

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**В.о. завідувача кафедри**  
автоматики та робототехнічних систем  
ім. акад. І.І. Мартиненка  
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. \_\_\_\_\_ О.О. Опришко  
(підпис) (ПІБ)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

на тему **"РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ  
ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ВІБРОПРИСКОРЕННЯ  
НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ"**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

**Гарант освітньої програми**

Д.Т.Н., проф.  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Заєць Н.А.  
(П.І.Б.)

**Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи**

К.Т.Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дудник А.О.  
(П.І.Б.)

**Виконала**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Настенко М.О.  
(П.І.Б.)

**КИЇВ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувача кафедри**  
автоматики та робототехнічних систем  
ім. акад. І.І. Мартиненка  
(назва кафедри)

к.т.н., доц. \_\_\_\_\_ О.О. Опришко  
(підпис) (ПІБ)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи студентці**  
**Настенко Марії Олександрівні**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

1. Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: "Розроблення системи автоматизованої діагностики стану деформації та віброприскорення несучих конструкцій залізничного транспорту",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "18" 11 2024 р. № 2056"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "30" травня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи: завдання кафедри на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи, нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Огляд об'єкта дослідження та огляд методів визначення його технічного стану.

2. Система збору експериментальних даних.

3. Система обробки експериментальних даних та її вдосконалення

4. Техніко-економічне обґрунтування

5. Перелік графічних документів:

Дата видачі завдання "21" листопада 2024 року

**Керівник кваліфікаційної  
бакалаврської роботи**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дудник А.О.  
(П.І.Б.)

**Завдання прийняла до виконання**

(підпис)

Настенко М.О.  
(П.І.Б.)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1 ОГЛЯД ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ .....	10
1.1 Огляд конструкцій рухомого складу залізничного транспорту як об’єкта діагностики.....	10
1.2 Причини виникнення деформацій і вібрацій .....	11
1.3 Сучасні підходи до діагностики технічного стану .....	12
2 СИСТЕМА ЗБОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ .....	16
2.1. Методи дослідження конструкцій рухомого складу в філії НДКТІ.	16
2.2 Принцип вимірювання показників деформації і віброприскорень....	17
2.2.1. Вимірювання деформацій .....	17
2.2.2. Вимірювання віброприскорень .....	21
2.3 Загальна характеристика програмно-апаратної частини .....	25
2.4 Функціонально-структурна схема системи.....	27
2.5 Засоби збору даних на базі National Instruments.....	28
2.5.1. Характеристика контролера NI cRIO-9025 .....	29
2.5.2. Характеристика шасі NI cRIO-9118 .....	30
2.5.3. Характеристика модуля NI 9205 .....	31
2.5.4. Характеристика модуля NI 9237 .....	33
2.5.5. Характеристика GPS-модуля SEA cRIO.....	34
2.6 Вибір первинних перетворювачів .....	35
2.6.1. Тензорезистори.....	35
2.6.2. Акселерометри .....	37
2.7 Програмне забезпечення системи збору даних .....	39

3 СИСТЕМА ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ТА ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ .....	43
3.1 Призначення програмного модуля.....	43
3.2 Огляд існуючої версії .....	44
3.2.1. Інтерфейс програми .....	44
3.2.2. Опис програми .....	45
3.2.3. Алгоритм програми .....	45
3.3 Аналіз недоліків попередньої версії програмного забезпечення.....	46
3.4 Нововведення .....	47
3.5 Огляд покращеної програми .....	49
3.5.1. Опис фронтальної панелі програми .....	49
3.5.2. Блок-схема головної програми. ....	51
3.5.3. Алгоритм роботи програми .....	54
3.5.4. Алгоритм роботи допоміжної програми FILE_to_array.vi .....	55
3.5.5. Інструкція для користувача.....	57
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ .....	60
4.1 Мета впровадження .....	60
4.2 Аналіз існуючого рішення .....	60
4.3 Розрахунок витрат при використанні попередньої версії програми .	60
4.4 Витрати на розробку та навчання персоналу .....	61
4.5 Витрати при використанні удосконаленої програми .....	61
4.6 Економічний ефект від впровадження.....	62
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	6

## ВСТУП

У сучасному світі залізничний транспорт залишається одним із ключових елементів логістичної інфраструктури, особливо в аграрному секторі, де швидка та надійна доставка продукції відіграє критичну роль. Враховуючи, що значна частина вантажів транспортується саме залізницею, питання технічного стану її конструкцій набуває особливої актуальності. Будь-які деформації або порушення цілісності несучих елементів рухомого складу можуть призвести до серйозних техногенних наслідків, підвищених експлуатаційних витрат, аварій і загроз безпеці.

