

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

«На правах рукопису»

УДК 53.082.12

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.С. Єременко

2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»
на тему: «Програмно-методичний комплекс для дослідження засобів
тензометрії»

Виконала: студентка II курсу, групи ВВ-81мп
Некрасова М. В.

Науковий керівник
к.т.н., Морозова М. М.

Консультант з розділу «Розробка стартап-проекту»
д.е.н., доцент Бояринова К.О.

Рецензент
к.т.н., доцент Шумков Ю. С.

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

Студентка

Київ-2019 року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури з 22 найменувань та додатків. Загальний обсяг роботи становить 91 сторінку. Робота містить 39 таблиць та 21 рисунок.

Актуальність теми. Магістерська дисертація присвячена розробці програмно-методичного комплексу для дослідження засобів тензометрії. У загальному випадку, використання засобів тензометрії при проведенні науково-технічних досліджень дозволяє здійснювати контроль деформацій і напружень при дії статичних і динамічних навантажень.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка технічної документації та програмного компонента (програмного виробу, програмного комплексу), для подальшого створення програмно-методичного комплексу (ПМК), завдяки якому проводять дослідження тензоперетворювачів. ПМК забезпечує виконання дослідів щодо визначення деформації та механічних напружень об'єкта (балки) за допомогою дротяних тензорезисторів. Передбачено двадцять п'ять варіантів виконання завдань за допомогою розроблюваного програмного комплексу.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- Дослідити характеристики тензорезистивних перетворювачів (дротяних) при використанні мостової схеми включення.
- Розробити програмний компонент для виконання робіт із дослідження деформації та механічних напружень об'єкта (балки) за допомогою дротяних тензорезисторів, увімкнених у мостову схему.
- Розробити структуру програмного компоненту.
- Створити програмний компонент. (Середовищем проектування обрано LabView).

Об'єкт дослідження – напружено-деформовані стани певної конструкції (балки), на якій розміщують тензорезистори.

Предмет дослідження – властивості та характеристики тензорезисторів відповідно до схеми їх включення.

Методи дослідження. У роботі було використано наступні методи: тензометричний, математичного моделювання, програмно-алгоритмічного моделювання.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень можуть бути використані при виконанні лабораторних робіт в освітніх закладах; при дослідженні деформацій зразків на підприємствах та у лабораторіях.

Публікації:

1. Некрасова М.В., Морозова М.М. Назва статті: «Методи та засоби тензометрії» – НАУКОВЕ МИСЛЕННЯ: Збірник статей учасників тридцять другої всеукраїнської практично-пізнавальної конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього» (28 жовтня – 5 листопада 2019 р.). – Видавництво НМ. – Дніпро, 2019; Url – <http://naukam.triada.in.ua/>.

2. Некрасова М.В., Морозова М.М. Назва статті: «Тензорезистивний метод та засоби його реалізації» – XV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» (10 – 11 грудня 2019 р.). – Київ, 2019.

Ключові слова: тензометрія, тензорезистор, деформація, вимірювання.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction, 5 chapters, conclusions, list of used literature (22 titles) and appendices. The total volume of work is 91 pages. The work contains 39 tables and 21 drawings.

Actuality of theme. The master's dissertation is devoted to development of program-methodological complex for study of means of tensometry.

Purpose and tasks of research. The purpose of work is development of technical documentation and software component (software product, software complex), for creation of software and methodological complex (SMK), through which conduct research of strain gauges. SMK provides performance to determine deformation and mechanical stresses of object (beam) using wire strain gauges. Twenty-five variants of task execution are provided with help of developed software package.

To achieve the goal, following tasks were set:

- Investigate the characteristics of strain gauges (wires) when using bridge circuit.
- Develop a software component to perform deformation and mechanical stress studies of object (beam) using wire strain gauges included in bridge circuit.
- Develop the structure of software component.
- Create a software component. (The design environment LabView was selected).

The object of study is stress-strain states of a certain structure (beam), on which strain gauges are placed.

The subject of study is properties and characteristics of strain gauges according to scheme of their inclusion.

Research methods. Following methods were used in work: tensometric, mathematical modeling, software-algorithmic modeling.

Practical value of results obtained. Research findings can be used in laboratory work in educational institutions; in study of deformations of samples at enterprises and laboratories.

Publications:

1. Nekrasova M.V., Morozova M.M. Title of the article: Methods and Means of Tensometry - SCIENTIFIC THINKING: Collection of articles by participants of the thirty-second All-Ukrainian Practical-Cognitive Conference «Scientific Thought of the Present and Future» (October 28 - November 5, 2019). - NM Publishing House. - Dnipro, 2019; Url - <http://naukam.triada.in.ua/>.

2. Nekrasova M.V., Morozova M.M. Title of the article: «Tensor resistive method and means of its realization» - XV Scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists «Efficiency of engineering decisions in instrument making» (December 10 - 11, 2019). - Kyiv, 2019.

Key words: strain gauge, deformation, measurement.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І СИМВОЛІВ

ПМКДЗТ – Програмно-методичний комплекс для дослідження засобів тензометрії

NI – National Instruments

ПМК– програмно-методичний комплекс

ВСТУП

В основу тензометрії покладено явище тензоефекту, що полягає в зміні активного опору провідника первинного перетворювача (тензодатчика) під дією механічних напружень і деформацій. Використання тензодатчиків при проведенні науково-технічних досліджень дозволяє здійснювати контроль деформацій і напружень при дії статичних і динамічних навантажень. Тензометрія, як сукупність методів та засобів для визначення напружено-деформованих станів об'єктів та конструкцій, широко використовується не лише при вимірюванні ступеню деформацій, а й при визначенні ваги у контролі на стрічкових конвеєрах, маси транспортних засобів(автомобілів, залізничних вагонів), обґрунтуванні надійності та безпечності конструкцій атомної енергетики тощо.

Чим більше ми знаємо про об'єкт дослідження та чим кращу й точнішу його математичну модель можемо побудувати, тим точніше зможемо спрогнозувати його поведінку й ефективніше ним керувати. Математичне моделювання поведінки процесів різного походження й оптимальне керування ними мають ключове значення для проведення системних досліджень у багатьох сферах діяльності [1].

Тензометрія широко використовується для вимірювання ваги (маси), зокрема, при контролі продуктивності стрічкових конвеєрів, вимірюванні маси транспортних засобів (автомобілів, залізничних вагонів), а також у манометрах, динамометрах, торсіометрах (датчиках крутного моменту) тощо.

У техніці вимірювання неелектричних величин тензорезистори використовуються за двома напрямками. Перший напрямок:використання тензоефекту провідника, що знаходиться у стані об'ємного стиснення, коли природною вхідною величиною перетворювача є тиск газу або рідини, що його оточує. На цьому принципі будуються манометри для вимірювання високих і надвисоких тисків, перетворювачі яких представляють собою котушку дроту (зазвичай манганінового) або напівпровідниковий елемент (найчастіше германієвий або кремнієвий), розташовані в області вимірюваного тиску

(рідини або газу). Вихідною величиною перетворювача є зміна його активного опору. Другий напрямок – використання тензоефекту розтягнутого або стисненого тензочутливого матеріалу. При цьому тензорезистори застосовуються у вигляді «вільних» перетворювачів та таких, що наклеюють[2].

Зміст

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1. Програмний комплекс «Тензометр ZETLAB».....	10
1.2. «Тензод-200» (Модель версії 4.5) для систем дискретного дозування рідких і сипучих матеріалів.....	12
1.3. Лабораторний стенд для дослідження тензорезисторів.....	12
Висновки.....	14

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ТА МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. Загальні вимоги до ПМКДЗТ.....	15
2.2. Вимоги до функціональних характеристик.....	15
2.3 Склад функцій, що виконує програмний компонент ПМКДЗТ.....	15
2.2.2. Вимоги до організації вхідних та вихідних даних.....	15
2.2.2.1.Вимоги до введення вхідних даних.....	15
2.2.2.2.Вимоги до виведення даних.....	15
2.2.3.Вимоги до часових характеристик.....	16
2.2.4. Вимоги до надійності.....	16
2.3. Умови експлуатації.....	17
2.3.1. Вимоги до виду кліматичного виконання.....	17
2.3.2. Вимоги до експлуатації користувачем.....	17
2.3.3. Вимоги до електроживлення	17
2.4. Вимоги до складу та параметрів технічних засобів.....	18
2.5. Вимоги до інформаційної та програмної сумісності.....	18
2.5.1. Вимоги до програмної сумісності.....	18
2.6.Основні функції ПМКДЗТ.....	18
2.7. Технічні характеристики ПМКДЗТ.....	19
2.8.Аналіз та розрахунок похибок ПМКДЗТ.....	20
2.8.1. Розрахунок похибки цифрової моделі алгоритмів обробки.....	20

2.8.1.1. Похибка від заокруглення.....	21
2.8.1.2. Параметрична похибка.....	21
2.8.1.3. Сумарна похибка цифрової моделі.....	22
2.8.2. Метрологічне забезпечення.....	22
2.8.2.1. Метрологічне забезпечення програмних засобів.....	22
2.8.2.2. Метрологічний самоконтроль.....	23
2.8.2.3. Метрологічні характеристики та їх нормування.....	23
2.8.2.4. Повірка та калібрування.....	24
Висновки.....	24
РОЗДІЛ 3	
ВИБІР ЗАСОБІВ ТЕНЗОМЕТРІЇ	
3.1. Характеристики засобів тензометрії та приклади.....	26
3.2. Похибки тензорезистивних датчиків та їх корекція.....	27
3.3. Вимоги до матеріалів для виготовлення тензорезисторів.....	29
3.4. Схеми включення.....	30
3.5. Огляд дротяних тензорезисторів.....	31
3.5.1. Класифікація тензорезисторів.....	31
3.5.1.1. За типом чутливого елемента.....	31
3.5.1.2. За матеріалом підкладки.....	32
3.5.1.3. За величиною електричного опору.....	32
3.6. Температурна компенсація проводів чвертьмостової схеми вимірювань.....	33
3.7. Температурна зміна опору, викликана зміною температури.....	34
3.8. Корекція коефіцієнта тензочутливості (чутливості тензорезистора) з урахуванням сполучних дротів.....	35
3.9. Сумарний опір на метр довжини типового попередньо приєднаного дроту компанії TML.....	35
Висновки.....	36

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-МЕТОДИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕНЗОМЕТРІЇ

4.1. Розробка структурної схеми ПМКДЗТ.....	38
4.2. Алгоритм роботи програмного виробу.....	38
4.3. Розробка функціональної схеми програмного компонента.....	39
4.3.1. Блок вибору варіанта.....	40
4.3.2. Віртуальний блок живлення типу ВС-24м.....	41
4.3.3. Розробка функціональної схеми віртуального магазину опорів.....	42
4.3.4. Блок програми для задавання коефіцієнта тензочутливості k і типу тензоматеріалу.....	43
4.3.5. Блок корекції коефіцієнта тензочутливості (чутливості тензорезистора) з урахуванням сполучних проводів.....	44
4.3.6. Розробка функціональної схеми визначення прогину балки.....	44
4.3.7. Розробка функціональної схеми формування значень опорів R_{t1} і R_{t2}	45
4.3.8. Розробка функціональної схеми віртуального гальванометра.....	46
4.3.9. Поправка на температурний вплив провідника EL	47
4.3.10 Блок-діаграма програмного виробу «Програмний засіб для дослідження методів тензометрії».....	47
4.4. Методика роботи із програмним компонентом.....	49
4.4.1. Системні вимоги для запуску ПМКДЗТ.....	49
4.4.2. Ознайомлення з програмним виробом.....	49
4.4.2.1. Закладка «Вибір варіантів».....	49
4.4.2.2. Закладка «Макет лабораторної роботи».....	50
4.5. Методика роботи користувача з програмним компонентом.....	51
Дослід 1. «Врівноваження мостової схеми. Навантажування та розвантажування балки».....	51
Дослід 2. «Моделювання ситуації використання різних типів тензорезисторів».....	52

Дослід 3. «Моделювання ситуації використання різних провідників у мостовій схемі. Використання різних типів тензорезисторів. Вплив довжини провідника. Вплив температури».....	54
Дослід 4. «Моделювання ситуації використання різних типів провідників у мостовій схемі. Вплив сумарного опору провідника на метр його довжини. Використання різних типів тензорезисторів».....	58
4.6. Методичні вказівки по обробці результатів вимірювання.....	58
Висновки.....	59

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «ПРОГРАМНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕНЗОМЕТРІЇ»

5.1 Опис ідеї проекту.....	61
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	64
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	66
5.4 Розробка ринкової стратегії проекту.....	79
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	82
Висновки:.....	87
ВИСНОВКИ.....	88
Джерела.....	90

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1. Програмний комплекс «Тензометр ZETLAB»

Програма «Тензометр» призначена для проведення всіх видів тензовимірювань за допомогою тензометричних датчиків (наприклад, датчиків сили, датчиків крутного моменту, мостових і напівмостових схем, що використовують тензорезистори) та тензостанції ZET 017-T.

Залежно від налаштування програми «Тензометр», результатами вимірювань можуть бути сила, вага, переміщення, крутний момент і інші параметри. Для живлення датчика може використовуватися вбудований генератор тензометричної станції. Інтерфейс даного програмного компонента показано на рисунку 1.1 та рисунку 1.2.



Рис. 1.1 Інтерфейс Тензометра ZETLAB

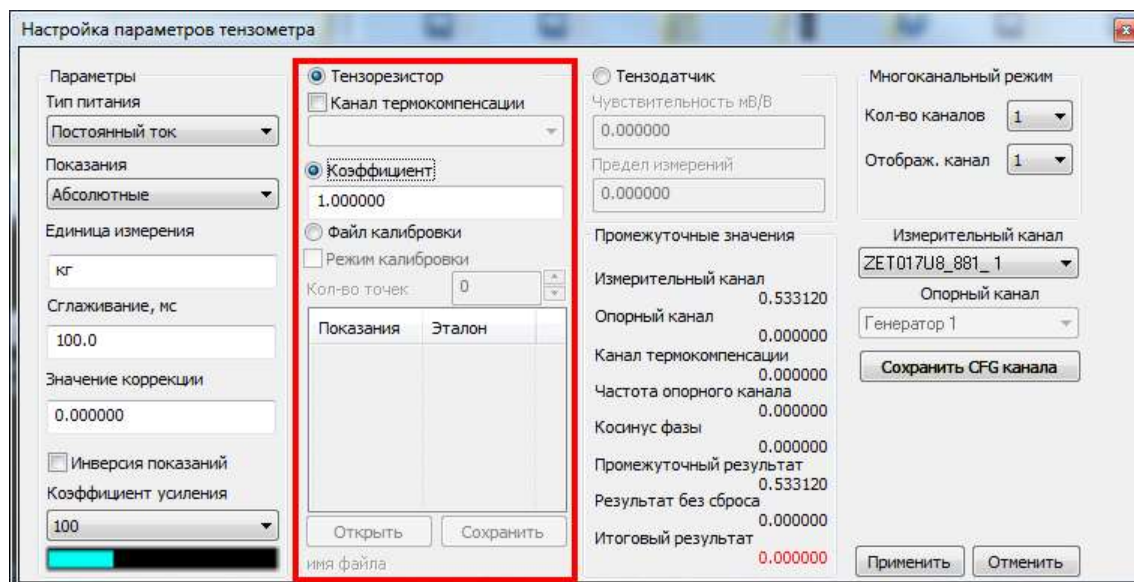


Рис. 1.2 Интерфейс Тензометра ZETLAB

Особливості Тензометра ZETLAB.

При використанні в якості чутливого елемента тензодатчиків, налаштування параметрів здійснюється у відповідному полі «Тензодатчик», при цьому поле «тензорезистори» стає неактивним. Для налаштування тензодатчиків доступні два параметри:

- чутливість, мВ / В;
- межа вимірювань(максимальне значення деформації, яке здатний зафіксувати датчик).

При використанні тензодатчика в якості первинного перетворювача розраховуються тільки відносні покази тензометра. При використанні великої кількості первинних перетворювачів користувачу необхідно стежити за кожним каналом окремо. Раніше дана можливість досягалася за рахунок запуску великого числа програм «Тензометр», що в свою чергу викликало значні незручності. Тепер для відображення великої кількості каналів досить запустити одну програму і налаштувати відображення у багатоканальному режимі.

Вхідними даними програми Тензометр є цифрові дані каналу сервера ZETLAB, який є вихідним сигналом тензометричних датчиків, датчиків сили

розтягування і стиснення, мостових схем. Для оцифровування аналогових сигналів використовується тензометрична станція ZET 017-T8[3].

1.2. «Тензод-200»(Модель версії4.5) для систем дискретного дозування рідких і сипучих матеріалів

«Тензод-200» (модель 4.5) призначений для використання спільно з одним або декількома паралельно з'єднаними тензорезисторними силовимірювальними датчиками в системах дискретного дозування рідких і сипучих компонентів (зокрема, може бути використаний для дозаторів коксу в доменному виробництві).

