки:	Конкуренці я є відносно не великою	Є можливість виходу на міжнародний ринок. Наявні потенційні конкуренти.	Постачаль ник не диктує умови на ринку	Клієнти не диктують умови роботи на ринку в залежності від	Обмеже нь не буде, адже продукти- замінники працюють за іншим методом

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

				технологічного процесу	вимірювання
--	--	--	--	------------------------	-------------

Проаналізувавши результати таблиці 6.10 можна сказати що на ринку можна працювати адже конкурентів є відносно не багато. Товари-замінники не можуть в повній мірі задовольнити потреби клієнтів, оскільки мають інші більш дорогі методи для досягнення високої точності вимірювання

На основі аналізів проведених вище(в табл. 6.10) визначимо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності(табл. 6.11), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 6.3), вимог споживачів до товару (табл. 6.6) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 6.7-6.8)

Таблиця 6.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Точність	Висока точність вимірювання
2.	Діапазон вимірювання	Широкий діапазон вимірювання
3.	Ціна	Ціна на товар може бути конкурентною перевагою, оскільки можна закупати комплектуючі по вигідній ціні, і від цього ціна всієї системи буде вигіднішою для користувача ніж у конкурентів
4.	Автоматизованість	Можливість віддаленого передавання та зчитування показників
5.	Надійність та простота	Довгий строк служби системи

В таблиці 11 наведені основні фактори конкурентоспроможності. З неї можна зробити висновок, що висока точність, діапазон вимірювання та ціна є головними факторами конкурентності, що дозволить зайняти високе місце на ринку. Також в даній системі є можливість віддаленого передавання та зчитування показників, що робить дану систему унікальною.

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Із визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 6.11) проведемо аналіз сильних та слабких сторін системи (табл. 6.12).

Таблиця 6.12. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Ба ли 1- 20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «ВЕДА» + ПП «АНВІТ»						
			3	2	1	0	1	2	3
1	Точність	16							
2	Діапазон вимірювання	19							
3	Зручність використання	17							
4	Ціна	15							
5	Автоматизованість	18							
6	Надійність та простота	17							

Отже при порівнянні системи з конкурентами можна зробити висновки, щодо сильних та слабких факторів конкурентоспроможності. До сильних сторін системи відноситься: діапазон вимірювання, автоматизованість системи, також на непоганому рівні є зручність використання та надійність і простота. До слабких сторін можна віднести ціну.

Останнім етапом ринкового аналізу проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 6.13) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 6.12).

Таблиця 6.13. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Точність Діапазон вимірювання Зручність використання Автоматизованість	Слабкі сторони: Залежність від постачальників Поява нових технологій Відсутність торгової марки Ціна
--	--

Надійність та простота	
Можливості: Збільшення попиту Необхідність модифікацій Нові групи клієнтів Вихід на міжнародний ринок Розробка веб-додатку	Загрози: Конкуренція Економічна нестабільність Якість Технології Відсутність попиту

Провівши SWOT-аналіз визначенні можливості, загрози які передбачаються сильними та слабкими сторонами. Слабкими сторонами є залежність від постачальників, від ціни на комплектуючі, поява нових технологій та відсутність торгової марки, але наведені вище переваги повністю нівелюють дані недоліки. До переваг можна віднести діапазон вимірювання та автоматизованість системи.

За SWOT-аналізом розробимо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх реалізації. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 6.14).

Таблиця 6.2. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1.	Покращення надійності	Висока	3-6 місяців
2.	Пошук інвестицій	Середня	6-12 місяців
3.	Збільшення ринку збуту завдяки маркетингу	Висока	1-2 роки
4.	Вихід на міжнародний ринок	Середня	2-3 роки

Провівши аналіз(табл. 6.14), можна зробити висновок, що ймовірність отримання ресурсів є досить великою. Важливою задачею є покращення надійності, що покращить систему. Головними джерелами ресурсів є

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інвестиції та маркетингова діяльність. Найкращою альтернативою буде вихід на міжнародний рівень, що займе щонайменше 2-3 роки.

6.3. Розроблення ринкової стратегії проекту

Першим кроком для розроблення ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку – опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 6.15).