Одними з найважливіших елементів залізничного господарства є несучі конструкції, зокрема рами, платформи, кузови вагонів і локомотивів. У процесі експлуатації вони постійно зазнають дії складних навантажень, включаючи вібрації та деформації, що з часом можуть спричинити втому матеріалу, мікротріщини й інші дефекти. Саме ці елементи стали об'єктом дослідження в межах цієї роботи.

Існуючі методи контролю технічного стану часто передбачають зупинку рухомого складу, ручні огляди або використання стаціонарних лабораторій. Такі підходи є малоефективними в умовах інтенсивної експлуатації та великої кількості одиниць техніки. Це обумовлює необхідність упровадження сучасних автоматизованих систем технічної діагностики, які забезпечують безперервний моніторинг у реальному часі, швидке виявлення аномалій та зменшення простоїв обладнання.

Актуальність теми полягає у необхідності підвищення ефективності діагностики технічного стану рухомого складу шляхом удосконалення алгоритмів обробки експериментальних даних про деформації та віброприскорення, що надходять із датчиків. Надійність та інформативність функціонування систем технічної діагностики значною мірою залежить не лише від апаратної частини, але й від ефективності методів аналізу, інтерпретації та

візуалізації зібраної інформації. У межах цієї роботи було вдосконалено саме систему обробки даних для підвищення точності оцінки стану конструкцій.

Мета дослідження – удосконалити систему обробки експериментальних даних у рамках автоматизованої діагностики стану несучих конструкцій залізничного транспорту за параметрами деформації та віброприскорення.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- дослідити особливості конструкцій рухомого складу як об’єкта технічної діагностики;
- проаналізувати сучасні методи збору та обробки сигналів від тензометрів і акселерометрів;
- розробити структуру програмної реалізації обробки даних;
- реалізувати алгоритми фільтрації, аналізу та збереження експериментальної інформації;
- забезпечити зручний інтерфейс для перегляду та експорту результатів;
- оцінити ефективність вдосконаленої системи шляхом тестування на реальних або модельованих даних;
- провести техніко-економічне обґрунтування впровадження такої системи.

Об’єкт дослідження – металеві елементи несучих конструкцій рухомого складу залізничного транспорту (рами, платформи, каркаси), які піддаються дії навантажень у процесі експлуатації.

Предмет дослідження – програмна частина системи діагностики: методи обробки та аналізу експериментальних даних, алгоритми обчислень, структури зберігання та інтерфейси візуалізації результатів.

Методи дослідження: аналіз технічної літератури, застосування засобів віртуальних інструментів у середовищі LabVIEW, математична обробка сигналів, моделювання, інженерна візуалізація, тестування на основі експериментальних даних.

# **1 ОГЛЯД ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ**

У даному розділі представлено загальний огляд несучих конструкцій рухомого складу залізничного транспорту, їхніх типових елементів, навантажень та нормативних вимог до технічного стану, а також обґрунтовано необхідність контролю критичних зон.

## **1.1 Огляд конструкцій рухомого складу залізничного транспорту як об'єкта діагностики**

Залізничний рухомий склад є складною інженерною системою, яка включає локомотиви, вантажні й пасажирські вагони, моторвагонні секції та спеціалізовану техніку. Основу його надійності становлять несучі металоконструкції, зокрема рами кузовів, ходові частини та колісні пари, які забезпечують сприйняття основних навантажень під час експлуатації.

До типових елементів несучих конструкцій належать рама кузова з поздовжніми та поперечними балками, боковини візків, буферні бруси, автозчеплення, колісні пари з осями, підшипники, амортизатори та пружини. У різних типах рухомого складу ці елементи можуть мати відмінності у формі, але виконують подібну функцію – передавання навантажень і забезпечення жорсткості та стійкості конструкції.