Прилад у мінімальному варіанті складається з блоку аналого-частотного перетворення і блоку контролера і індикації. Можлива поставка приладу «Тензод-200» спільно з принтером типу EPSONLX-300 і дублюючим цифровим табло, на яке виводиться через інтерфейс інформація щодо заданої величини дози і поточної ваги.

Основні технічні характеристики «Тензод-200»:

1. Діапазон перетворюється коефіцієнта передачі тензодатчика від 0 до 3мВ / В;
2. Межа допустимого значення основної зведеної похибки перетворення коефіцієнта передачі тензодатчика в цифровий код не перевищує $\pm 0,01\%$ при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
3. Поріг реагування- не перевищує величини дискретності вимірів;
4. Діапазон вимірювань повинен вибиратися при калібруванні з ряду цілих значень в межах п'яти розрядів, але не більше 50000 одиниць дискретності;
5. Час одиничного вимірювання задається в межах від 0.1 до 2.5 секунди[4].

1.3.3. Лабораторний стенд для дослідження тензорезисторів

Прототипом віртуального лабораторного стенду є реальна вимірювальна система. Вона дозволяє будувати характеристики залежності напруги на виході

електричної схемивимірювального моста, в плечі якого включені тензорезистори, від величини прогину балки знаклеєними на ній тензорезисторами. Вимірювальна система включає консольну пружну навантажувану балку з наклеєними тензоперетворювачами і механізмом навантаження балки зістрілочним індикатором величини прогину, блок живлення, підсилювач вихідного сигналу з тензорезисторів.

Для імітації роботи цієї вимірювальної тензометричної системи на віртуальному лабораторному стенді необхідно було отримати функціональну залежність між величиною прогину балки і струмом розбалансу електричного моста.

Реалізація структурної схеми Лабораторного стенда в LabVIEW показана на рис. 1.3 та рис. 1.4.

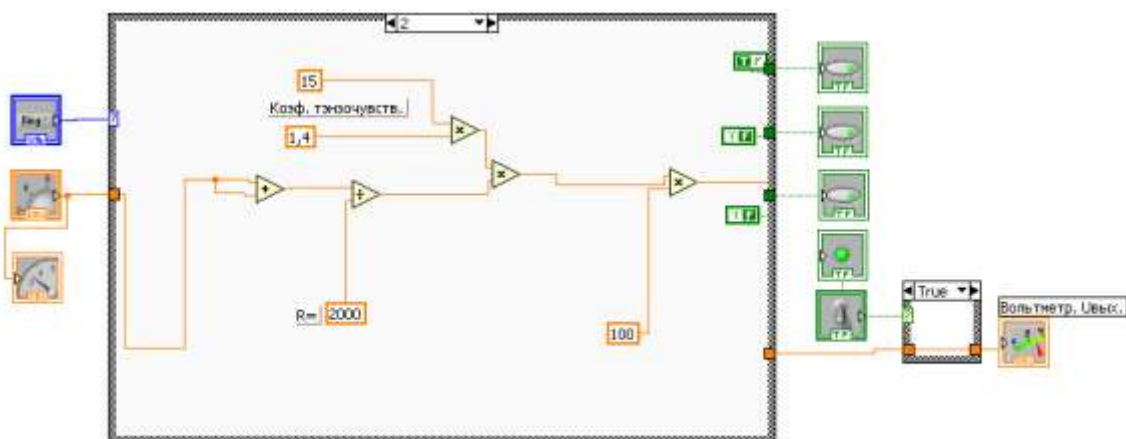


Рис. 1.3 Структурна схема Лабораторного стенду для дослідження тензорезисторів

На додаток до основної частини програми розроблено блок обліку статистики, з метою відображення залежності вихідної напруги обраної схеми мостового включення від деформації балки[5].

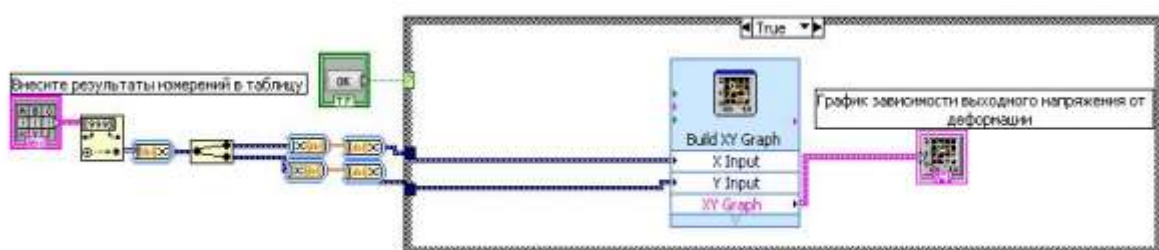


Рис. 1.4 Структурна схема блоку статистики Лабораторного стенду

Висновки: розглянуто наступні 3 аналоги: Програмний комплекс «Тензомер ZETLAB», «Тензод-200» (Модель версії 4.5) для систем дискретного дозування рідких і сипучих матеріалів та Лабораторний стенд для дослідження тензорезисторів. Показано актуальність та перспективність створення Програмно-методичного комплексу для дослідження засобів тензометрії. Перевагами ПМК мають бути: більш зручний інтерфейс, можливість застосування, зокрема, у навчальному процесі, і наявність докладних методичних вказівок для роботи оператора щодо виконання поставлених завдань.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ТА МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. Загальні вимоги до ПМКДЗТ

Загальні вимоги до ПМКДЗТ включають вимоги до функціональних характеристик, організації вхідних та вихідних даних, часових характеристик, вимоги до надійності, до інформаційної та програмної сумісності та ін.

2.2. Вимоги до функціональних характеристик

2.2.1. Склад функцій, що виконує програмний компонент ПМКДЗТ

Програмний компонент ПМКДЗТ повинен забезпечити:

- занесення вхідних даних (вх. напруга, опори R_2 і R_3 ; для мостової схеми: сумарний опір провідника на метр його довжини, коефіцієнт тензочутливості, довжину провідника, зміну температури) з клавіатури та за допомогою маніпулятора миші;
- визначення відхилення показчика гальванометра, обчислення прогину балки, скоригованого коефіцієнта тензочутливості, температурний вплив провідника;
- встановлення залежності відхилення показчика гальванометра від ваги грузу (навантаження на балку).

2.2.2. Вимоги до організації вхідних та вихідних даних

2.2.2.1. Вимоги до введення вхідних даних

Програмний компонент ПМКДЗТ повинен забезпечувати введення параметрів згідно завдання та інструкції користувача, для визначення параметрів: відхилення показчика гальванометра, прогин балки, залежність відхилення показчика гальванометра від ваги грузу (навантаження на балку). Діапазон вхідних даних наведено в таблиці 2.1.

2.2.2.2. Вимоги до виведення даних

Програмний виріб ПМКДЗТ повинен відображати результати обчислень параметрів, що знаходяться у відповідних діапазонах, які наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Діапазони та значення вхідних та вихідних величин

Вихідна напруга блоку живлення, V	0...30
Внутрішній опір блоку живлення, Ω	300
Ціна поділки шкали вольтметра, V	2,5
Опір віртуального магазину опорів, Ω	0..99999.999
Вихідна напруга, V	12,5...30
Опір R_2 , Ω	15...21
Опір R_3 , Ω	9...34
Значення на магазині опорів у положенні 1, Ω	0...1110
Значення на магазині опорів у положенні 2, Ω	0...9,999
Навантаження балки, g	0...700
Сумарний опір провідника на метр його довжини, Ω/m	0...2,5
Довжина провідника, m	0...90
Зміна температури, $^{\circ}\text{C}$	0...60

2.2.3. Вимоги до часових характеристик

Час реакції на дії користувача не повинен перевищувати 0,5 секунди. Обчислення параметрів та обробка результатів має виконуватись не більше 3 секунд.

2.2.4. Вимоги до надійності

Розроблюваний ПМКДЗТ повинен виконувати такі вимоги щодо надійності:

- контроль вхідних даних по діапазону;
- блокування некоректних дій;

– відновлення роботи програмного виробу після перезапуску у разі аварійного переривання роботи програми не більше 30 секунд – відновлення роботи з останньої зафіксованої дії перед відмовою.

2.3. Умови експлуатації

2.3.1. Вимоги до виду кліматичного виконання

Програмний виріб повинен зберігати зовнішній вигляд і свої параметри в умовах експлуатації, зазначених у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Кліматичні чинники, що впливають на програмний виріб

Види чинників, що впливають	Номінальне значення та граничне відхилення
Температура навколишнього середовища, К (°C)	293 ± 10 (20 ± 10)
Відносна вологість, %	65 ± 25
Атмосферний тиск, кПа (мм. рт. ст.)	84 – 106.7 (630 – 800)

2.3.2. Вимоги до експлуатації користувачем

Програмний виріб розрахований на експлуатацію користувачем, який не є професійним оператором. Для виконання роботи з даним програмним виробом користувачу достатньо мати початкові знання та досвід роботи з ЕОМ. Для коректної роботи програмного виробу користувач повинен виконувати роботу за інструкцією користувача з експлуатації розробленого ПМКДЗТ.

2.3.3. Вимоги до електроживлення

Живлення ЕОМ, на якій виконуються роботи з програмним виробом, розташованого на жорсткому диску в складі ПЕОМ, здійснюється від мережі змінного струму частотою $50 \pm 0,5$ Hz і напругою 220 ± 22 V.

2.4. Вимоги до складу та параметрів технічних засобів

Для функціонування програмного виробу необхідний персональний комп'ютер (ПК) або портативний комп'ютер (Laptop) у базовій конфігурації з наступними мінімальними системними вимогами:

- процесор Intel® Core™ i5-3210M x64-based processor CPU@ 2.50GHz
- (2.50 GHz);
- об'єм оперативної пам'яті 16.0 GB;
- тип відеокарти та об'єм відеопам'яті – дискретна, nVidia GeForce GT630.

Склад технічних засобів:

- монітор з роздільною здатністю 1280×768;
- комп'ютерна миша;
- USB клавіатура для персонального комп'ютера або вбудована клавіатура для портативного комп'ютера;
- USB порт та оптичний привід.

2.5. Вимоги до інформаційної та програмної сумісності

2.5.1. Вимоги до програмної сумісності

На персональному чи портативному комп'ютері, на якому буде запускатись розроблений програмний виріб, має бути встановлено:

- графічне середовище розробки LabVIEW 7.1 компанії National Instruments;
- виконавче середовище LabVIEW Runtime Engine 2007 SP1;
- операційна система Windows 7/8/10.

2.6. Основні функції ПМКДЗТ

- занесення вхідних даних (вхідної напруги та опорів R1 і R2, напруги живлення) з клавіатури або за допомогою маніпулятора миші;
- отримання вихідних даних;
- коригування значення коефіцієнта тензочутливості;

- знаходження температурної поправки;
- визначення значення прогину балки.

2.7. Технічні характеристики ПМКДЗТ

Для того, аби програмний виріб ПМКДЗТ працював коректно, необхідний персональний (ПК) або портативний комп'ютер (Laptop) у базовій конфігурації з наступними мінімальними системними вимогами:

- процесор Intel Core i5-3210M;
- об'єм оперативної пам'яті 16.0 GB;
- тактова частота не менше 2 GHz;
- тип відеокарти та об'єм відеопам'яті - дискретна, nVidia GeForce GT630.

На комп'ютері (персональному чи портативному), де буде запускатись розроблений програмний продукт, має бути встановлено:

- графічне середовище розробки LabVIEW 7.1, компанії National Instruments;
- виконавче середовище LabVIEW Runtime Engine 2007 SP1;
- операційна система Windows (версії: 7/8/10).

Склад технічних засобів:

- монітор з роздільною здатністю 1280×768;
- комп'ютерна миша;
- USB клавіатура для персонального комп'ютера або вбудована клавіатура для портативного комп'ютера;
- USB порт та оптичний привід.

Технічні характеристики програмного виробу приведені в таблиці 2.3.

Таблица 2.3

Технічні характеристики програмного виробу

Інтерфейс	WIMP
Мова програмування	G
Операційна система	Windows

2.8. Аналіз та розрахунок похибок ПМКДЗТ

2.8.1. Розрахунок похибки цифрової моделі алгоритмів обробки

2.8.1.1. Похибка від заокруглення

При отриманні ненульового числового результату не варто повністю довіряти розрахункам, виконаним комп'ютером: при множенні на нуль, або нуль там, де теоретично не має бути нуля. У підсумку, точність отриманих результатів обчислення значно нижча.

В ЕОМ для дійсних чисел використовується двійкова система числення і прийнята форма представлення чисел з плаваючою точкою виду:

$$x = m \cdot 2^p, \quad (2.1)$$

де

$$m = \pm (g_1 \cdot 2^{-1} + g_2 \cdot 2^{-2} + \dots + g_t \cdot 2^{-t}), \quad (2.2)$$

m – мантиса;

$g_1 \dots g_t$ – виконавчі цифри, причому, g_1 рівне одиниці, а ціле значення p називається двійковим порядком.

Розрядність мантиси – кількість цифр t , яка відводиться для запису мантиси. Діапазон представлення чисел в ЕОМ обмежений кінцевою розрядністю мантиси і значенням числа p [6].

Вагові числа x , представлені на ЕОМ, задовольняють нерівності:

$$0 < X_0 \leq |x| < X_\infty, \quad (2.3)$$

де

$$X_0 = 2^{p_{\max}} + 1, \quad X_\infty = 2^{p_{\max}}, \quad (2.4)$$

а значення p_{\max} відповідає розрядності обчислювальної системи.

Числа, які за модулем більші від X_∞ , не сприймаються ЕОМ і розглядаються як машинна нескінченність. Числа, які за модулем менші від X_0 , для комп'ютера не відрізняються від нуля і розглядаються як машинний нуль.

Машинний епсилон ϵ_M називається відносною точністю ЕОМ, тобто межею відносної похибки подання дійсних чисел.

Зазвичай використовують представлення чисел у форматі з плаваючою комою при розв'язанні обчислювальних задач.

Для похибки представлення чисел справедлива оцінка:

$$\delta_a = \frac{|a - \hat{a}|}{|\hat{a}|} \leq 2^{-t}, \quad (2.5)$$

де \hat{a} – наближене значення точного числа a ;

t – розрядність мантиси.

Число, наближено представлене в комп'ютері, можна записати у вигляді:

$$\hat{a} = a(1 \pm \epsilon), \quad (2.6)$$

де $\epsilon = 2^{-t}$ – машинний «епсilon» (машинна точність) – відносна похибка представлення чисел.

Машинний «епсilon» визначається розрядністю мантиси і способом округлення чисел, реалізованим на конкретній ЕОМ.

LabVIEW 2007 може мати 32 та 64 розряди у своїй реалізації.

У випадку 32-х розрядів машинна точність буде такою:

$$\epsilon = 2^{-t} = 2^{-32} \approx 2,33 \cdot 10^{-10}. \quad (2.7)$$

У випадку 64-х розрядів машинна точність буде наступною:

$$\epsilon = 2^{-t} = 2^{-64} \approx 5,4 \cdot 10^{-20}. \quad (2.8)$$

Під час реалізації розрахунку фрактальної розмірності використовувались обидві розрядності, тому слід брати гіршу з них (при $\epsilon = 2,33 \cdot 10^{-10}$).

2.8.1.2. Параметрична похибка

Похибка табличної величини (наприклад, число π) приймається рівною половині одиниці молодшого розряду, приведеного в таблиці числа. Якщо кількість розрядів становить 64, то $\Delta_\pi = 0,5 \cdot 10^{-64}$, $\epsilon_\pi = \epsilon_{\beta c} = 0,5 \cdot 10^{-64}$. Значення, яке було розраховано, не перевищує максимально допустиме значення похибки.

Значення інструментальної похибки складає (відповідно до розрахунків):

$$\epsilon_\beta = \epsilon_{\beta d} + \epsilon_{\beta c} = \pm(0,34 \cdot 10^{-8} + 0,5 \cdot 10^{-64}) = \pm 0,34 \cdot 10^{-8}. \quad (2.9)$$

При складанні балансу похибок розраховане значення похибки значно менше за допустиме.

2.8.1.3. Сумарна похибка цифрової моделі

Складові похибки віртуального тренажеру для аналізу термоперетворювачів:

- похибка округлення ($\varepsilon = 2,33 \cdot 10^{-10}$);
- параметрична похибка ($\varepsilon_{\beta} = \pm 0,34 \cdot 10^{-8}$).

Якщо перевести у відсотки, то сумарна відносна похибка цифрової моделі буде дорівнювати:

$$\delta_i = \varepsilon_{\beta} + \varepsilon = (0,34 \cdot 10^{-8} + 2,33 \cdot 10^{-10}) \cdot 100 = 0,323 \cdot 10^{-6}\% \quad (2.10)$$

2.8.2. Метрологічне забезпечення

2.8.2.1. Метрологічне забезпечення програмних засобів

Програмне забезпечення віртуальних програмних засобів реалізують з використанням універсальних програмних засобів об'єктного моделювання або інших програмних засобів. Нормативним документом Європейської кооперації з метрології для засобів, що використовують універсальний комп'ютер, встановлено основні вимоги до їх програмного забезпечення. В іншому віртуальні програмні засоби мають всі ознаки властивості звичайних вимірювальних засобів з програмного забезпечення.