Таблиця 6.3. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Металургія	+	+	Середня	+
2.	Робототехніка	+	+	Висока	-
3.	Витратометрія	+	+	Середня	-
4.	Приватні та державні установи де є необхідність вимірювання деформації	+	+	Середня	+
Які цільові групи обрано: приватні та державні установи де є необхідність контролю якості та точності вимірювання деформації,					

Після того як ми провели опис цільових груп можна обрати цільові групи. Так як робототехніка і витратометрія мають високу планку входу, обрано приватні та державні установи де є необхідність точного вимірювання деформації та металургія, де конкуренція є не великою та є можливість легкого виходу на ринок. Для даних організацій будемо пропонувати свою систему для калібрування тензорезисторів.

Для роботи в обраних сегментах необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 6.16).

Таблиця 6.4. Визначення базової стратегії розвитку

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<i>№ п/п</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1.	Підвищен ня надійності	Стратегія диференційовано го маркетингу	Підбір кращих матеріалів приладу для забезпечення надійності	Стратегія диференціації

В якості базової стратегії розвитку було обрано стратегію диференціації, яка передбачає надання унікальних властивостей продукту за вимогою користувача, що робить продукт особливим на відміну від конкурентів.

Далі виберемо стратегії конкурентної поведінки. Для цього необхідно відповісти на запитання наведені в таблиці 6.17.

Таблиця 6.5. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1.	Проект не є першопрохідцем	Компанія буде забирати існуючих споживачів та шукати нових	Компанія не буде копіювати характеристики товару закордонного конкурента.	Стратегія виклику лідера

Обрана стратегія конкурентної поведінки – стратегія виклику лідера, Оскільки даний продукт не є першопрохідцем та має суттєві переваги по відношенню до свого прямого конкурента. Стратегія полягає в тому, що необхідно протистояти лідеру та виробляти кращий продукт, який може зайняти найвищу позицію на ринку.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування (Табл. 18) яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 6.6. Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/ п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспро можні позиції власного стартап- проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1.	Точність	Стратегія диференціації	Висока точність	Стабільність показників, високий запас надійності
2.	Діапазон вимірювання	Стратегія диференціації	Широкий діапазон вимірювання	Стабільність показників на всьому діапазоні вимірювання, високий запас надійності
3.	Ціна	Стратегія диференціації	Доступна цінова політики	Якість, гарантія, обслуговування

За результатами даної таблиці можна зробити висновки, головними вимогами до товару є точність, діапазон вимірювання та ціна. Компанія працюватиме за диференційною стратегією, та стратегією зайняття конкурентної сфери, оскільки на ринку присутня мала кількість конкурентів, то споживач готовий сприйняти товар та не має великої складності до виходу на ринок.

6.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 19 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару [21].

Таблиця 6.7. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1.	Потреба в точній автоматичній системі для калібрування тензорезисторів	Висока точність, автоматизованість, широкий діапазон вимірювання.	Висока точність на всьому діапазоні вимірювання

Висока точність на всьому діапазоні вимірювання, автоматизованість системи, а також широкий діапазон вимірювання дає переваги над конкурентами.

Далі необхідно розробити три рівневу маркетингову модель товару (табл. 6.20)

Таблиця 6.20 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Пропонується автоматизована система для калібрування тензорезисторів, для знімання показників деформації використовується оптична система		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Точність вимірювання	<1%	Тх
	2. Діапазон вимірювань	1 –	Тх
	3. Зняття деформації безконтактним методом	1000	Тх Вр
	Якість: Сертифікати відповідності ДСТУ		
	Пакування: відповідно до стандартів		
	Марка: «OpticDefMeasure»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: комунікація з клієнтами для актуальності отриманих результатів, усунення неполадок, покращення якості приладу		
	Після продажу: перевірка, обслуговування, встановлення системи, розробки нових покращених модифікацій та модернізації системи.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентом			

В таблиці 6.20 ми отримали опис трьох рівнів моделі за якими ми можемо прийти до висновку, щодо призначення товару, характеристики

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

закладені у 2-му рівні роблять даний прилад унікальним серед його конкурентів. Патентування програмних та методологічних рішень слугує захистом від копіювання. Також товар повинен бути запатентованим для захисту від копіювання.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 6.21).