Під час руху на конструкції діють як статичні, так і динамічні навантаження. Статичні зумовлені вагою самого складу та вантажу, а динамічні – інерційними силами, ударами на стиках рейок, вібраціями та бічними силами при проходженні кривих ділянок. Таким чином, несучі елементи працюють у складних умовах, зазнаючи комбінованого навантаження.

Нормативні вимоги до технічного стану несучих конструкцій визначаються українськими та міжнародними стандартами: Правила технічної експлуатації залізниць України, Технічним регламентом безпеки рухомого

складу, ДСТУ 7571:2014, ДСТУ ГОСТ 4835:2008 тощо [1,2,14]. Вони регламентують допустимі межі зношення, деформацій і дефектів. При їх перевищенні конструкція визнається такою, що потребує ремонту або заміни.

Особливу увагу слід приділяти критичним зонам конструкцій – місцям зварювання, вузлам з'єднання балок, точкам кріплення колісних пар та амортизаторів. Саме в цих зонах найчастіше фіксуються тріщини й інші дефекти, які можуть стати причиною аварійної ситуації. Це зумовлює потребу в ефективному контролі таких ділянок.

Аналіз причин виникнення деформацій і вібрацій дозволяє більш детально розглянути, яким чином складність конструктивного рішення впливає на експлуатаційні характеристики рухомого складу.

## **1.2 Причини виникнення деформацій і вібрацій**

Протягом експлуатації рухомий склад постійно зазнає дії численних факторів, що спричиняють виникнення деформацій і вібрацій. Це явище обумовлено як зовнішніми умовами руху, так і внутрішнім станом конструкції.

Одним із ключових джерел є взаємодія систем "колесо – рейка". Нерівності колії, її неоднорідність або дефекти стиків спричиняють виникнення коливань і ударних навантажень, що в свою чергу створює локальні перевантаження в ходовій частині.

Також значний вплив на вібрації має технічний стан колісних пар. Дефекти, такі як повзуни, тріщини чи навари, знижують ресурс елементів і викликають додаткові коливання. Маневрові співударі, що виникають при формуванні потягів, можуть стати причиною різких поздовжніх ударів, особливо в зоні рами вагону.

Режим руху, зокрема гальмування або розгін, призводить до динамічних навантажень, які викликають пластичні деформації та прискорюють процес втомного руйнування. Крім того, резонансні явища, коли зовнішня частота впливу співпадає з власною частотою коливань конструкції, можуть спричинити

небезпечне зростання амплітуди коливань. Тривалі циклічні навантаження стимулюють виникнення мікротріщин і розповсюдження дефектів, а агресивне середовище може посилити корозійний процес, що зменшує експлуатаційний ресурс деталей. Також конструктивні або виробничі недоліки, зокрема порушення технології зварювання чи наявність внутрішніх порожнин, підвищують ризик концентрації напружень та швидкого розповсюдження тріщин [8].

У зв'язку зі складністю і багатофакторністю причин виникнення деформацій і вібрацій, використання одного методу діагностики не дає повної картини стану конструкції. Наприклад, візуальний огляд дає можливість виявити зовнішні дефекти, але не здатен показати внутрішні зміни структури. Саме тому для повноцінного контролю необхідно застосовувати інтегровані багатосенсорні системи, які дозволяють збирати і аналізувати дані з різних методів, включаючи тензометрію, віброаналіз, ультразвукову та акустико-емісійні технології.

Перевагою такого підходу є можливість раннього виявлення пошкоджень, що дозволяє вчасно вжити заходів щодо ремонту чи відновлення конструкції. Для ілюстрації практичного застосування сучасних діагностичних методів варто зазначити, що на деяких ремонтних підприємствах встановлено спеціалізовані стенди, де, за допомогою пресу та ультразвукових датчиків, здійснюється контроль стану балок візків вагонів під впливом змінного навантаження, що дозволяє виявляти дефекти на ранніх стадіях і визначити придатність балок до подальшої експлуатації.

Розгляд сучасних підходів до діагностики дозволяє окреслити характерні особливості кожного методу, що є важливим для подальшого вибору системи контролю.