Як правило, програмне забезпечення, що входить до складу комп'ютерних засобів вимірювання, не атестується окремо, а проходить атестацію у складі засобу вимірювань. Тобто в процесі атестації не враховується похибка реалізації та вибір алгоритму програмним засобом, а також інші важливі характеристики програмного забезпечення. Однак, використане програмне забезпечення може вносити додаткові похибки, які повинні бути оцінено.

При віртуальних вимірюваннях можуть бути задіяні і додаткові програмні засоби (драйвери додаткових технічних засобів; модулі управління вимірюванням і/або відображення їх результатів; модулі зберігання, обробки, приймання/передавання даних; модулі захисту даних тощо) та мають

відповідати вимогам, відповідно до яких має бути виокремлено метрологічно значущі й незначущі частини програмних засобів.

Особливостями метрологічно значущого програмного забезпечення є, по-перше, можливість оперативної модернізації, а по-друге, орієнтованість на роботу з комп'ютеризованими засобами вимірювань і багатофункціональною апаратурою, що включає спеціалізовані апаратні засоби, з'єднані з обчислювальними пристроями широкого застосування [7].

2.8.2.2. Метрологічний самоконтроль

Для віртуальних програмних засобів є можливість організації метрологічного самоконтролю справності в процесі експлуатації з використанням прийнятого опорного значення, сформованого за допомогою вбудованого додаткового пристрою (вимірювального перетворювача, міри) або виділеного додаткового параметра вихідного сигналу. У цьому випадку віртуальний програмний засіб має бути доповнено модулем перевірки метрологічної справності спеціалізованих апаратних засобів з метрологічними характеристиками.

Метрологічний самоконтроль розглядається як додаткова процедура, що дозволяє знизити ризик виникнення невиявленої метрологічної відмови, а також збільшити міжповірочний інтервал. У віртуальних програмних засобах може бути реалізовано метрологічний прямий або метрологічний діагностичний самоконтроль. Кожен з цих методів метрологічного самоконтролю може бути заснований на структурній, часовій, або функціональній надлишковості або їх комбінації [8].

2.8.2.3. Метрологічні характеристики та їх нормування

Метрологічні характеристики віртуальних програмних засобів повинні бути нормовані відповідно до вимог ГОСТ 8.009. Якщо за метрологічними характеристиками, встановленими у цьому стандарті, не можуть бути визначені результати вимірювань і розраховані характеристики похибки вимірювань, то допускається нормувати метрологічні характеристики, відмінні від зазначених у ГОСТ 8.009. Очевидно, і до віртуальних програмних засобів мають бути

застосовані вимоги щодо номенклатури метрологічних характеристик. Крім того, мають бути зазначені способи нормування метрологічних характеристик, а також форми їх подання. Можна скористатися тим, що у деяких випадках ГОСТ 8.009 передбачає нормування комплексів метрологічних характеристик з числа додатково включених характеристик, виходячи із специфіки віртуальних програмних засобів. Очевидно питання, що стосуються встановлення метрологічних характеристик віртуальних програмних засобів вимагають подальшого опрацювання[9].

2.8.2.4. Повірка та калібрування

Оскільки віртуальні програмні засоби вирішують ті самі завдання, що й традиційні, то і методологія повірки (калібрування) має бути такою ж відповідно до вимог, встановлених зокрема до калібрування. У добровільному порядку калібруванню можуть піддаватися віртуальні програмні засоби, що не відносяться до сфери державного контролю. Такі віртуальні програмні засоби можуть працювати у складі закритих хмарних систем, які створюються для експлуатації тільки однією організацією. Повірка віртуальних програмних засобів може бути комплектною або поелементною. Якщо вплив додаткових програмних засобів на метрологічні характеристики враховано при визначенні метрологічних характеристик віртуальних програмних засобів, то при періодичній повірці досить перевірити наявність і відповідність ідентифікаційних даних, а також реалізацію методів ідентифікації[9].

Висновки: як правило, ПЗ, що входить до складу комп'ютерних засобів вимірювання, не атестується окремо, а проходить атестацію у складі засобу вимірювань. Тобто в процесі атестації не враховується похибка реалізації та вибір алгоритму програмним засобом, а також інші важливі характеристики ПЗ. Однак, використане ПЗ може вносити додаткові похибки, які повинні бути оцінено. При віртуальних вимірюваннях можуть бути задіяні і додаткові програмні засоби (драйвери додаткових технічних засобів; модулі управління вимірюванням і/або відображення їх результатів; модулі зберігання, обробки,

приймання/передавання даних; модулі захисту даних тощо) та мають відповідати вимогам, відповідно до яких має бути виокремлено метрологічно значущі й незначущі частини програмних засобів. Особливостями метрологічно значущого ПЗ є, по-перше, можливість оперативної модернізації, а, по-друге, орієнтованість на роботу з комп'ютеризованими засобами вимірювань і багатофункціональної апаратурою, що включає спеціалізовані апаратні засоби, з'єднані з обчислювальними пристроями широкого застосування[9, 10].

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ЗАСОБІВ ТЕНЗОМЕТРІЇ

3.1. Характеристики засобів тензометрії та приклади

Уданий час тензорезистори застосовуються в багатьох областях науки і техніки [11]. При цьому виникає багато складних теоретичних і практичних проблем. Серед різних експериментальних методів вимірювання деформацій переважна більшість дослідників віддає перевагу вимірам із застосуванням тензодатчиків або тензорезисторів, оскільки вони найкращим чином відповідають критеріям вартість-ефективність, володіючи оптимальним поєднанням характеристик.

Приклади тензодатчиків та тензоперетворювачів наведено у таблиці 3.1[12].

Таблиця 3.1

Приклади тензодатчиків та тензоперетворювачів

Виробник датчика або перетворювача (країна, місто)	Фізичні величини, щовимірюються тапараметри, що реєструються	Особливості, тип датчика або перетворювача
ВЕДА (Україна, Київ)	Деформація	Прямокутні, розеткові, мембранні і ланцюгові тензорезистори. Балкові, колонні, мембранні, S-образні тензодатчики
ИНТЕЛ-СИСТЕМА (Росія, С.-Петербург)	Температура, деформація, вологість, положення	Волоконно-оптичні: інтерференційні, дифракційні, відбивні, доплеровские, тунельні, мікроструктурні

МАНОМЕТР-ХАРЬКОВ (Україна, г. Мерефа)	Тиск, рівень, деформація	Тензопереторювачі, інтелектуальні, аналогові
НИИФИ (Росія, Пенза)	Деформація	Датчики залишкових напруг, тензорезистори, тензомодулі

3.2. Похибки тензорезистивних датчиків та їх корекція

При використанні тензорезисторів компонентами похибок є наступні[13]:

- випадкова похибка, викликана технологічним розкидом опорів тензорезисторів;
- систематична похибка, викликана термоелектричним ефектом;
- тепловий і флікер-шум вимірюваного опору;
- температурна похибка, викликана розігрівом датчика струмом;
- похибка, пов'язана з різницею температурних коефіцієнтів розширення тензорезистора і матеріалу об'єкта, на який наклеєний тензорезистор;
- похибка методу (схеми вимірювання) опору, що залежить від довжини проводів і точності вимірювання їх опору;
- зовнішні наведення;
- опір контактів;
- «повзучість» опору тривало навантаженого тензорезистора;
- похибка вимірювального модуля введення;
- зміни характеристики, які викликаються залишковими деформаціями у перетворювачі при тривалій дії значних навантажень, що є близькими до допустимих;
- невідтворення характеристики перетворення при навантаженні і розвантаженні;
- зміни крутизни характеристики перетворення від часу, через старіння матеріалів (зниження чутливості при збільшенні частоти деформацій).

Найістотніший вплив на величину похибки має фактор впливу температури. Зміну опору перетворювача від зміни температури можна порівняти зі зміною опору від дії деформації. Для зниження температурної похибки використовують кілька шляхів:

- вибирають матеріал для тензорезистора з малим температурним коефіцієнтом лінійного розширення, який є близьким до коефіцієнта розширення деталі;
- застосовують компенсаційні перетворювачі, що розташовуються близько до робочого тензорезистора.

Основна похибка дрітних і фольгових тензорезисторів, що випускаються у промисловості, при компенсації температурної похибки не перевищує 1%.

Для корекції похибок тензорезистивних датчиків, функція перетворення яких, як правило, є нелінійною та зазнає впливу різноманітних дестабілізуючих факторів (основним із яких є температура), використовуються на сьогодні методи автоматичної корекції на основі методів допоміжних вимірювань, що регламентуються міжнародним стандартом IEEE 1451.02, який передбачає використання множини функцій перетворень, декількох еталонних значень вхідної величини під впливом різних значень дестабілізуючого фактора [14]. Ці дані використовують для отримання скоригованого результату шляхом вирішення систем нелінійних рівнянь. У [15], наприклад, описано метод цифрової компенсації, що забезпечує більш значне зниження (на порядок) похибок вимірювальних перетворювачів, порівняно з методом аналогової компенсації. Особливості й технічні показники цього методу розглядаються на прикладі вимірювального перетворювача тиску з фольговими тензорезисторами. Даний вимірювальний перетворювач складається із круглої металевої мембрани, на одній із поверхонь якої наносяться чотири однакові фольгові тензорезистори, з'єднані за мостовою схемою. Тензодатчики розміщуються у такий спосіб, щоб при деформації мембрани під дією тиску два тензорезистори працювали на розтяг, а два інших – на стискання. Як матеріал

фольгового тензорезистора взято сплав з мінімальним температурним коефіцієнтом опору. На поверхні мембрани також розташовуються додаткові компенсаційні резистори. Із підвищенням температури жорсткість мембрани зменшується внаслідок температурних змін модуля пружності матеріалу мембрани, що призводить до збільшення чутливості вимірювального перетворювача[14].

Такий метод є універсальним, дозволяє скоригувати не лише похибки нелінійності вимірювального каналу та додаткові похибки, але й похибки, зумовлені впливом завад загального виду. До недоліків методу [15] можна віднести значний обсяг обчислень.

3.3.Вимоги до матеріалів для виготовлення тензорезисторів

Матеріали для тензограток повинні відповідати наступним вимогам [16]:

- мати високий питомий опір, що дозволяє виготовляти тензорезистори малої бази із досить великим опором;
- володіти високою і стабільною чутливістю до деформації;
- зміни опору, що викликані деформацією, повинні відповідати лінійним законам у досить широкому діапазоні;
- бути нечутливими до впливу температури, тобто температурний коефіцієнт опору повинен бути близьким до нуля;
- термоЕРС в парі з міддю повинна бути якомога меншою, що важливо при живленні тензорезисторів постійним струмом;
- температурні коефіцієнти лінійного розширення матеріалу дроту та матеріалу досліджуваного зразка, на який наклеюється тензорезистор, повинні бути рівними або трохи відрізнятися, в іншому випадку зміни температури будуть викликати уявну деформацію і створювати похибки при вимірах;
- відсутність гістерезису;
- бути високотехнологічними, що дозволяє забезпечити мікронні розміри;

- сплави, що застосовуються для виготовлення високотемпературних тензорезисторів, повинні добре протистояти окисленню, під впливом оточуючого середовища.

У даний час більшість тензорезисторів виготовляється з константового сплаву через такі його особливості[16]:

- сталість коефіцієнта тензочутливості в широкому діапазоні деформацій;
- у відпаленому стані константан може використовуватися при вимірі деформацій до 20%; проте тоді відбувається зміна початкового опору, що свідчить про систематичну зміну опору при кожному циклі навантаження;
- відсутність істотних змін при переході від пружної деформації до пластичної;
- константан має високі питомий опір та температурну стабільність;

Сплав карма також широко застосовується, причому в порівнянні з константаном, він має наступні переваги[16]:

- може бути температурно компенсований у більш широкому діапазоні температур;
- нікель-хромова основа сплаву карма забезпечує вищі характеристики втомлюваності тензодатчиків;
- сплав проявляє високу стабільність у часі, а тому застосовується при вимірюванні статичних деформацій упродовж тривалого часу (від кількох місяців до декількох років).

Сплави ніхром, платино-вольфрам, армюр застосовують у вимірюваннях, пов'язаних із високими температурами, при яких відіграє істотне значення стійкість до окислення.

3.4.Схеми включення

Найчастіше вимірювальним ланцюгом є дільник напруги або мостова схема. Дільник напруги із живленням постійним струмом застосовують лише в тому випадку, коли цікавляться тільки змінною складовою вимірюваної

величини. При цьому постійна складова падіння напруги на опорітензопетворювача, що в сотні разів перевищує змінну складову, відфільтровується відповідним розділовим конденсатором.

У всіх інших випадках в якості вимірювального ланцюга використовується міст, що живиться постійним або змінним струмом. Високу точність вимірювання можуть забезпечити методи порівняння: нульовий і диференційний[17].

Обидва методи реалізуються в мостовій схемі включення. Нульовому методу відповідає рівноважний режим роботи моста, диференціальному – нерівноважний. Тензорезистор, який сприймає деформації, включають в одне з плечей моста. Стан моста характеризує напруга у його вимірювальній діагоналі.

3.5. Огляд дротяних тензорезисторів

Дротяні тензорезистори знайшли найбільш широке застосування в даний час, і в техніці вимірювань неелектричних величин використовуються за двома напрямками.

Перший напрямок: використання тензоефекту провідника, що знаходиться в стані об'ємного стиснення, коли природною вхідною величиною перетворювача є тиск оточуючого його газу або рідини. На цьому принципі будуються манометри для вимірювання високих і надвисоких тисків, перетворювачі яких представляють собою котушку дроту (зазвичай намагніченого), вміщену в область вимірюваного тиску (рідини або газу). Вихідною величиною перетворювача є зміна його активного опору.

Другий напрямок: використання тензоефекту при пружних деформаціях дроту[11].

3.5.1. Класифікація тензорезисторів

3.5.1.1. За типом чутливого елемента

За типом чутливого елемента тензорезистори поділяються на фольгові, дротяні й напівпровідникові.

У фольгових тензорезисторів чутливий елемент виготовляється з фольги товщиною декілька мікрон. Матеріал – сплав Ni-Cu або Ni-Cr. Ці датчики мають малі розміри і виготовлені методом фототравлення, що робить їх відносно недорогими. Ці тензорезистори є універсальними у використанні. Все це обумовлює їх масове застосування в різних областях вимірювань.

У дрітних тензорезисторах як чутливий елемент використовується дріт зі сплаву Ni-Cu або Ni-Cr, товщиною 13-25 мікрометрів. Так виготовляються тензорезистори на паперовій підкладці, спеціальні тензорезистори для бетону, тензорезистори на великі деформації і спеціальні тензорезистори для високих температур.

У напівпровідникових резисторах чутливий елемент виготовлений із монокристалу кремнію. Коефіцієнт чутливості таких тензорезисторів може досягати 90...200. Це робить їх придатними для вимірювання мікроскопічних деформацій і виробництва високочутливих датчиків. Можуть навіть працювати без додаткового підсилювача електричного сигналу. Однак, цей тип тензорезисторів у значній мірі чутливий до температури, а також вони мають недостатню лінійність, що обмежує область їхнього застосування [17].

3.5.1.2. За матеріалом підкладки

Характеристики матеріалу підкладки повинні відповідати характеристикам чутливого елемента. Зазвичай, для підкладки використовують поліамід, папір, фенол-формальдегідні матеріали та інші типи полімерів. Високотемпературні тензорезистори мають керамічну підкладку. Для тензорезисторів, що приварюються як матеріал підкладки використовуються такі хромо-нікелеві сплави як Inconel 600 (XN60BT).

3.5.1.3. За величиною електричного опору

Опір 120 Ом є стандартним для тензорезисторів, які випускаються у найбільшому асортименті при мінімальній ціні.

Використання тензорезисторів з відмінним від 120 Ом опором може бути доцільним у наступних випадках:

- 60 Ом– для випадку сумісного використання двох тензорезисторів з метою корекції похибки наклеювання;
- 350...500 Ом–датчики, зазвичай, потребують порівняно великої напруги живлення мостів. Також, коли потрібно зменшити вплив температурного ефекту при наклеюванні на матеріали з низькою теплопровідністю, наприклад, пластик;
- 1 кОм і вище –за вимогою, для датчиків при підвищеній нарузі живлення. Також, коли апаратура для роботи з тензорезисторами вимагає низького енергоспоживання;
- 10 кОм (напівпровідникові) –для високошвидкісних вимірювань, таких як удар без використання підсилювача електричного сигналу[18, 19, 20, 21].