Таблиця 6.21. Визначення меж встановлення ціни

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1.	900-3500 ум.од	700-4000 ум.од	10000-20000 ум.од	Нижня межа: 950 ум.од Верхня межа: 4000 ум.од

Встановлена ціна на продукт 950 – 4000 ум.од. Така ціна відповідає характеристикам товару і є рівною ціні на товари конкурентів. Також з огляду на рівень доходів цільової групи споживачів ціна для них є доступною.

Далі виконаємо визначення оптимальної системи збуту(табл. 6.22) в межах якої приймається рішення.

Таблиця 6.22. Формування системи збуту

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1.	Замовлення засдалегідь	Продаж товару замовнику, встановлення з подальшим обслуговуванням	Пряма	Пряма

У таблиці 6.22 видно що використовувати прямий канал збуту буде найбільш вигідним для компанії Основним каналом збуту є продаж систем. Найефективнішою системою збуту є пряма, без залучення посередників між

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробником та споживачем. Замовлення товару та комплектуючих, а також встановлення реалізовано за допомогою сайту.

Останньою складової маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 6.23)[1].

Таблиця 6.23. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1.	Отримання товару, який буде відповідати специфічним умовам роботи	Мобільний зв'язок, Інтернет, виставки, конференції	Точність, широкий діапазон вимірювання, Стабільність показань, автоматизованість	Показати покупцю перевагу над конкурентами, Розповсюдити інформацію про товар	Висвітлення його основних характеристик та переваг над конкурентами, вимірювання

Результатом таблиці 6.23 є маркетингова програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки. Концепція маркетингової комунікації спрямована на залучення нових клієнтів за допомогою реклами, мобільного зв'язку інтернету, виставок та конференцій[1].

Розглянемо виробничий план стартап-проекту. Сировина, матеріали та комплектуючі наведені в таблиці 6.26:

					<i>МД ПМ-01мп02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.26. Матеріали та їх постачальники

Найменування видів сировини, матеріалів та комплектуючих виробів	Постачальники	Ціна за одиницю	Умови постачання
1. Тензорезистори	JIAKANG	60	...
2. Оптична система DIC Q400	DIC	100000	...
3. Нержавіюча сталь	Stalar	2500	Ø100, довжина 300
4. Плата	Rozetka	500	...
5. Ноутбук	Rozetka	30000	...
Разом		140000	...

Отже з таблиці 6.26 може зробити висновок, що для виготовлення системи необхідно близько 140000 грн, з яких 100000 грн. йде на оптичну систему вимірювання деформації

Потреба в обладнанні та технічних засобах розглянута в таблиці 6. 27.

Таблиця 6.27. Потреба в обладнанні та технічних засобах

Найменування обладнання	Кількість	Постачальники	Умови постачання	Вартість, тис. грн
1. ЧПУ-станок	1	Roland	...	495
2. Зварювальний апарат	1	Tesla Weld		5
Разом	2			500

Отже, для реалізації даного стартапу необхідно дві одиниці обладнання, серед яких ЧПУ-станок та зварювальний апарат на загальну суму 500 тис.грн.

Далі проведемо оцінювання вартості стартапу. Для цього необхідно зробити оцінювання факторів успішності стартапу (табл. 6.4.). Показник фактору розраховується як добуток максимального значення фактору на значення фактору стартапу.

Таблиця 6.24 Оцінка факторів успішності стартапу.

Фактори для порівняння	Діапазон	Стартап, у який заплановано інвестиції	Фактор
------------------------	----------	--	--------

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розмір ринку	20% max	125%	0.25
Сила управлінської команди	30% max	125%	0.375
Продукт і технологія	15% max	100%	0.15
Конкурентне середовище	20% max	150%	0.30
Необхідність у додаткових раундах фінансування	5% max	100%	0.05
Маркетинг, канали продажів, партнерство	10% max	100%	0.1
Разом			1.225

Підсумуючи показник фактору визначимо вартість стартапу як добуток суми вартості стартапу на середню оцінку.

Вартість стартапу = $1,225 \cdot 40,0$ тис. дол. = 49,0 тис дол.