### **1.3 Сучасні підходи до діагностики технічного стану**

Оцінка технічного стану несучих конструкцій залізничного рухомого складу здійснюється за допомогою ряду методів, кожен з яких володіє

специфічними перевагами і обмеженнями. Сучасна діагностика ґрунтується на синергії різних технологій, що дозволяє отримати найбільш достовірну інформацію про стан конструкції.

Візуально-оптичний контроль є найбільш доступним методом, який передбачає зовнішній огляд елементів конструкції (кузов, рама, ходові частини) для виявлення тріщин, ознак корозії чи деформації. Основними перевагами цього підходу є його простота, оперативність і низька вартість, проте він дозволяє виявити лише поверхневі дефекти, а результати значною мірою залежать від кваліфікації інспектора.

Тензометрія забезпечує безпосереднє вимірювання локальних деформацій завдяки використанню тензорезисторів, нанесених на найбільш навантажені ділянки конструкції. Метод характеризується високою точністю і стабільністю результатів, однак охоплює лише ті місця, де встановлено датчики. Крім того, необхідна ретельна підготовка поверхні для їхнього монтажу, що ускладнює застосування у польових умовах.

Аналіз вібраційних характеристик (віброаналіз) дозволяє виявити зміну жорсткості, появу тріщин, розбалансування чи інші пошкодження шляхом аналізу спектру віброприскорень. Цей метод є безконтактним і добре підходить для оперативного моніторингу в реальному часі. Водночас ефективно застосування потребує еталонних сигналів і складної обробки даних, що може обмежувати його використання в непередбачених умовах.

Методи неруйнівного контролю (НК), такі як ультразвуковий, магнітопорошковий і капілярний, широко застосовуються для виявлення як поверхневих, так і внутрішніх дефектів. Ультразвукова діагностика забезпечує високу чутливість до тріщин і включень у матеріалі, але вимагає якісної підготовки поверхні, фізичного доступу до об'єкта та значних затрат часу. Магнітопорошковий метод є швидким і ефективним для перевірки зварних швів, але підходить лише для феромагнітних матеріалів і здатен виявляти лише поверхневі та підповерхневі дефекти. Капілярна дефектоскопія також

застосовується для швидкого виявлення тріщин у швах і литті, однак обмежується лише поверхневими дефектами, які не завжди помітні візуально.

Акустико-емісійний контроль базується на реєстрації хвиль пружних коливань, що виникають у матеріалі в процесі зародження і розвитку дефектів. Цей метод забезпечує виявлення критичних змін у режимі реального часу без необхідності переривання роботи об'єкта. Водночас інтерпретація сигналів є складною і вимагає високоточних, дорогих датчиків, що обмежує його масове застосування.

Для порівняння основних методів діагностики наведено таблицю 1.1, що ілюструє переваги і недоліки кожного підходу.

**Таблиця 1.1 Порівняльна таблиця основних методів**

<b>Метод діагностики</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
Візуальний	Простота, низька вартість, швидкість перевірки	Тільки поверхневі дефекти; суб'єктивність висновків
Тензометрія	Висока точність вимірювань, локальні дані	Необхідність установки датчиків, лише місцеві виміри
Віброаналіз	Оперативний вияв дефектів, безконтактність	Складність обробки сигналів, потреба у фоні та шаблонах
Ультразвуковий НК	Висока чутливість до внутрішніх дефектів	Вимогливий до підготовки поверхні, потребує доступу, великі витрати часу
Магнітопорошковий НК	Швидкий контроль зварних швів та лиття	Підходить тільки для феромагнетиків; тільки поверхневі та підповерхневі дефекти
Капілярний НК	Швидкий контроль зварних швів та лиття	Виявляє тільки поверхневі дефекти не виявлені візуальним НК
Акустична емісія	Реєстрація розвитку тріщин у реальному часі	Дорогі датчики, складна інтерпретація сигналів

Комбінування різних методів дозволяє забезпечити найбільш надійну оцінку стану конструкції. Наприклад, на Дарницькому вагоноремонтному заводі

(ДВРЗ) застосовуються комплекси, що дозволяють у режимі реального часу збирати дані з тензометричних датчиків та проводити випробування балок візків з використанням ультразвукових методів. Такий інтегрований підхід допомагає своєчасно виявити потенційні дефекти й запобігти аварійним ситуаціям [6].