3.6. Температурна компенсація проводів чвертьмостової схеми вимірювань

При вимірюваннях за допомогою тензорезисторів, для перетворення зміни опору тензорезистора в сигнал напруги використовують мостову схему Уїтстона. Найпростішою мостовою схемою вимірювань є чвертьмостова, в якій одне плече складається з тензорезистора, а три інших містять постійні опори. Для підключення тензорезистора до вимірювального приладу можна використовувати двожильний дріт. Але якщо температура дротів змінюється, це викликає температурний вплив на міст, навіть якщо фактична деформація не змінюється.

З цієї причини чвертьмостова схема з двопровідним підключенням використовується тільки в тому випадку, коли під час вимірювання не очікується змін температури, або з дротяним підключенням для динамічних вимірювань, при яких температурний вплив можна не враховувати.

Чвертьмостова схема з трьохпровідним підключенням рекомендується як краща, у порівнянні з двохпровідною, особливо якщо під час вимірювань очікується зміна температури і/або використовуються відносно довгі дроти. На рис. 3.1 зображено тензорезистор і з'єднувальні дроти [22].

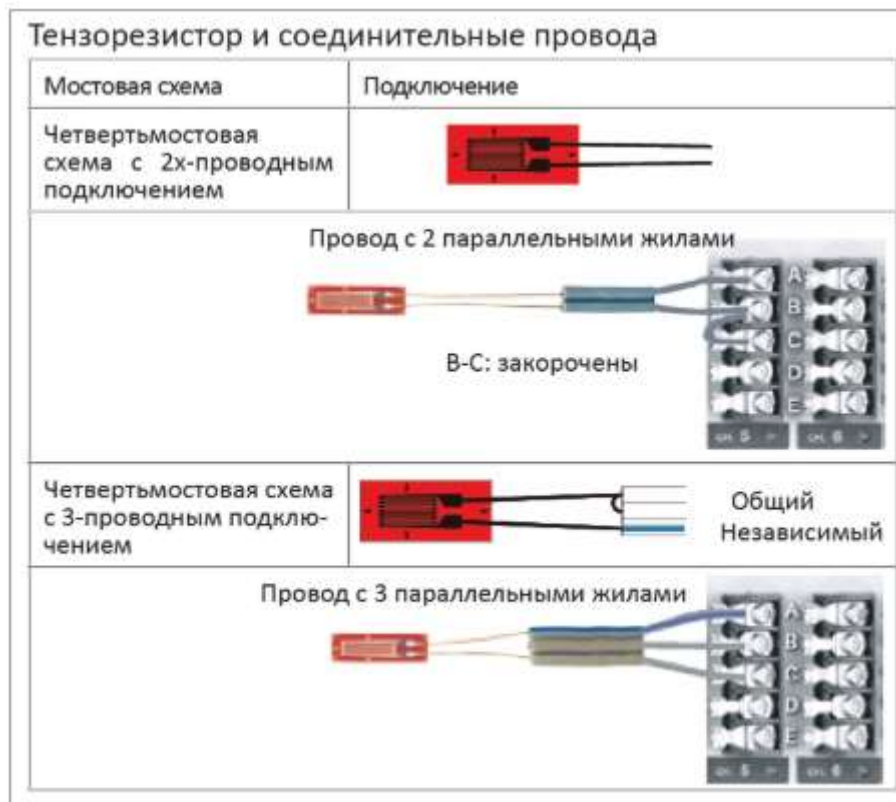


Рис. 3.1 Тензорезистор і з'єднувальні дроти

3.7. Температурна зміна опору, викликана зміною температури

У чвертьмостовій схемі з двопровідним підключенням, зміни температури дроту викликають зміни опору дроту, що призводить до температурного ефекту. Для компенсації цього температурного впливу використовують таке рівняння:

$$\epsilon L = \frac{r \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta T}{K \cdot (R + r \cdot L)} \quad (3.1)$$

де ϵL - температурний вплив дроту;

K - коефіцієнт тензочутливості, вказаний на упаковці тензорезистора;

α - температурний коефіцієнт опору дроту ($3.9 \times 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ для міді);

r - сумарний опір проводу на 1 метр (Ом / м);

L - довжина проводу (м);

ΔT - зміна температури дроту ($^\circ\text{C}$) [22].

3.8. Корекція коефіцієнта тензочутливості (чутливості тензорезистора) з урахуванням сполучних дротів

Опір проводів, що з'єднують тензорезистор з тензометром, істотно знижує коефіцієнт тензочутливості. Необхідно розраховувати поправку в залежності від способу вимірювання, а також від типу і довжини дротів.

Корекція коефіцієнта тензочутливості здійснюється згідно формул [22], наведених на рис. 3.2.



Рис. 3.2 Корекція коефіцієнта тензочутливості

3.9. Сумарний опір на метр довжини типового попередньо присьоднаного дроту компанії TML

Опір дроту в тензорезисторі спотворює чутливість і тепловий дрейф тензорезистора. Провід повинен бути якомога товщим і коротшим, задля того, аби уникнути спотворення цих характеристик. На рис. 3.3 зображено значення відповідно до типу, конструкції дроту [22].

Скрученный провод



Конструкция Число/ диаметр жил	7/0,12	10/0,12	7/0,16	7/0,18	12/0,18	20/0,18
Площадь сечения провода (мм²)	0,08	0,11	0,14	0,18	0,3	0,5
Суммарное сопротивление провода на метр длины (Ом/м)	0,44	0,32	0,24	0,20	0,12	0,07

Одножильный провод



Конструкция	Полиимидная проволока (диам. 0,14 мм)	Полиимидная проволока (диам. 0,18 мм)
Площадь сечения провода	0,015 мм²	0,025 мм²
Суммарное сопротивление провода на метр длины (Ом/м)	2,5 Ом	1,5 Ом

Рис. 3.3 Значення сумарного опору на метр довжини дроту компанії TML [22]
відповідно до його типу

Установка коефіцієнта тензочутливості в реєстраторах даних TML[] виконується за формулою:

$$Cs = \frac{2.00}{K_0},$$

де Cs – встановлений коефіцієнт; K_0 – коефіцієнт тензочутливості з поправкою на з'єднувальний провід [22].

Висновки:

Для компенсації та зменшення складових похибок застосовують відповідні методики та засоби їх корекції. Наприклад, для виключення похибки, що викликана падінням напруги на проводах, у мостовій схемі використовують багатопровідні підключення.

Якщо опір дротів неможливо зробити достатньо малих значень, то застосовують його вимірювання, а потім враховують значення в подальших розрахунках, з метою виключення похибки.

Уявна деформація, що викликана зміною температури в кількаградусів, за температури близько 24 °C, є досить малою (меншою 0,5 мкм/(м×°C). Однак, при істотних змінах температури ця деформація стає значною, що потребує відповідної корекції. З цією метою здійснюють вимірювання температури поблизу датчика, і використовують залежність уявної деформації від температури. У звичайній, типовій схемі рекомендується застосовувати якомога більш товсті і короткі дроти, щоб їх опір був низьким.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-МЕТОДИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕНЗОМЕТРІЇ

4.1. Розробка структурної схеми ПМКДЗТ

Структурна схема складається із графічного середовища розробки LabVIEW та користувацької програми.

Користувацька програма поділяється на такі модулі: модуль трансляції, модуль управління, модуль обчислень.

Структурна схема програмного виробу зображена на рисунку 4.1

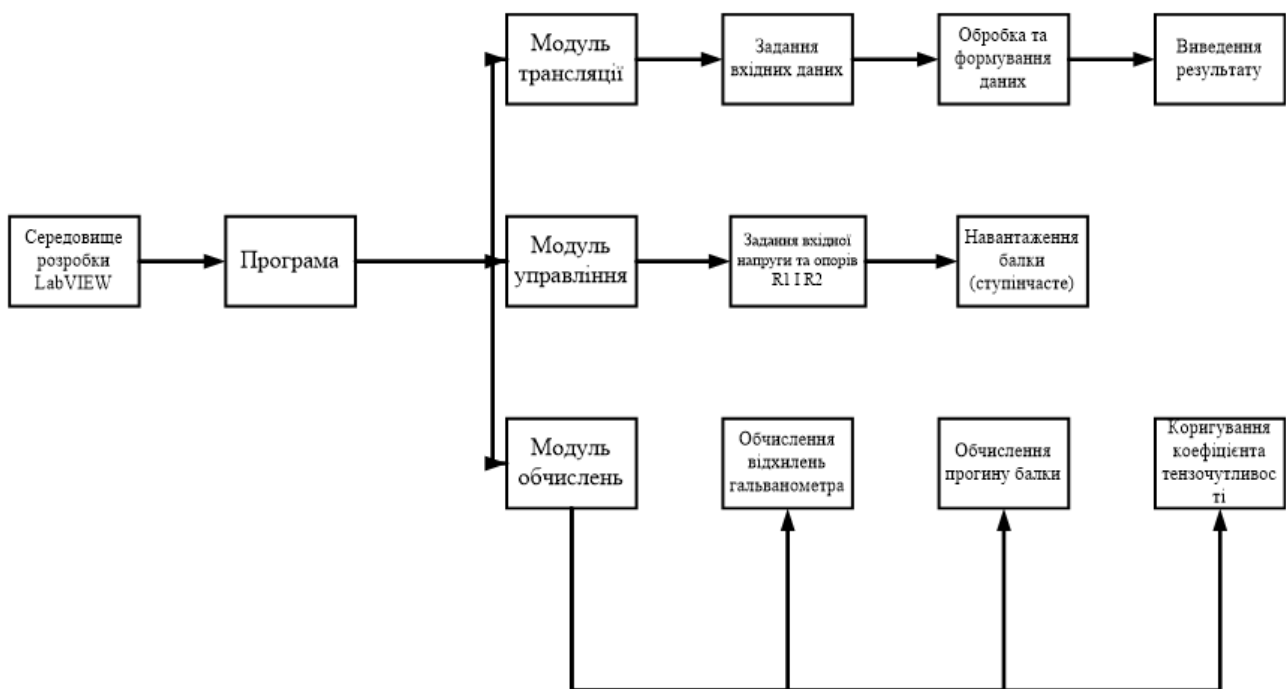


Рис. 4.1 Структурна схема ПМКДЗТ

4.2. Алгоритм роботи програмного виробу

Робота з програмою починається із запуску програми кнопкою запуску програми в LabVIEW. Далі користувач побачить у першій закладці набір запропонованих варіантів, один із яких йому потрібно вибрати. Після цього користувач вмикає елементи макету на закладці «Дослід», а саме – блок живлення, виставляє задану напругу. Також потрібно виставити значення опорів R2 та R3. Далі необхідно перемкнути тумблер у положення «2» та

здійснити вимірювання відповідно до користувацької інструкції, після чого перемкнути тумблер у положення «1» і також здійснити вимірювання та зняти покази з віртуальних приладів. Блок-схема алгоритму роботи програмного компонента зображена на рисунку 4.2.

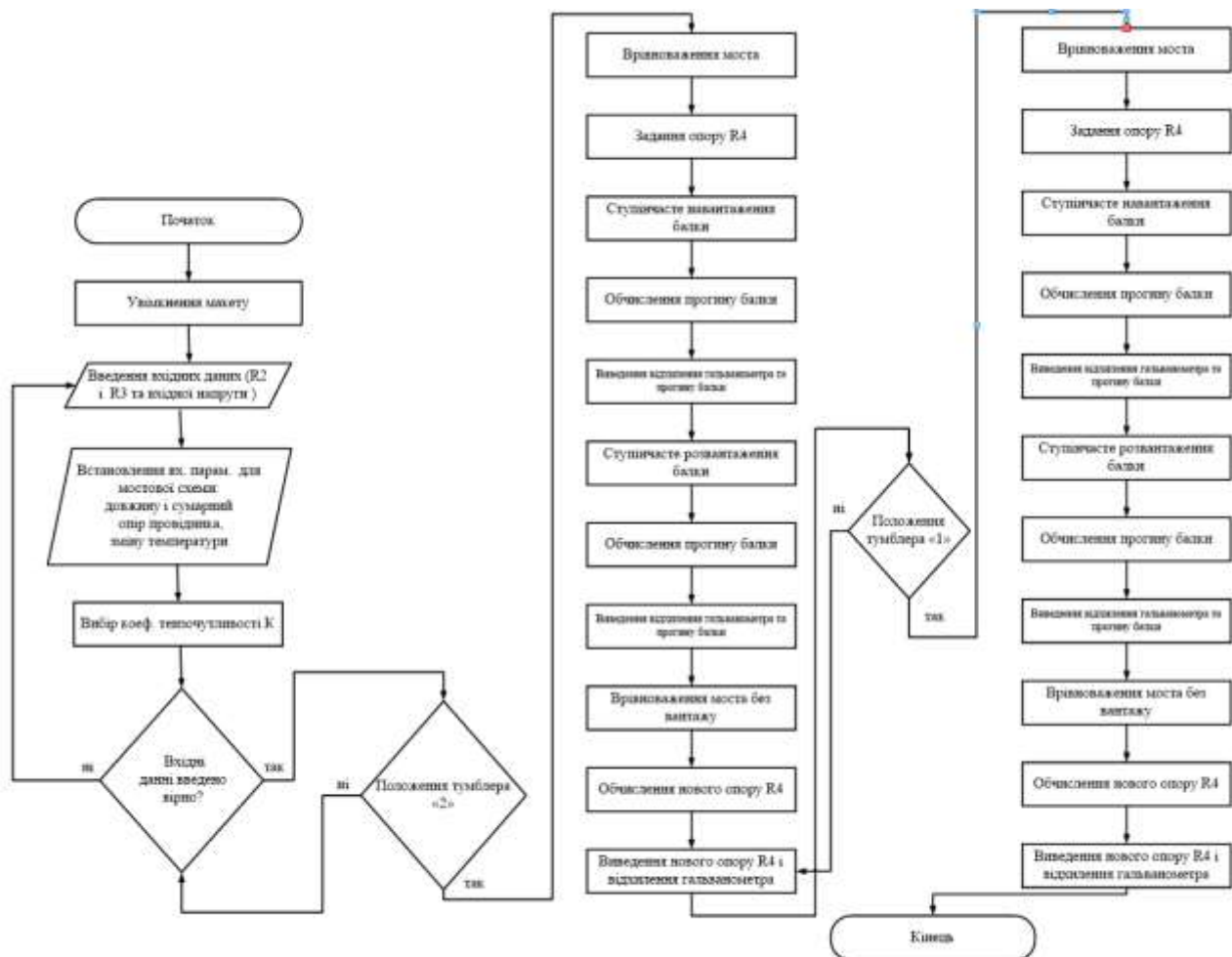


Рис. 4.2 Блок-схема алгоритму програмного компонента

4.3. Розробка функціональної схеми програмного компонента

Оскільки програмний продукт був розроблений у графічному середовищі LabVIEW, то функціональна схема програмного виробу матиме вигляд блок-діаграми (коду реалізації).

Розглянемо окремі блоки програмного компонента (блок-діаграми реалізації формул).

4.3.1. Блок вибору варіанта

Вибір варіантів завдання здійснюється натисканням кнопки (1). На функціональній схемі передбачено двадцять п'ять кнопок, відповідно до кількості варіантів завдання. Кожна кнопка (1) з'єднана з певним індикатором (2), який служить її підсвічуванням. Вихідне значення кожної кнопки (True / False) подається на структуру вибору (6), яка на вихідному тунелі має два маркера (3). У разі, коли вихідне значення є True на один маркер подається значення, що відповідає номеру варіанта завдання (4), а на іншій - одиниця (5). Одиниця служить лічильником. У разі, коли вихідне значення є False, на обидва маркери подається нульове значення. Середнє арифметичне значення структури вибору подається на суматор (7), вихідне значення якого потрапляє на перевірку рівності (8) одиничній константі (9). Таким чином, структура вибору (10) прийме значення True тоді, коли на виході суматора (7) буде середнє арифметичне значення. У цьому випадку на закладки (11) потрапить із суматора (12) номер варіанту завдання, і у вікні на інтерфейсі користувача з'явиться інформація щодо початкових даних, необхідних для виконання досліду. У разі, коли структура вибору (10) приймає значення False, на закладки (11) потрапить нульове значення, тоді користувачеві буде виведено повідомлення щодо необхідності вибору одного варіанту завдання.