ВИСНОВКИ

1. У ході роботи над дисертацією обґрунтовано підвищення точності сертифікаційних випробувань та метрологічних досліджень тензорезисторів через автоматизацію процесів експериментальних досліджень, застосування оптичної системи визначення параметрів полів деформацій.
2. В результаті проведеного огляду аналогів встановлено необхідність для реалізації процесу автоматизації створення тензорезисторного перетворювача абсолютної деформації. Проведений структурний аналіз та моделювання характеристик перетворювача показали можливість застосування його для автоматизації установок вищої точності.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. В результаті аналізу похибок сигналів відносної деформації обґрунтовано перехід від похибок прогнозу за математичною моделю до менших похибок виміру параметрів поля деформації, які створює установка вищої точності.
4. Показана доцільність використання електронно-оптичної системи визначення поля деформацій.
5. Експериментальні дослідження на установці вищої точності, яка забезпечує відтворення і зберігання одиниці деформації в діапазоні від мінус 3000 до 3000 млн⁻¹ показали
 - середнє квадратичне відхилення коефіцієнта перетворення результатів які мали діапазон до 1000 млн⁻¹ для деформованого стану розтягу та стиснення не перевищує 0,18%.
 - Середнє квадратичне відхилення результатів спостережень коефіцієнта перетворення в діапазоні від 1000 до 3000 млн⁻¹ для деформації розтягу та стискання не перевищує 0,12%, що не перевищує половини похибки методу перенесення розміру одиниці для відповідного діапазону деформації.
6. Оскільки отримані метрологічні характеристики не перевищують допустимих значень, автоматизована УВТ відповідає вищій точності (зразковий стенд вищої точності) згідно нормативним вимогам.
7. В розділі дисертації «Розробка стартап-проект були виконані аналіз ринку та вибір стратегії для впровадження продукту на ринок, проведена оцінка ризиків, встановлені межі цін на систему. Визначені фактори успішності стартапу та межі вартості стартапу яка дорівнює 49 тис. дол. Обґрунтована доцільність створенні автоматизованих систем керуванням стенду установки вищої точності.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Разработка и исследование комплекса образцовых средств для измерения, обработки и представления результатов определения метрологических характеристик тензорезисторных датчиков: Отчет/Свердловский филиал ВНИИМ; Науч, руководитель темы М.М.Лупинский. - Свердловск, 1983.- 79 с.
2. Методы обработки результатов наблюдений при измерениях. Труды метрологических институтов СССР. - Вып.134 (194). - М.-Л.: Изд.стандартов, 1972. 118 с.
3. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. - К.: Наукова думка, 1975 - 704 с.
4. ARAMIS SRX. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://oim3d.com/MeasureSystems/7/24>
5. Левченко Т.П. Выбор рационального поперечного сечения балки чистого изгиба. - Измерительная техника, 1974, №10, с. 39 - 40.
6. М.М.Лупинский, А.В.Ретивое, Н.Е.Хмельнова Установка высшей точности и государственная поверочная схема для средств измерений деформации. - Измерительная техника, 1987, №2, с. 33 - 35.
7. Стенд чистого згину 3221 СЧВ-20. Технічні умови ТУ 25.06 (Х6 2.774.201 КУ) - 77
8. Бидерман В.Л. Чистый изгиб тонкой полосы. - М.: МВТУ, 1977.
9. https://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/makarov_a_m_sergeev_a_s_krylov_e_g_serdobintsev_yu_p_sistemy.pdf стр 62 – 78
10. Безконтактне вимірювання деформації методом DIC. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cameraliq.ru/faq/beskontaktnoe-izmerenie-deformatcii-metodom-DIC/>
11. Система для безконтактних оптичних вимірювань DIC-Q400. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ptgk.ru/man-program/sistemy-izmereniya/dic-q-400-sistema-opticheskikh-izmerenij/>
13. Пучкин Б.И. Приклеиваемые датчики сопротивления. - М.-Л.: Энергия, 1966-88 с.
18. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. Введ. с 01.01.77. 1976. - 8 с.
19. Лупинский М.М. Состояние и перспективы совершенствования метрологического обеспечения деформаций. - Измерительная техника, 1982, №9 с. 23 25.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. ГОСТ 8.543-86. Государственная поверочная схема для средств измерений деформации. Введ. с 01.01.87. 1986. - 4 с.

21. 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.

					<i>МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					МД ПМ-01мн02.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		