Підсумовуючи викладене, можна зробити висновок, що залізничний рухомий склад є надзвичайно складним інженерним об'єктом, який складається з великої кількості структурних елементів, що зазнають як статичних, так і динамічних навантажень. Систематичний контроль технічного стану цих конструкцій є необхідним для забезпечення безпеки перевезень і продовження терміну їх експлуатації. Багатофакторність впливів, що діють на рухомий склад, вимагає застосування інтегрованих діагностичних систем, які дозволяють використовувати сучасні методи візуального огляду, тензометрії, віброаналізу та неруйнівного контролю. Це підкреслює необхідність розробки й впровадження діагностичних комплексів, здатних надати повну картину стану конструкції і своєчасно виявити потенційні дефекти.

## **2 СИСТЕМА ЗБОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ**

### **2.1. Методи дослідження конструкцій рухомого складу в філії НДКТІ**

Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту АТ «Укрзалізниця» (далі – НДКТІ АТ «УЗ»), зокрема його Науково-впроваджувальний центр (НВЦ), відіграє ключову роль у діагностиці та оцінці стану несучих конструкцій залізничного транспорту. Цей центр здійснює експериментальні дослідження та випробування рухомого складу, використовуючи широкий спектр акредитованих методів, постійно розширюючи сферу діяльності.

У контексті тематики дипломної роботи, яка стосується розроблення системи автоматизованої діагностики деформацій і віброприскорень, увага приділяється саме тим методам, що базуються на вимірюваннях зазначених фізичних величин.

До таких методів належать, зокрема, випробування на плавність руху, під час яких визначаються параметри вертикальних і горизонтальних коливань. Ці коливання впливають не лише на комфорт пасажирів, але й на навантаження, які сприймаються елементами конструкції. Вимірювання віброприскорень дозволяють отримати об'єктивні дані про динамічні властивості рухомого складу.

Експлуатаційні випробування проводяться безпосередньо під час руху поїздів у звичайних умовах експлуатації. Метою таких випробувань є перевірка надійності та безпечності конструкцій. У цьому випадку фіксуються зусилля, що діють на окремі вузли та елементи, зокрема за допомогою тензометричних систем.

Ресурсні випробування та дослідження втомної довговічності передбачають багаторазове циклічне навантаження конструкцій з реєстрацією змін деформацій. Тензометричні вимірювання дають змогу визначити

закономірності втомної деградації матеріалів і спрогнозувати залишковий ресурс окремих елементів.

Міцнісні випробування зосереджені на оцінці здатності конструкцій витримувати граничні навантаження без утворення пошкоджень. Ключовим інструментом тут виступає тензометрія, яка дозволяє отримати кількісні характеристики напруженого стану у найбільш навантажених зонах.

Ходові динамічні випробування передбачають всебічний аналіз роботи рухомого складу в динаміці. У рамках таких випробувань одночасно здійснюються вимірювання віброприскорень та деформацій, що дає змогу оцінити взаємодію окремих елементів конструкції в реальних умовах руху.

Ходові міцнісні випробування спрямовані на виявлення максимальних значень напружень, які виникають під час експлуатації. За допомогою електротензометричних вимірювань фіксуються пікові деформації, що дозволяє здійснювати оцінку відповідності фактичного навантаження нормативним критеріям міцності.

Загалом, перелічені методи забезпечують комплексну, багатогранну оцінку працездатності конструкцій у реальних умовах експлуатації. Це створює надійну базу для обґрунтованого вибору засобів вимірювання, побудови схем контролю та розроблення систем збору й аналізу даних.

## **2.2 Принцип вимірювання показників деформації і віброприскорень**

Після вибору методів дослідження визначаються фізичні принципи, які покладено в основу вимірювальних систем. У цьому підрозділі розглянуто принципи вимірювання деформацій і віброприскорень, характерних для конструкцій рухомого складу.

### ***2.2.1. Вимірювання деформацій***

Вимірювання деформацій ґрунтується на явищі тензоефекту, що полягає у зміні електричного опору провідника при його механічній деформації.

Тензометрія, як сукупність експериментальних методів, дозволяє досліджувати напружено-деформований стан твердих тіл шляхом вимірювання місцевих деформацій.