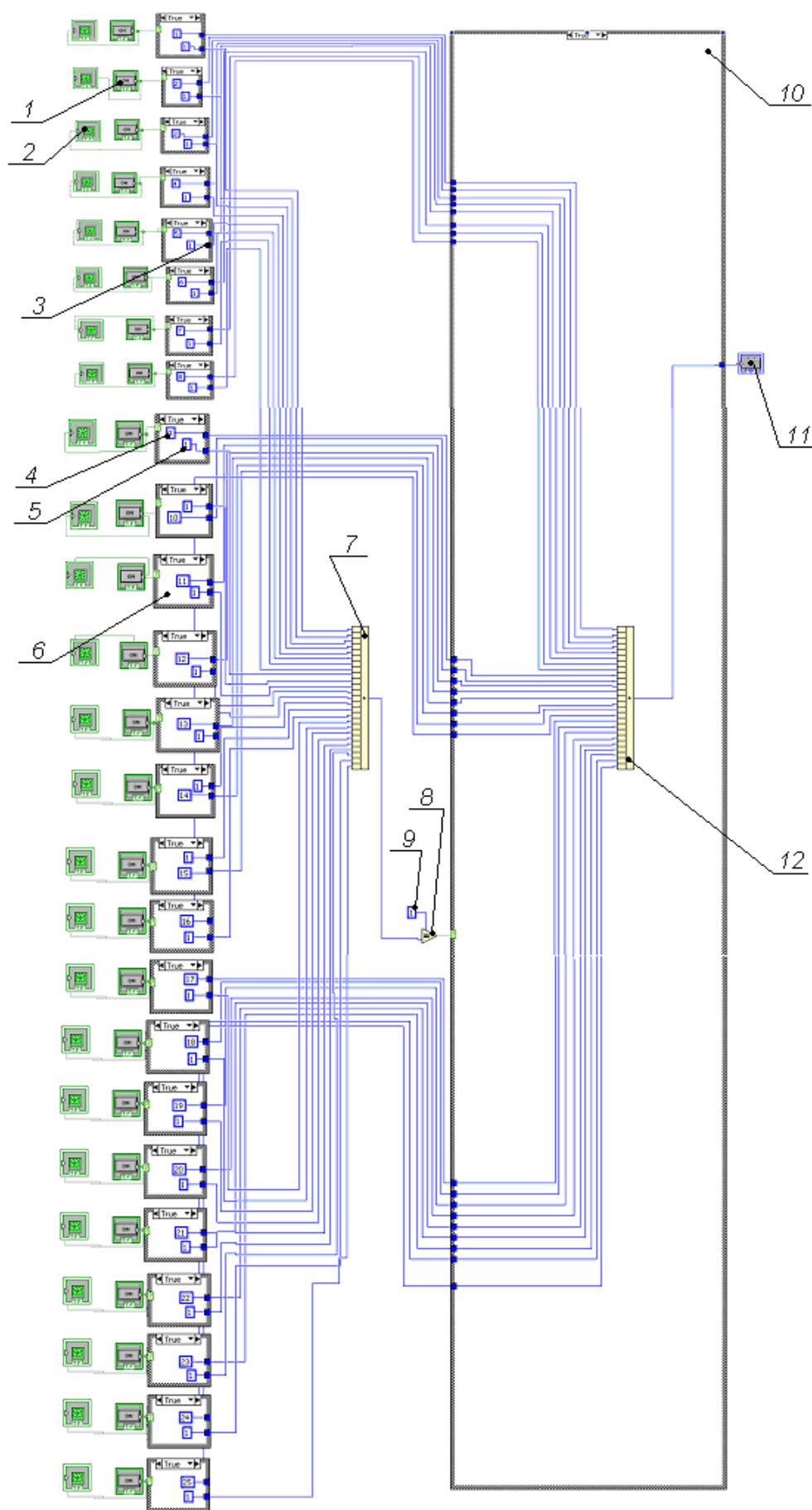


Рис. 4.3 Блок вибору варіанта

4.3.2. Віртуальний блок живлення типу ВС-24м

Управління структурою Case Structure здійснюється тумблером (2), який приймає значення True / False. У разі, коли тумблер має значення False, на «шкалу вольтметра» (3) (діапазон значень 0 - 30 з кроком 0,0001) надходить нульове значення. У цьому випадку на інтерфейсі користувача, відображаються нульові показання на шкалі віртуального блоку живлення. У разі, коли тумблер має значення True, загоряється світловий індикатор (1), і за допомогою рукоятки (6) можна встановити на інтерфейсі необхідне значення напруги, яке відразу ж відображається на шкалі (3).

Код елемента програми представлений на рисунку 4.4.

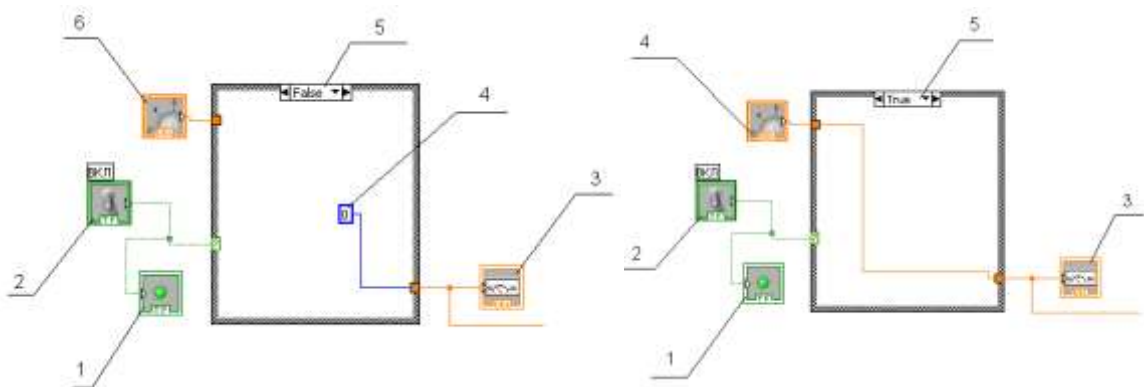


Рис.4.4 Код елемента програми, віртуальний блок живлення типу ВС-24м

4.3.3. Розробка функціональної схеми віртуального магазину опорів

Задавання необхідного значення опору здійснюється за допомогою рукояток (1,4,6,11,12,13,16,17), кожна з яких підключена або до множника (5,7,8), або до дільника (19,21,22). До кожного множника і дільника приєднана константа (9,10,14,18,20,22) для забезпечення потрібної точності. Всі рукоятки приєднані до суматора (3), на виході якого отримуємо значення опору R4. Діапазон задається для опору.

Код елемента програми представлений на рисунку 4.5.

4.3.5. Блок корекції коефіцієнта тензочутливості (чутливості тензорезистора) з урахуванням сполучних проводів

У даному блоці опір проводів, що з'єднують тензорезистор з тензометром, істотно знижує коефіцієнт тензочутливості. Необхідно розраховувати поправку в залежності від способу вимірювання, а також типу і довжини проводів, зміни температури та сумарного опору провідника на метр його довжини. Код елементу програми представлений на рисунку 4.7.

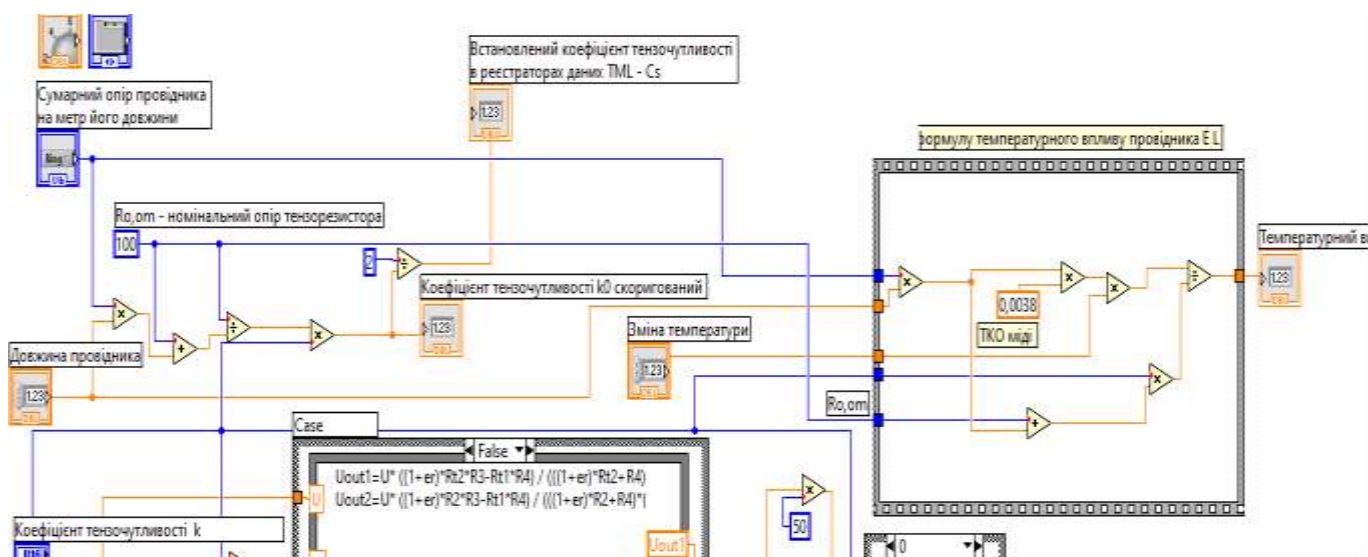


Рис. 4.7 Блок корекції коефіцієнта тензочутливості

4.3.6. Розробка функціональної схеми визначення прогину балки

Прогин балки визначається шляхом розрахунку формули, яка введена в вікно Formula Node (12). До входу цього вікна під'єднані значення довжини l (8), ширини b (9), товщини / висоти / h (7), модуля пружності сталі e (1) (задаються константами), і вага вантажу P. Вага вантажу визначається масою (6) зменшеною (4) в 1000 (5) разів і помноженої (2) на 9,8 (3). Отримане значення множиться (10) на 1000 і виводиться на шкалу і числовий індикатор (11). Враховуючи формули для напруження та деформації :

$$\sigma = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2}, (4.1)$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}, (4.2)$$

вираховується прогин балки f за формулою:

$$f = \frac{1}{4} \cdot \frac{P \cdot l^3}{b \cdot h^3 E} \cdot (4.3)$$

Знаючи напруження, що виникає в балці, можливо знайти відносну деформацію балки за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2 E}, (4.4.)$$

де $E = 200 \text{ ГПа} = 2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ - модуль пружності для сталі.

Або ж можливо визначити відносну деформацію за формулою:

$$\varepsilon = \frac{3 \cdot 4}{2} f \frac{h}{l^2} = 6f \frac{h}{l^2} \cdot (4.5)$$

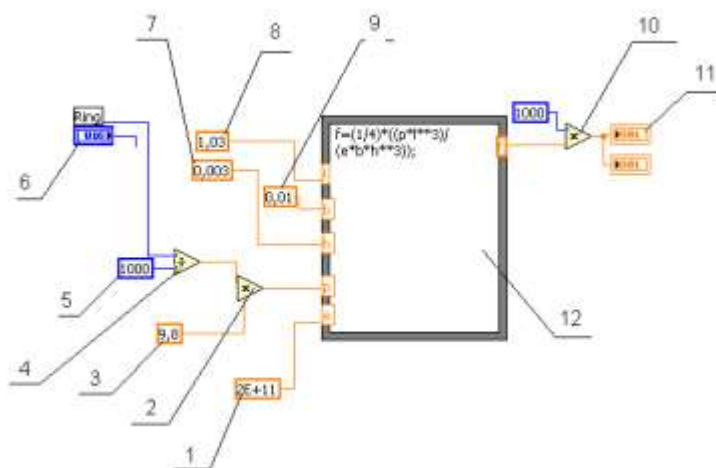


Рис.4.8 Код елемента програми визначення прогину балки

4.3.7.Розробка функціональної схеми формування значень опорів Rt1 і Rt2

Зміну значень опорів Rt1 і Rt2 здійснюють за допомогою задавання ваги вантажу, при цьому значення вантажу (12) збільшується (14) на 1 (13), множиться (11) на 100 (5) і ділиться (10) на 1000 (8). Потім отримане значення подається на вхід вікна Stacked Sequence Structure. У цьому вікні отримане значення ділиться (7) на 80 (6) збільшується (2) на 1 (для Rt2) або на 2 (для Rt1) і множиться (3) на 100 (1). Таким чином, значення опорів Rt1 і Rt2 будуть

змінюватися від обраної ваги.

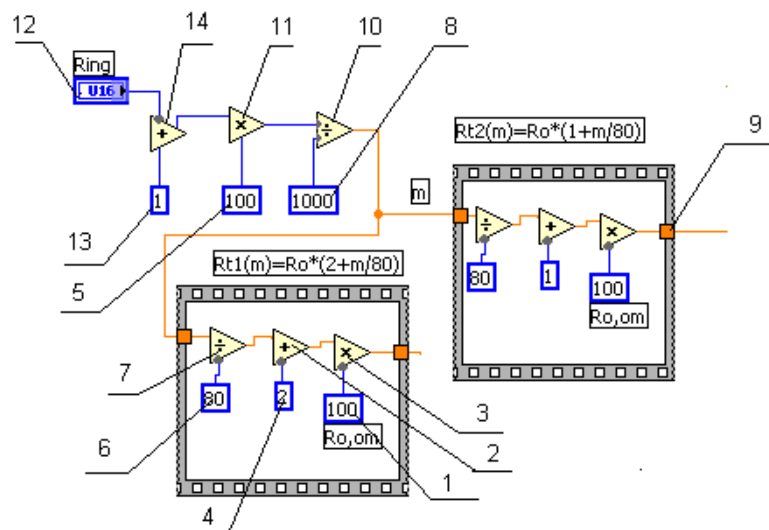


Рисунок 4.9. Код елементу програми формування значень опорів Rt1 і Rt2

4.3.8.Розробка функціональної схеми віртуального гальванометра

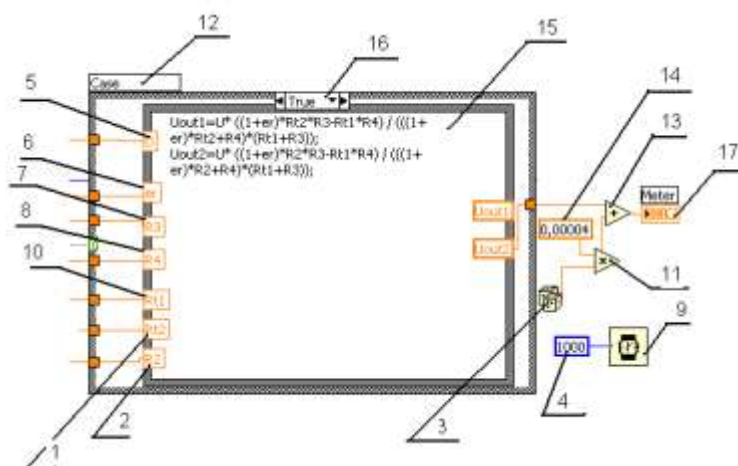


Рис. 4.10 Код елементу програми, віртуальний гальванометр

На вхід вікна Casestructure подаються значення вхідної напруги U (7); er (коефіцієнт тензочутливості, зменшений в 4 рази) (6); $R2$, $R3$ (задається з інтерфейсу) (1,5); $R4$ (задається за магазином опорів, подається на вхід структури (4)); $Rt1$ (3), $Rt2$ (2) (описані в попередньому пункті).

Залежно від положення тумблера в вікні задається умова True або False. У першому випадку у вікні формули розрахунок здійснюється з урахуванням значення $R2$, а в другому – без врахування. У результат вноситься невелика похибка (11,13,16), потім він збільшується в 10 разів (19) для того, щоб

показати будь-які відхилення показань гальванометра, і виводиться на інтерфейс (17).

4.3.9. Поправка на температурний вплив провідника EL

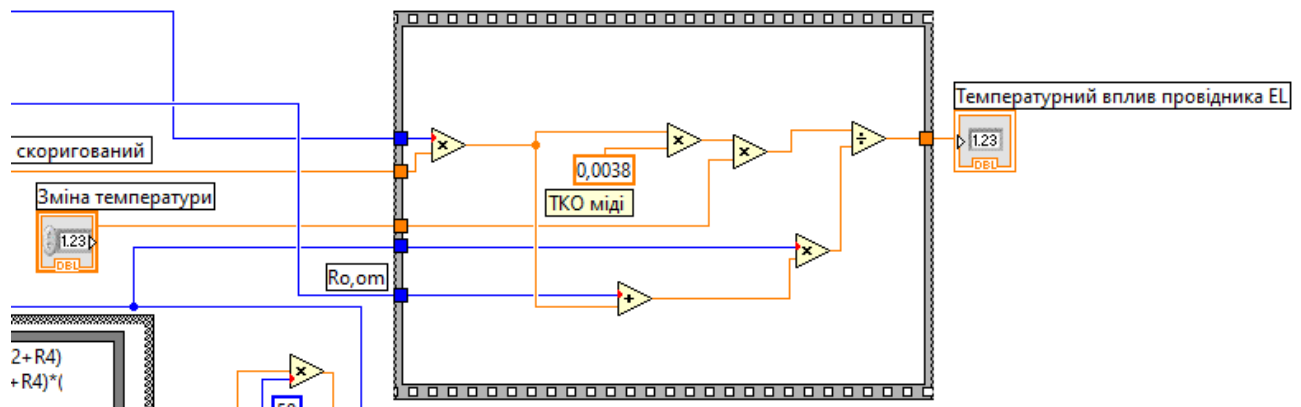


Рис. 4.11. Поправка на температурний вплив EL

У чвертьмостовій схемі з двопровідним підключенням зміни температури дроту викликають зміни опору дроту, що призводить до температурного ефекту. Формула для розрахунку поправки на температурний вплив EL наведена у розділі 3 у підпункті 3.7.