Основним датчиком для вимірювання деформацій є тензодатчик. Серед електронних тензодатчиків найбільш поширеними є тензорезисторні фольговані датчики (рис. 2.1). Вони мають будову, що включає чутливий елемент у вигляді тонкої провідникової або напівпровідникової сітки, закріпленій на еластичній ізоляційній підкладці, до якої приєднані контактні виводи для підключення до вимірювального кола.

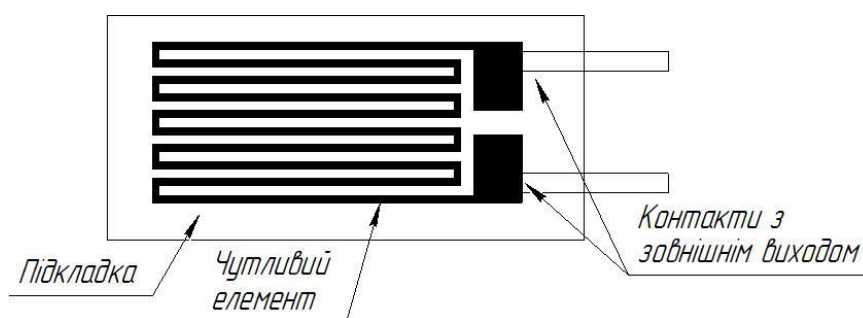


Рис. 2.1. Схема тензорезистора

Принцип їх дії полягає в тому, що при розтягненні провідникового чутливого елемента тензорезистора збільшується його довжина та зменшується поперечний переріз, що призводить до збільшення опору, а при стисненні – навпаки, опір зменшується. Таким чином, механічна деформація (напруження) у тензодатчику перетворюється на зміну електричного опору, яку фіксує вторинна електроніка. Конструктивно, тензодатчик складається з чутливого елемента – тонкої провідної нитки або плівки (власне тензорезистора), приклеєної до гнучкої основи. При деформації основи тензорезистор також деформується, змінюючи свій електричний опір пропорційно деформації.

При вимірюванні механічних напружень несучих конструкцій рухомого складу зміна опору тензометра дуже мала, зазвичай порядку декількох сотень Омів. З найзручніших засобів вимірювань таких змін є міст Уїтстона (Wheatstone). Він включає чотири резистори з'єднані з електроживленням постійного струму, як показано на рисунку 2.2.

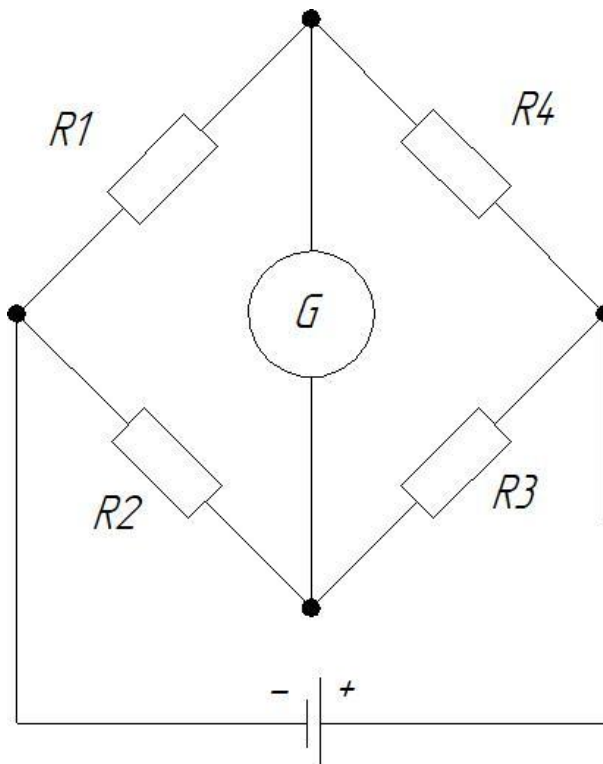


Рис. 2.2. Міст Уїтстона

Для вимірювання деформацій, один або більше резисторів, що показані на малюнку замінюються тензорезисторами. Використовуються такі конфігурації як: одна четверта, напівміст і повний міст (рис. 2.3).