4.3.10. Блок-діаграма програмного виробу «Програмний засіб для дослідження методів тензометрії»

Загальна блок-діаграма програмного виробу «Програмний засіб для дослідження методів тензометрії» зображена на рисунку 4.12.

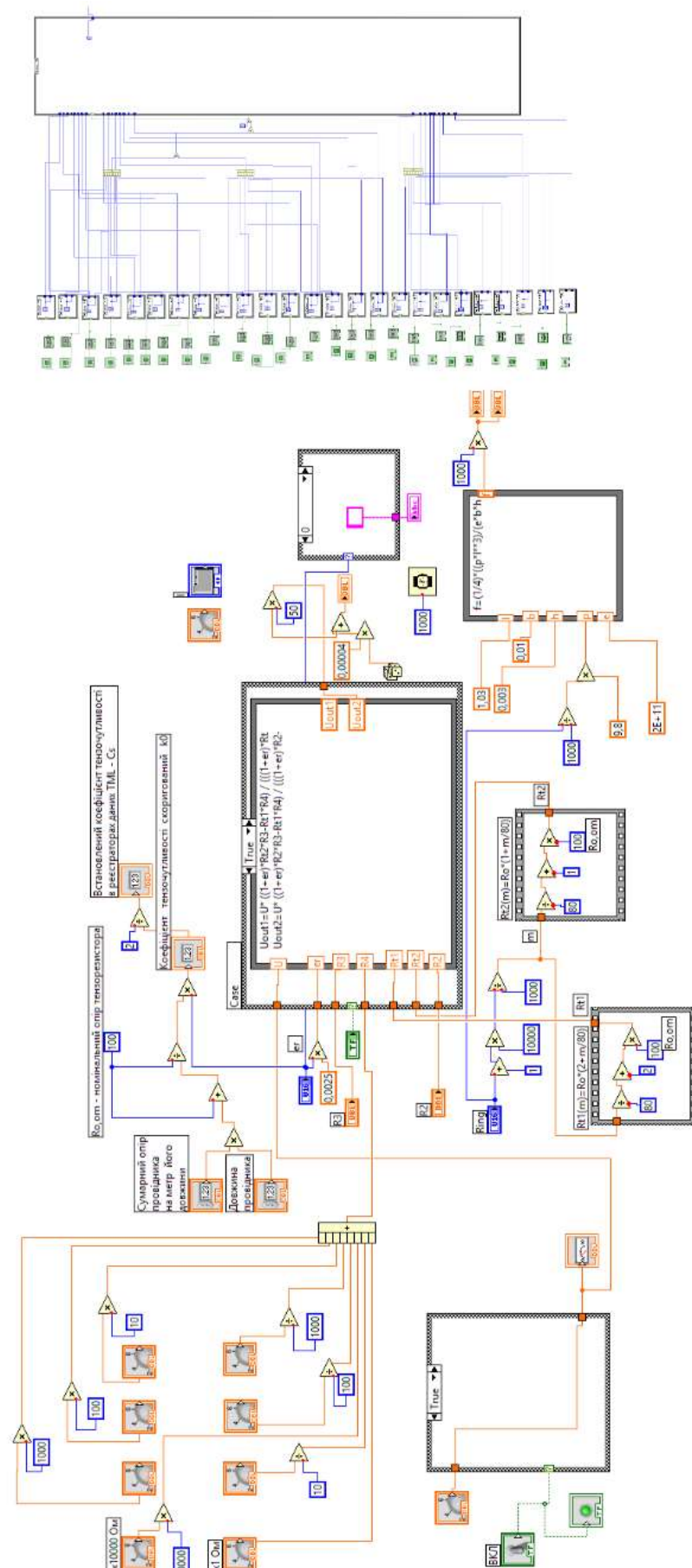


Рисунок 4.12 – Блок-діаграма програмного виробу «Програмний засіб для дослідження методів тензометрії»

4.4. Методика роботи із програмним компонентом

4.4.1. Системні вимоги для запуску ПМКДЗТ

Для того, щоб взаємодіяти із програмним виробом, користувачу немає необхідності встановлювати графічне середовище LabVIEW 2007, достатньо завантажити та інсталювати на портативний чи персональний комп'ютер безкоштовне виконавче середовище RuntimeEngine 2007 SP1, адже ця версія сумісна з LabVIEW 2007 і містить у собі всі необхідні компоненти, які забезпечать правильну роботу програми, тому що програмний виріб розроблявся за допомогою версії LabVIEW 2007-го року.

На комп'ютері має бути встановлена операційна система Windows (версії: 7/8/10). Апаратні вимоги такі: процесор Intel® Core™ з тактовою частотою не нижче 2GHz.

4.4.2. Ознайомлення з програмним виробом

Програмний виріб містить 2 закладки, а саме: «Варіанти» та «Стенд виконання дослідів»

4.4.2.1. Закладка «Вибір варіантів»

При натисканні однієї кнопки на панелі (1) з номером варіанту, в вікні (2) відображаються початкові дані, необхідні для виконання дослідів (див. рисунок 4.13). Кнопка з обраним варіантом завдання в натиснутому стані підсвічується зеленим кольором. При натисканні двох або більше кнопок з номерами варіантів, у вікні (2) з'явиться повідомлення про необхідність вибору лише одного варіанту завдання. Це ж повідомлення відображається у вікні (2) перед початком виконання роботи.

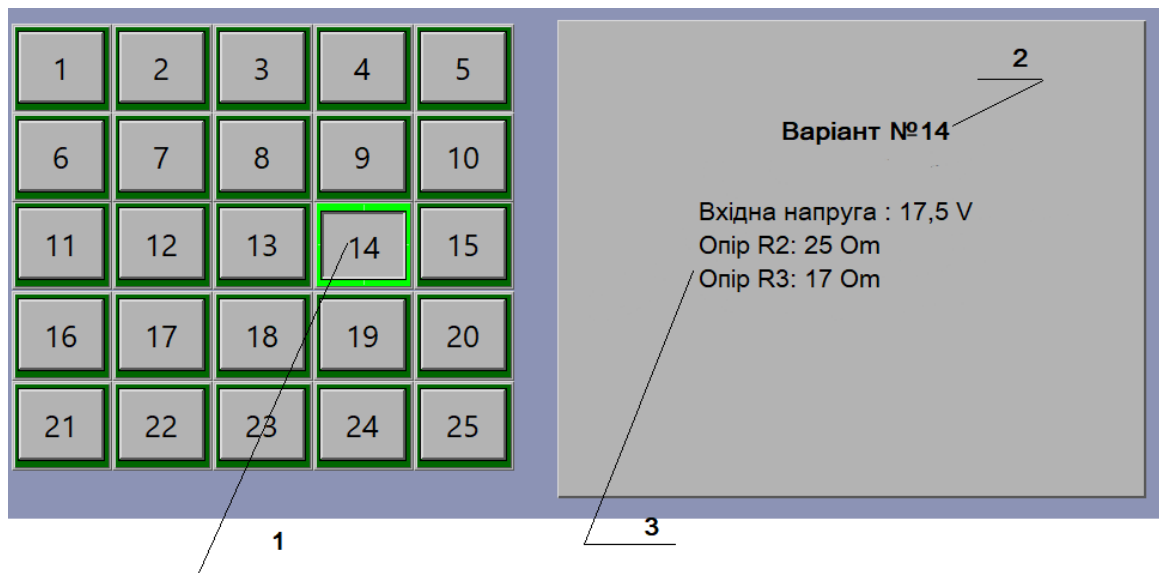


Рис. 4.13 Зкладка вибору варіантів із вхідними даними

На рисунку 4.13 позначено:

- 1 – кнопка з обраним варіантом завдання в натиснутому стані;
- 2 – номер варіанту завдання;
- 3 – вхідні дані.

4.4.2.2. Зкладка «Макет лабораторної роботи»

Зовнішній вигляд віртуального стенду для виконання роботи представлений на рисунку 4.14.

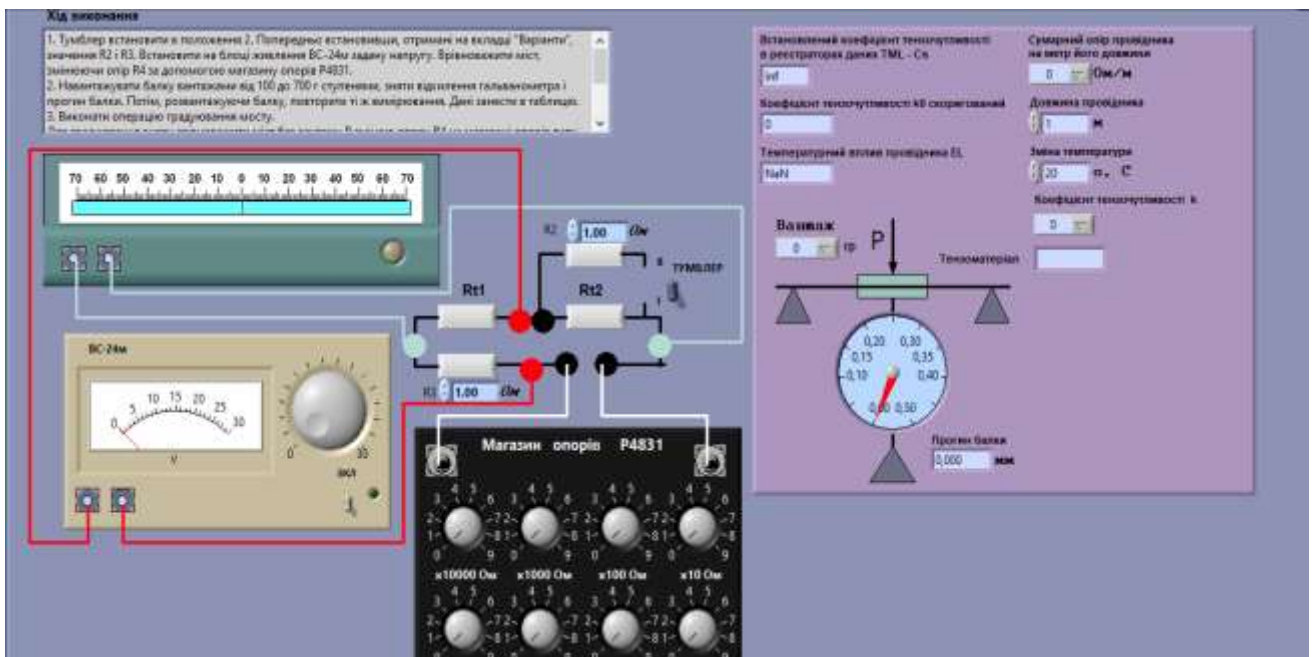


Рис. 4.14 Віртуальний стенд ПМКДЗТ

На рисунку 4.14 позначено:

1 – блок живлення типу BC24-м;

2 – магазинопорів типу P4831;

3 – балка із моделюванням її навантаження певною вагою, для визначення прогину балки;

4 – чотириплечий міст, у складі якого є опори R2, R3, Rt1 (Rt2), магазинопорів типу P4831;

5 – гальванометр;

6 – віконце з пунктами виконання «Хід роботи».

4.5. Методика роботи користувача з програмним компонентом

Дослід 1 - «Врівноваження мостової схеми. Навантажування та розвантажування балки».

1. Встановлюємо значення вхідних параметрів відповідно до даних, згідно варіанта (значення опорів R2, R3 та напруги живлення U1). Тумблер на вкладці «Макет» встановлюємо в положення II (схема з одним дротяним тензорезистором). Із запропонованих значень обираємо опір провідника на метр його довжини (ряд значень: 0,07; 0,12; 0,20; 0,24; 0,32; 0,44; 1,5; 2,5 Ом/м), довжину провідника (значення у діапазоні 1...90 м) та значення температури (значення у діапазоні 10...60 °C).

2. Врівноважуємо міст, змінюючи опір R4 на магазині опорів типу P4831, записуємо отримане значення опору R4. Кінцем процесу врівноваження мостової схеми вважається показ нульового значення на гальванометрі.

3. Ступінчасто навантажуємо балку у діапазоні 100 г...700 г, із кроком ΔP_u 100 г. Фіксуємо значення – відхилення показів гальванометра та прогину балки (у мм), записуючи їх у протокол досліджень.

4. Ступінчасто розвантажуємо балку у діапазоні 100 г...700 г, із кроком ΔP_u 100 г. Фіксуємо значення – відхилення показів гальванометра та прогину балки (у мм), записуючи їх у протокол досліджень.

5. Виконуємо операцію градування моста. Для цього врівноважуємо міст без вантажу P , змінюючи опір R_4 на магазині опорів типу P4831 на відому (задану) величину. При цьому записуємо протокол досліджень: початкове значення R_4 , змінене значення R_4 і відповідне значення відхилення гальванометра.

6. Тумблер на вкладці «Макет» встановлюємо в положення II (схема здвомадротянимитензорезисторами). Виконуємо послідовність операцій згідно пунктів 1-5 Дослід 1.

Дослід 2- «Моделювання ситуації використання різних типів тензорезисторів».

Кожному типу тензорезистора відповідає свій тензоматеріал та відповідний коефіцієнт тензочутливості K . Матеріали та коефіцієнти тензочутливості є наступні: константан ($K=2,1$); ніхром ($K=2,3$); платинородій ($K=5,5$); елінвар ($K=3,8$).

2.1. Почергово вибираємо з ряду коефіцієнт тензочутливості K .

2.1.1. Задаючи значення температури з певним кроком (наприклад, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, у діапазоні від $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а також вибираючи почергово значення сумарного опору провідника на метр його довжини (із ряду $0,07$; $0,12$; $0,20$; $0,24$; $0,32$; $0,44$; $1,5$; $2,5\text{ Ом/м}$), спостерігаємо та записуємо у протокол досліджень зміну величини температурного впливу провідника (дроту) E_L .

2.2. Будуємо графіки залежностей, що демонструють вплив зміни температури на E_L , відповідно до типів використовуваних тензоматеріалів.

Виконання дослід:

Покази зняті для значення довжини дроту 25 м . Результати Дослід 2 записуємо у таблиці 4.1 – 4.4.

Таблиця 4.1

Моделювання ситуації використання константану

Зміна величини температу рного впливу дроту EL для кожного значення опору на метр довжини	0,07 Ом/м	0,12 Ом/м	0,2 Ом/м	0,24 Ом/м	0,32 Ом/м	0,44 Ом/м	1,5 Ом/м	2,5 Ом/м
30 °C	0,076	0,0725455	0,0684	0,0633333	0,057	0,0488571	0,038	0,0228
40 °C	0,101333	0,0967273	0,0912	0,0844444	0,076	0,0651429	0,0506667	0,0304
50 °C	0,126667	0,120909	0,114	0,105556	0,095	0,0814286	0,0506667	0,038

Таблиця 4.2

Моделювання ситуації використання ніхрому

Зміна величини температу рного впливу дроту EL для кожного значення опору на метр довжини	0,07 Ом/м	0,12 Ом/м	0,2 Ом/м	0,24 Ом/м	0,32 Ом/м	0,44 Ом/м	1,5 Ом/м	2,5 Ом/м
30 °C	0,038	0,0362727	0,0342	0,0316667	0,0285	0,0244286	0,019	0,0114
40 °C	0,0506667	0,0483636	0,0456	0,0422222	0,038	0,0325714	0,0253333	0,0152
50 °C	0,0633333	0,0604545	0,057	0,0422222	0,0475	0,0407143	0,0316667	0,019

Таблиця 4.3

Моделювання ситуації використання платинородію

Зміна величини температурного впливу дроту EL для кожного значення опору на метр довжини	0,07 Ом/м	0,12 Ом/м	0,2 Ом/м	0,24 Ом/м	0,32 Ом/м	0,44 Ом/м	1,5 Ом/м	2,5 Ом/м
30 °C	0,0253333	0,0241818	0,0228	0,0211111	0,019	0,0162857	0,0126667	0,0076
40 °C	0,0337778	0,0322424	0,0304	0,0281481	0,0253333	0,0217143	0,0168889	0,010133
50 °C	0,0422222	0,040303	0,038	0,0351852	0,0316667	0,0271429	0,0211111	0,012667

Таблиця 4.4

Моделювання ситуації використання елінвару

Зміна величини температурного впливу дроту EL для кожного значення опору на метр довжини	0,07 Ом/м	0,12 Ом/м	0,2 Ом/м	0,24 Ом/м	0,32 Ом/м	0,44 Ом/м	1,5 Ом/м	2,5 Ом/м
30 °C	0,019	0,0181364	0,0171	0,0158333	0,01425	0,02375	0,0095	0,0057
40 °C	0,0253333	0,0241818	0,0228	0,0211111	0,019	0,0162857	0,0126667	0,0076
50 °C	0,0253333	0,0302273	0,0285	0,0263889	0,02375	0,0203571	0,0158333	0,0095

Дослід 3 - «Моделювання ситуації використання різних провідників у мостовій схемі. Використання різних типів тензорезисторів. Вплив довжини провідника. Вплив температури».

3.1. Обираємо перше значення температури (наприклад, 25°C).

3.2. Обираємо почергово значення з ряду для коефіцієнта тензочутливості К (ряд: константан (К=2,1); ніхром (К=2,3); платинородій (К=5,5); елінвар (К=3,8)).

3.2.1. Змінюємо довжину провідника (дроту, м) із певним кроком 30 м у діапазоні від 25 м до 55 м, і спостерігаємо та записуємо у протокол досліджень:

- зміну значення скоригованого коефіцієнта тензочутливості K_0 ;
- зміну значення коефіцієнта тензочутливості з реєстра даних C_s (виробника-компанії TML);
- зміну значення температурного впливу провідника (дроту) EL.

3.3. Обираємо друге значення температури (наприклад, 45 °C).

3.3.1. Виконуємо ті ж дії, що описані в п.3.2 та п.3.2.1.

3.4. Порівнюємо теоретичні коефіцієнти тензочутливості К із значеннями коефіцієнта тензочутливості з реєстра даних C_s (виробника-компанії TML).

При дослідженні з'ясувалося, що ці коефіцієнти відрізняються, у деяких випадках бачимо значну різницю.

Виконання досліджу:

Результати Досліджу записуємо у таблиці 4.5 – 4.12.

Задано $t=25$ °C, довжина провідника 25 м.

Таблиця 4.5

Моделювання ситуації використання константану

Сумарний опір провідника на метр його довжини	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1,5	2,5
Скоригований коефіцієнт тензочутливості K_0	0,333333	0,363636	0,4	0,444444	0,5	0,571429	0,666667	0,8
Коефіцієнт тензочутливості C_s із реєстру TML	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5
Зміна величини температурного впливу дроту EL	0,0633333	0,0604545	0,057	0,0527778	0,0475	0,0407143	0,0316667	0,019

Задано $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, довжина провідника 55 м.

Таблиця 4.6

Моделювання ситуації використання константану

Сумарний опір провідника на метр його довжини	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1,5	2,5
Скоригований коефіцієнт тензочутливості K_0	0,333333	0,363636	0,4	0,444444	0,5	0,571429	0,666667	0,8
Коефіцієнт тензочутливості C_s із реєстру TML	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5
Зміна величини температурного впливу дроту EL	0,139333	0,133	0,1254	0,116111	0,1045	0,0895714	0,0696667	0,0418

Задано $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, довжина провідника 25 м.

Таблиця 4.7

Моделювання ситуації використання ніхрому

Сумарний опір провідника на метр його довжини	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1,5	2,5
Скоригований коефіцієнт тензочутливості K_0	0,666667	0,727273	0,8	0,888889	1	1,14286	1,33333	1,6
Коефіцієнт тензочутливості C_s із реєстру TML	3	2,75	2,5	2,25	2	1,75	1,5	1,25
Зміна величини температурного впливу дроту EL	0,0316667	0,0302273	0,0285	0,0263889	0,02375	0,0203571	0,0158333	0,0095

Задано $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, довжина провідника 55 м.

Таблиця 4.8

Моделювання ситуації використання ніхрому

Сумарний опір провідника на метр його довжини	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1,5	2,5
Скоригований коефіцієнт тензочутливості K_0	0,666667	0,727273	0,8	0,888889	1	1,14286	1,33333	1,6
Коефіцієнт тензочутливості C_s із реєстру TML	3	2,75	2,5	2,25	2	1,75	1,5	1,25
Зміна величини температурного впливу дроту EL	0,0696667	0,0665	0,0627	0,0580556	0,05225	0,0447857	0,0348333	0,0209

Задано $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, довжина провідника 25 м.

Таблиця 4.9

Моделювання ситуації використання платинородію

Сумарний опір провідника на метр його довжини	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1,5	2,5
Скоригований коефіцієнт тензочутливості K_0	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1,5	2,5
Коефіцієнт тензочутливості C_s із реєстру TML	1	1,09091	1,2	1,33333	1,5	1,71429	2	2,4
Зміна величини температурного впливу дроту EL	2	1,83333	1,66667	1,5	1,33333	1,16667	1	0,833333

Задано $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, довжина провідника 55 м.

Таблиця 4.10

Моделювання ситуації використання платинородію

Сумарний опір провідника на метр його довжини	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1,5	2,5
Скоригований коефіцієнт тензочутливості K_0	0,555556	0,618557	0,697674	0,8	0,9375	1,13208	1,42857	1,93548
Коефіцієнт тензочутливості C_s із реєстру TML	3,6	3,23333	2,86667	2,5	2,13333	1,76667	1,4	1,03333
Зміна величини температурного впливу дроту EL	0,0258025	0,0251375	0,0243023	0,0232222	0,0217708	0,019717	0,0165873	0,0112366

Задано $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, довжина провідника 25 м.

Таблиця 4.11

Моделювання ситуації використання елінвару

Сумарний опір провідника на метр його довжини	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1+ 0,5	2,5
Скоригований коефіцієнт тензочутливості K_0	1,33333	1,45455	1,6	1,77778	2	2,28571	2,66667	3,2
Коефіцієнт тензочутливості C_s із реєстру TML	1,5	1,375	1,25	1,125	1	0,875	0,75	0,625
Зміна величини температурного впливу дроту EL	0,0158333	0,0151136	0,01425	0,0131944	0,011875	0,0101786	0,00791667	0,00475

Задано $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, довжина провідника 55 м.

Моделювання ситуації використання елінвару

Сумарний опір провідника на метр його довжини	0,07	0,12	0,2	0,24	0,32	0,44	1+ 0,5	2,5
Скоригований коефіцієнт тензочутливості K_0	0,740741	1,45455	0,930233	1,77778	1,25	0,0101786	1,90476	2,58065
Коефіцієнт тензочутливості C_s із реєстру TML	2,7	1,375	2,15	1,125	1,6	1,325	1,05	0,775
Зміна величини температурного впливу дроту EL	0,0193519	0,03325	0,0182267	0,0290278	0,0163281	0,0147877	0,0124405	0,00842742

Дослід 4 - «Моделювання ситуації використання різних типів провідників у мостовій схемі. Вплив сумарного опору провідника на метр його довжини. Використання різних типів тензорезисторів».

4.1. Для обраних значень температури у Досліді 3, а також сталій довжині провідника (наприклад, 25 м) , по чергово змінюючи значення з ряду для коефіцієнта тензочутливості K (ряд: ($K=2,1$); ніхром ($K=2,3$); платинородій ($K=5,5$); елінвар ($K=3,8$)), спостерігаємо та записуємо у протокол досліджень:

- значення сумарного опору провідника на метр його довжини (Ом/м).

Значення вибираємо з ряду 0,07; 0,12; 0,20; 0,24; 0,32; 0,44; 1,5; 2,5 Ом/м;

- зміну значення скоригованого коефіцієнта тензочутливості K_0 ;

- зміну значення коефіцієнта тензочутливості з реєстра даних C_s (виробника-компанії TML);

- зміну значення температурного впливу провідника(дроту)EL.

Спостерігаємо вплив сумарного опору провідника на всі коефіцієнти.

4.2. Будуємо графіки залежностей, що демонструють відповідний вплив.

4.6. Методичні вказівки по обробці результатів вимірювання

Дослід 1

1. Використовуючи дані експерименту, побудувати залежності параметрів, що досліджуються.

2. Використовуючи отримані експериментальні значення прогину, розрахувати відносну деформацію для реальної балки за формулою $\varepsilon'_l = \frac{6fh}{l^2}$, де, наприклад, h - 5мм, l - довжина реальної балки, f' - прогин балки.

Дослід 2

Побудувати графіки залежностей, що демонструють вплив зміни температури на E_L , відповідно до типів використовуваних тензоматеріалів.

Дослід 3

Порівняти теоретичні коефіцієнти тензочутливості K із значеннями коефіцієнта тензочутливості з реєстра даних C_s (виробника-компанії TML).

Дослід 4

Побудувати графіки залежностей, що демонструють вплив сумарного опору провідника на всі коефіцієнти.

Висновки: розроблено Програмно-методичний комплекс для дослідження засобів тензометрії (дротяних тензорезистивних перетворювачів) та технічну документацію до нього: створено структурну схему, алгоритм роботи; створено методичні вказівки користувача ПМК для виконання дослідів. Описано чотири досліді для роботи з макетом та методичні вказівки для опрацювання результатів, отриманих у результаті дослідів. Проведено чотири досліді із використанням дротяних тензорезисторів, а саме: дослід 1 - «Врівноваження мостової схеми. Навантажування та розвантажування балки», дослід 2 - «Моделювання ситуації використання різних типів тензорезисторів», дослід 3 - «Моделювання ситуації використання різних провідників у мостовій схемі. Використання різних типів тензорезисторів. Вплив довжини провідника. Вплив температури», дослід 4 - «Моделювання ситуації використання різних типів провідників у мостовій схемі. Вплив сумарного опору провідника на метр його довжини. Використання різних типів тензорезисторів».

У ході проведення дослідів з'ясовано: при збільшенні температури з'єднувального провідника збільшується температурний вплив E_L , і змінюється коефіцієнт тензочутливості K , тому було введено коригування цього коефіцієнта.

Розділ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «ПРОГРАМНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ТЕНЗОМЕТРІЇ»

5.1 Опис ідеї проєкту

У попередніх розділах було розглянуто Програмно-методичний комплекс для дослідження засобів тензонометрії. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап-проєкту даної системи як товару. Програмно-методичний комплекс забезпечує виконання робіт із визначення деформації та механічних напружень об'єкта (балки) за допомогою дротяних тензорезисторів.

Ідея проєкту полягає у створенні програмно-методичного комплексу, за допомогою якого студенти денної та дистанційної форм навчання, вчені, дослідники наукових центрів зможуть досліджувати деформації та механічні напруження об'єкта. Використання засобів тензонометрії при проведенні науково-технічних досліджень дозволяє здійснювати контроль деформацій і напружень при дії статичних і динамічних навантажень. Особливо актуальним це є при роботі зі статично невизначеними механічними системами, параметри навантаження яких можуть бути визначені лише за допомогою непрямих емпіричних методів.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1.

Опис ідеї стартап проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення програмно-методичного комплексу для дослідження засобів тензонометрії	Дослідницька діяльність	Використання лише ПК та програмного виробу замість реального обладнання
		Наявність інструкції користувача та зручного

		інтерфейсу (стенду досліджу)
		Зменшення впливу людського фактору на точність результатів

Отже, пропонується новий програмний компонент для виконання робіт із дослідження деформації та механічних напружень об'єкта (балки) за допомогою дротяних тензорезисторів, увімкнених у мостову схему; дослідження характеристик тензорезистивних перетворювачів (дротяних, фольгових) у мостовій схемі включення. Це дозволяє виключити потребу в проведенні експериментів на реальних зразках та їхнє виготовлення, що призводить до зменшення часових, технічних та економічних витрат.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				N	S
		Мій проект	Конкурент1 Багатоканальний тензометр ZET 017-T	Конкурент2 Програмний комплекс ANTIS			
.	Витрата електроенергії при використанні	Низька	Висока	Низька		+	-
.	Функціональність програмного інтерфейсу	Зручний у користуванні, легкий до сприйняття	Багато функцій, складний у розумінні процесів	Багато функцій, відсутня інструкція користування		+	+
.	Мобільність	Компактний (програмний компонент)	Компактний	Компактний		+	-
	Простота	Проста	Складна	Проста		+	-

.	конструкції	конструкції	конструкції	конструкції			
	ї	я	я	я			
.	Показники надійності системи	Високий рівень надійності	Досить надійний	Досить надійний		-	-
.	Торгова марка	Немає	Є	Є		-	-

Висновок: оцінивши ідеї та характеристики інших товарів, можна зробити висновок, що створений продукт є конкурентоспроможним. На ринку є потреба в даному продукті, оскільки він зручний у користуванні і має техніко-економічні характеристики такі ж, як і в аналогів, деякі з характеристик кращі. Особливі навички оператора у користуванні продуктом не потрібні, адже до програмного компоненту надається покрокова інструкція користувача.

5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

У цьому підрозділі проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізується ідея створення проєкту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проєкту передбачає аналіз складових, що вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Технологічна здійсненність ідеї проєкту

/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
.	Розробка структурної схеми	ПК та спеціальні програми	Наявна технологія	Доступна
	Розробка блок-	Програми для	Розроблена	Доступна

.	схеми та алгоритму роботи програмного компоненту	розробки (VisualStudio)	технологія	
.	Розробка програмного компоненту	Розробка у програмному середовищі LabView	Наявна технологія	Доступна

Відповідно до інформації, що наведена у таблиці 5.3, можна стверджувати, що технологічна реалізація для здійснення ідеї проєкту доступна. Всі ці технології існують на ринку і доступні, тому реалізація можлива. З усіх наявних мов програмування для реалізації проєкту найбільш підходить середовище розробки LabView, оскільки це візуальне середовище для програмування.

Для розробки ПМКДЗТ використана графічна мова програмування «G», версія 2007 року. LabVIEW – це кросплатформленне графічне середовище розробки додатків, у принципі, універсальна мова програмування. І хоча цей продукт часом тісно пов’язаний з апаратним забезпеченням National Instruments, він, тим не менш, не пов’язаний із конкретною машиною. Існують версії для Windows, Linux, MacOS. Вихідні тексти стерпні, а програми будуть виглядати однаково в усіх системах. Код, згенерований LabVIEW, також може бути також виконаний на Windows Mobile. Ця мова програмування може з успіхом використовуватися для створення великих систем, для обробки текстів, зображень і роботи з базами даних.

У LabVIEW розробляються програмні модулі, які називаються «Virtual Instruments» (Віртуальні інструменти) або по-простому VI. Вони зберігаються у файлах із розширенням *.vi. Будь-яка LabVIEW-програма містить як мінімум один VI. Зрозуміло, що один VI може бути викликаний з іншого VI. В принципі, кожен VI складається з двох частин: Блок-діаграми (Block Diagram) і

лицевої панелі (Front Panel). Блок-діаграма – це програмний код (точніше візуальне графічне представлення коду), а лицева панель – це інтерфейс.

Починаючи з восьмої версії у LabVIEW була додана підтримка класів – мова стала об'єктно-орієнтованою. Реалізовану підтримку не можна назвати повною, проте основні риси об'єктно-орієнтованих мов, успадкування і поліморфізм, присутні. Також функціональність мови можна розширити додатковими модулями, наприклад, NI Vision Toolkit, що призначений для обробки зображень і машинного зору. А за допомогою модуля Application Builder можна згенерувати виконуваний exe-файл.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проєкту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проєктів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.1

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців, од	2
	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2000
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер	Відсутні

	обмежень)	
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до ГОСТУ
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60%

Після аналізу табл. 5.4 робимо висновок, що стартап є рентабельним та швидко окупиться, отже, можна сказати, що Програмно-методичний комплекс для дослідження засобів тензонометрії є досить привабливим для інвестицій.

Далі визначимо потенційні групи клієнтів та характеристики і формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Здешевлення програмного забезпечення для навчальних закладів та дослідницьких установ	Підприємства, на яких виготовляються вагові пристрої	Фінансова спроможність	Зручний та зрозумілий інтерфейс, швидкість опрацювання даних , точність розрахунків, співвідношення «ціна-якість»
		Навчальні заклади		
		Дослідницькі інститути		

Згідно з проаналізованими потребами споживачів робимо висновок, що стартап-проєкт їх задовольняє. Основними споживачами є дослідницькі інститути та освітні установи, адже для даних груп споживачів цей програмно-методичний комплекс допоможе зменшити витрати на закупівлю реального обладнання, що сприятливо впливатиме на їх фінансове становище.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проєкту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці 4.6-4.7). Аналіз факторів дає змогу побачити можливості і загрози. Методика визначення ринкових можливостей і загроз дозволяє оцінити вплив зовнішніх

чинників. При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 5.6).

Таблиця 5.3

Фактори загроз

п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
.	Нові технології	Застарілість товару	Модернізація методу, впровадження нових технологій
.	Висока конкурентність	Зменшення продажу	Більша рекламна акція
.	Науково-технічний фактор	Виникнення проблем у тестуванні програмного компоненту та створення додаткових функцій	Оновлення продукту до нових версій
.	Новоутворені фірми	Збільшення конкурентноздатних методів відтворення зразкових сигналів	Вдосконалення методу; маркетингова діяльність.
.	Фактор попиту	Важко визначити точні темпи зростання ринку	Зменшення кількості продукції, низька собівартість зробить можливі збитки незначними

Команда по створенню проєкту готова до усіх можливих зовнішніх загроз. Заздалегідь були прийняті рішення, які допоможуть впоратися із загрозами або уникнути їх.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 5.4

Фактори можливостей

п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
.	Фактор збуту	Впровадження програми через національну закупівлю	Сертифікація за міжнародними стандартами, це збільшить його привабливість для національних тендерів
.	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту, додавання нових функцій програмного компоненту	Підвищення попиту та ціни
.	Високий попит на продукт	Збільшення виробництва товару та товарообігу	Покращення товару
.	Міжнародний фактор	Нестабільна ситуація в країні	Товар не пов'язаний з нестабільною ситуацією в країні, але це може вплинути на розширення географії збуту
.	Впровадження нових технологій	Покращення методу	Патентування нових ідей, методів

Робимо висновок, що найвпливовішими факторами можливостей є фактор збуту на ринку та впровадження нових технологій. Це призведе до

покращення створеного програмно-методичного комплексу для дослідження засобів тензонометрії. Придодаванні нових функцій до програмного компоненту та покращенні до нових версій фактор збуту на ринку розшириться і на інші галузі використання.

Далі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 5.5

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Окремі покупці і продавці не впливають на ціну	Фокус діяльності підприємства на якості товару
2. Національна конкуренція	Конкуренція відбувається між компаніями у середині країни	Співпраця з науковими лабораторіями
3. Галузева ознака : внутрішньогалузева	Конкуренція відбувається тільки в певній галузі	При зменшенні сегменту ринку проводиться зменшення витрат на виробництво
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Різновиди одного і того ж товару здатні задовольнити конкретне бажання покупця	Високі технічні характеристики програмного компоненту
5. Нецінова конкуренція	Вдосконалення якості продукції та умов її	Підвищення рівня довіри клієнтів, контроль якості

	продажу	готового продукту
6. Марочна конкуренція	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт	Пониження ціни на продукт, творення власної торгової марки

Проаналізувавши дані з таблиці 5.8 робимо висновок, що запропонований напрямок щодо реалізації методу демонструє високу конкурентоспроможність. Найбільш небезпечними є національна та нецінова конкуренція.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.6

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Прямої конкуренції в не існує	Малий бар'єр входження в ринок	Невисока собівартість	Невисока собівартість, точність та зручність використання; попит залежить від клієнтів	Є фактори загроз з боку замінників
Висновки:	Єдиний постачальник даного товару, тому компанія має сильну позицію	Є можливості входу на ринок та потенційні конкуренти	Збільшення співвідношення ціни та якості	Збільшення співвідношення ціни та якості, необхідність підтримки програмного компоненту	Товар конкуренти в відомих марок може мати високу ціну з тим самим функціоналом

Робимо висновок за результатами таблиці 5.9, що в запропонованому проєкті є всі можливості потрапити на ринок, оскільки присутня низька конкуренція та відмінність від існуючих аналогів.

На основі аналізу конкуренції, проведеного (табл. 5.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проєкту (табл. 5.2), вимог споживачів до

товару (табл. 5.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 5.6-5.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 5.10

Таблиця 5.7

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
	Відсутність прямої конкуренції	Даний продукт може претендувати на державні закупівлі та контролювати ринок до тих пір поки на ринку не з'являться конкуренти.
	Багатофункціональність	Виконує функції аналізу та синтезу одночасно
	Дешевизна	Доступність для будь-якого клієнта або навчальної лабораторії, освітнього закладу
	Впровадження нових технологій	Впровадження нових технологій дає змогу конкурувати з товарами замінниками
.	Пряма залежність від клієнтів	Важко проаналізувати поведінку ринку у даній галузі, тому існує пряма залежність від клієнтів

Робимо висновок відповідно до обґрунтування факторів конкурентоспроможності, що запропонований метод має ряд досить суттєвих факторів які мають вплив на можливість конкурування програмно-методичного комплексу і дають змогу розглядати його для залучення коштів у проєкт.

Таблиця 5.8

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Програмно-методичного комплексу для дослідження засобів термоперетворювачів»

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ПМКДЗТ						
			3	2	1		1	2	3
	Швидкодія	18							
	Багатофункціональність	17							
	Дешевизна	17							
	Відсутність прямих конкурентів	15							
	Впровадження нових технологій	14							

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмно-методичного комплексу для дослідження засобів тензонометрії. Основною перевагою та головним досягненням є дешевизна продукту та його багатофункціональність та швидкодія.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проєкту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 5.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 5.9

SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Невисока ціна 2. Відсутність прямих конкурентів 3. Впровадження нових технологій 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Залежність від клієнта
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Додавання нових функцій до програмного компоненту 2. Підвищення попиту та ціни 3. Патентування нових ідей 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нові технології 2. Фактор попиту, що залежить від клієнта 3. Наявність іноземних та поява внутрішньодержавних конкурентів 4. Можливість виникнення помилок у роботі програмного компоненту.

Можна з табл. 5.12 зробити висновок, що сильні сторони програмного компоненту: невисока ціна, відсутність прямих конкурентів та впровадження нових технологій; а слабкі – залежність від клієнта.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проєкту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проєкти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 5.9, аналіз потенційних конкурентів). Альтернативи ринкового впровадження основі SWOT-аналізу наведені в таблиці 5.13.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 5.10

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартап- проекту	Висока	1 місяць
	Стратегія компенсації слабких сторін стартап-проекту наявними ринковими можливостями	Низька	6 місяців
	Стратегія виходу з ринку	Висока	2 місяці

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартап-проекту наявними ринковими можливостями.

5.4 Розробка ринкової стратегії проекту

Розробка ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.11

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
	Освітні установи	Готові	Зростає	Наявні	Легко
	Приватні клієнти	Частково готові(50%)	Середній попит	Наявні	Можливість входу 65%
	Дослідницькі інститути	Готові	Спадає	Наявні	Легко
Які цільові групи обрано: після аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення про вибір таких груп: освітні установи та дослідницькі інститути					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів обрані цільові групи освітні установи та дослідницькі інститути. Отже, компанія зосереджується на одному сегменті – вона обирає стратегію концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.12

Визначення базової стратегії розвитку

п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартап-проєкту	Концентрований маркетинг	Швидкодія програмного компоненту, зручність інтерфейсу, невисока вартість	Стратегія спеціалізації

Базовою стратегією розвитку обрано стратегію концентрації – зосередження на одному споживчому сегменті.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.13

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Так, частково	Буде шукати нових, а також	Буде, з удосконаленням	Стратегія заняття

		забирати існуючих у конкурентів		конкурентної ніші
--	--	---------------------------------------	--	----------------------

В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки головною особливістю є малий розмір ринкового сегменту. Ця конкурентна стратегія є похідною від такої базової стратегії компанії як концентрація.

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 яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проєкт.

Таблиця 5.14

Визначення стратегії позиціонування

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
	Невисока ціна	Зменшення вартості обладнання для проведення дослідів	Вартість 2000 грн	Не варто платити більше
	Багатофункціональність	Вимірювання	Вимірювання декількох	Вимірюй, обробляй результати та дізнавайся

	ь	декількох параметрів в	параметрів на одному стенді	
	Швидкі розрахунки	Набагато швидше виконує усі розрахунки	Усі розрахунки виконуються набагато швидше за товари-аналоги	Швидкі розрахунки

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Невисока ціна	Дешевизна	Вартість 2000 грн
	Виконання декількох функцій одночасно	Багатофункціональність	Виконує функції аналізу та обчислення одночасно
	Зменшення впливу людини на	Частина даних заноситься не вручну з клавіатури, а за	Не всі дані вводяться вручну

	роботу системи	допомогою перемикачів і тумблерів	
--	----------------	-----------------------------------	--

Ключові переваги концепції потенційного товару мають три основних вимоги та реалізуються у запропонованому програмно-методичному комплексі.

Таблиця 5.16

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Споживач отримує готовий продукт. Його можна експлуатувати без подальшої обробки		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/ Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Багатофункціональність	Нм	Тх
	2. Швидкодія	Нм	Тх
	3. Простий та зрозумілий інтерфейс для користувача	Нм	Тх
	4. Не має строку давності	Нм	Тл
	5.Дешевизна (низька ціна на товар)	М М	Е Тх
	6. Якість		
	Якість: нормативи, стандарти тощо		
	Пакування:зберігання на флеш-пристрої (програмний додаток)		
Марка: нова			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: підтримка програмного компоненту до 5 років		
	Після продажу: після укладання договору повне обслуговування та оновлення продукту, додаткові консультації по експлуатації		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патентування технології, новітні технології шифрування та захисту даних			

Маємо модель програмного компоненту, на меті якого є дослідження засобів тензонометрії. Програмний компонент є довговічним, недорогим, якісним, швидкодіючим та зручним у використанні. До продажу: технічна підтримка програмного компонента до 5 років. Після продажу: після укладання договору повне обслуговування.

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. 5.20).

Таблиця 5.17

Визначення меж встановлення ціни

п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	від 12 000 грн	-	Від 50 000 грн до «необмежений»	1800 – 4500 грн

Встановлюємо верхню та нижню межі ціни на товар 1800 та 4500 грн. Встановлювати ціну нижче 1800 грн не є досить вигідним рішенням, аленавіть і з цією ціною затрати повністю окупаються.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 5.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.18

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Програмний компонент купується один раз, надалі можна лише встановлювати оновлення	1.Встановлення контакту зі споживачами 2. Контроль якості товару 3. Дослідницька робота зі збору інформації	Канали першого і другого рівня: 1.Ми(розробник програмного компонента); 2.Розповсюджувач нашої продукції	1.Знижки 2.Реклама 3.Договір на довгострокове користування нашими технологіями

Був обраний вид збуту з першого і другого рівня, що включає в себе як посилкову торгівлю, так і оптові й роздрібні продажі товару. Основні функції, які мають виконуватися це встановлення контакту, контроль якості товару та дослідницька робота зі збору інформації.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.22).

Таблиця 5.19

Концепція маркетингових комунікацій

п/п	Специфіка поведінки	Канали комунікацій,	Ключові позиції, обрані	Завдання рекламного	Концепція рекламного
-----	------------------------	------------------------	----------------------------	------------------------	-------------------------

	цільових клієнтів	якими користуються цільові клієнти	для позиціонування	повідомлення	звернення
	Промислові підприємці, лаборанти, учні та студенти навчальних закладів	1. Електронна пошта 2. Публікації 3. Месенджери	1. Невисока ціна 2. Швидкодія 3. Зручність і простота використання	Інформування споживачів, стимулювання продажу, розвиток попиту	Контент-маркетинг, публікації, e-mail-розсилки

Основною задачею рекламної компанії є донесення інформації про існування даного програмно-методичного комплексу, його ефективність, зручність та інші позитивні властивості.

Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, до якої належить 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 проєкт, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

5.6 Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз стартап-проєкту, можна зробити висновок, щорозробка даного проєкту цілком обумовлена потребою в ньому, адже техніко-економічні характеристики він має схожі до аналогічних проєктів, або навіть краще, ніж у них. Вартість даної проєкту є невисокою у порівнянні з товарами-аналогами, тому розроблювальний програмний компонент є більш привабливим для покупця з точки зору вартості. На відміну від аналогів система є багатофункціональною, має простий та зрозумілий інтерфейс для користувача, обладнана інструкцією для оператора програмного компоненту, швидкодійна та проста у користуванні. Проєкт має високий відсоток окупності 60%. Існує багато можливостей для його подальшого розвитку. Це додавання нових функцій, оновлення до нових версій, можливість перенесення на інші платформи, що збільшить його привабливість для національних тендерів, підвищення попиту, підвищення ціни, покращення товару, залучення іноземних інвестицій, патентування нових ідей та методів.

Базовою стратегією розвитку обрано стратегію концентрації – зосередження на одному споживчому сегменті, оскільки наразі в Україні не існує товарів-замінників даного продукту.

У якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки головною особливістю є малий розмір ринкового сегменту. Ця конкурентна стратегія є похідною від такої базової стратегії компанії як концентрація.

Обрано вид збуту з першого і другого рівня, що включає в себе посилкову торгівлю та оптові й роздрібні продажі товару.

Підсумовуючи можна сказати, що Програмно-методичний комплекс для дослідження засобів тензонометрії є рентабельним та вигідним для інвестицій в Україні та, в подальшому, у світі.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації розроблено програмно-методичний комплекс для дослідження і виконання робіт із визначення деформації та механічних напружень об'єкта (балки) за допомогою дротяних тензорезисторів. Кожен тензоперетворювач використовується відповідно до його конструкції та виду вихідної величини з відповідними діапазонами вхідних та вихідних значень.

Розроблено структурну та функціональну схеми та алгоритм роботи проєктованого програмно-методичного комплексу. В якості середовища розробки використано LabVIEW, оскільки середовище надає можливість проєктувати масштабовані, зрозумілі для користувачів вимірювальні прилади, завдяки зручному інтерфейсу.

Розроблено й створено програмний виріб (а також технічну документацію до нього), який дозволяє досліджувати явище тензометрії, моделювати характеристики дротяних тензоперетворювачів, ввімкнених у мостову схему вимірювання. Даний програмний виріб поєднує в собі повне керування процесом дослідження дротяних тензоперетворювачів. Аналіз отриманих результатів забезпечує:

- зручне введення вхідних параметрів;
- багатокористувацький характер роботи.

Можливість опрацьовувати інформацію, яка була взята із досліду, поза середовищем LabVIEW, завдяки написанню інструкцій користувачу і порядку виконання роботи.

Даний віртуальний тренажер можливий для використання в якості лабораторної роботи з відповідних дисциплін кафедри.

Користувачами програмного продукту можуть бути студентита викладачі навчальних закладів, зацікавлені особи та спеціалісти відповідних галузей.

ДЖЕРЕЛА

1. Повідомлення прес-служби НАН України. Режим доступу: <http://www.nas.gov.ua/UA/Pages/default.aspx>
2. Тензорезистивні перетворювачі. Принцип роботи. Режим доступу: <http://um.co.ua/9/9-7/9-78866.html>
3. Тензометр ZETLAB. Режим доступу: <https://zetlab.com/shop/programmnoe-obespechenie/funksii-zetlab/izmerenie/tenzometr/>
4. «Тензод-200» (Модель версії 4.5) для систем дискретного дозування рідких і сипучих матеріалів. Режим доступу: <http://tenzo-evm.com.ua/3.htm>
5. Лабораторний стенд для дослідження тензорезисторів. Режим доступу: http://www.labview.ru/conference/Sbornik_NIDays2015.pdf, стор. 170-177
6. Розрядність мантиси. Режим доступу: http://om.net.ua/2/2_7/2_74761_spisok-istochnikov-informatsii.html.
7. Метрологічне забезпечення програмних засобів. Режим доступу: <http://mu-5.ru/work/work-10062542.php>.
8. Метрологічний самоконтроль. Режим доступу: <http://journals.uran.ua/tarp/article/download/21686/19184>.
9. Метрологічні характеристики та їх нормування. 2014: Павлов Є. О. Стаття «Особливості метрологічного забезпечення віртуальних засобів вимірювань»
10. General requirements for software controlled measuring instruments (Общие требования к программному обеспечению, контролирующему средства измерений) [Electronic resource] / OIML D 31 Edition 2008 (E). — Режим доступу: [www/URL: http://www.oiml.org/en](http://www.oiml.org/en)
11. Ганєва Таїсія Іванівна. МЕТОД ТА ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ. – Одеса, 2016

- 12.L-CARD. Виробники тензодатчиків та тензоперетворювачів, їх особливості. Режим доступу:https://www.lcard.ru/info/sensors_vendors
- 13.Некрасова М.В., Морозова М.М. Назва статті: «Тензорезистивний метод та засоби його реалізації» – XV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» (10 – 11 грудня 2019 р.). – Київ, 2019.
- 14.Кузьмич Л.В. Синтез методу вимірювання напружено–деформованого стану складних конструкцій / Л.В. Кузьмич // Метрологія та прилади. – 2019. – Вип. №3(77). – С. 12 – 18. — Режим доступу:<https://mmi-journal.org/index.php/journal/article/>— 19.11.2019 р.
15. Erb. K., Fisher P. (1989). Digital's Kompensation sverfahren zur Verbesserung vonMessfuhlern. *Bulletin SEV/VSE*, 80 (7,8), 365–368.
- 16.Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
- 17.Тензорезисторы TML/ООО «Японские измерительные технологии». — Режим доступа:<https://tmljp.ru/upload/iblock/e1e/> — 19.11.2019 г.
- 18.ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы. Общие технические условия
19. Макаров Р. А., Ренский А. Б. и др. Тензометрия в машиностроении: справочное пособие / под ред. Р. А. Макарова. — М.: Машиностроение, 1975. — 288 с.
20. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин. — Л.: Энергоатомиздат, 1983. — 320 с.
21. Клокова Н. П. Тензорезисторы : Теория, методики расчета, разработки. — М.: Машиностроение, 1990. — 224 с. — ISBN 5-217-00990-X.
22. Режим доступу:
https://www.tmljp.ru/information/izmerenie_deformatsii_s_pomoshchyu_tenzorezistorov/