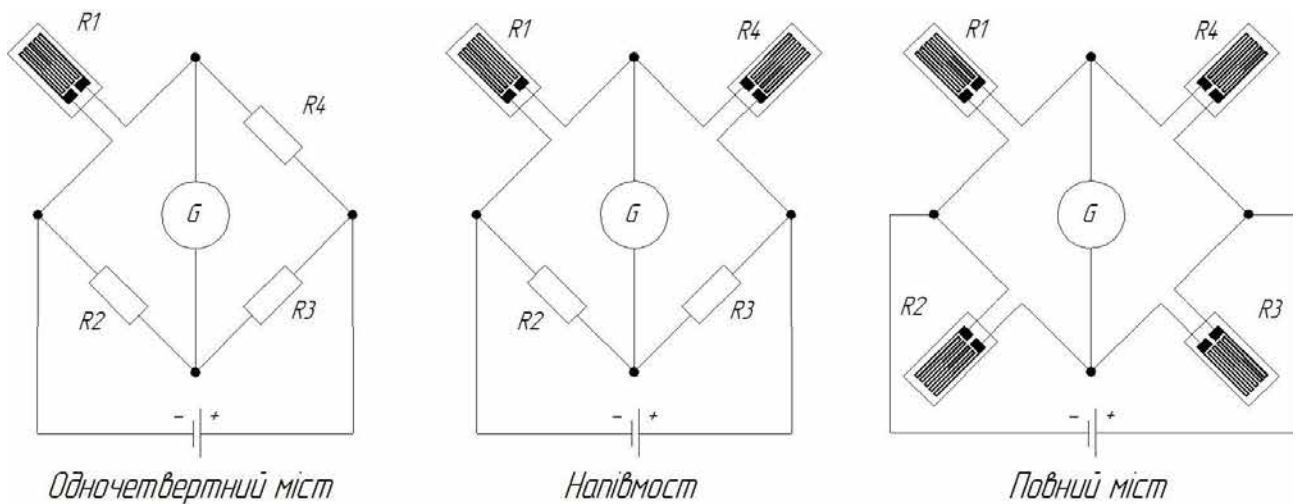


Рис. 2.3. Конфігурація мостових схем

Серед розглянутих варіантів найменшу чутливість демонструє схема з однією чвертю мосту. Якщо не застосовувати спеціальні заходи, така конфігурація може бути джерелом похибок через високу чутливість тензометрів до змін температури. Для мінімізації впливу теплових факторів один із

тензометрів, що знаходиться поруч з активним, можна замінити компенсаційним. Такий тензометр має однакові характеристики з активним і перебуває в тих самих умовах, але не зазнає механічного навантаження – наприклад, його розміщують на ділянці конструкції, яка не деформується під час випробувань. Завдяки цьому обидва тензометри реагують однаково на зміну температури, що дозволяє зменшити вплив теплових ефектів на баланс мостової схеми.

Схема напівмоста характеризується вищою чутливістю порівняно з чвертю мосту, оскільки другий тензометр сприяє появі більшого небалансу у мостовому колі Уїтстона. Крім того, використання двох активних тензометрів значною мірою усуває вплив температури, як зазначалося раніше. Найвищу чутливість серед усіх варіантів забезпечує повний міст, який до того ж автоматично компенсує температурні впливи [9].

Вибір місць кріплення тензодатчиків на несучих конструкціях рухомого складу є критично важливим для отримання достовірних даних про їх напружено-деформований стан. Датчики приклеюються до поверхні досліджуваного елемента таким чином, щоб їхня поздовжня вісь збігалася з напрямком вимірюваної деформації. Місця встановлення тензодатчиків визначаються на основі аналізу зон концентрації напружень та максимальних деформацій, де найбільш ймовірно виникнення та розвиток пошкоджень, таких як втомні тріщини. Цей аналіз може здійснюватися за допомогою сучасних розрахункових програм таких як SolidWorks. Також враховується досвід попередніх досліджень та експлуатації, що накопичується, зокрема, в НДКТІ.

Типові місця встановлення тензодатчиків на рухомому складі визначаються з урахуванням потреби в реєстрації динамічних навантажень та напружень у ключових елементах конструкції. Згідно з практиками, що застосовуються в НДКТІ, кріплення тензодатчиків здійснюється на декількох основних вузлах вагона.

Зокрема, на надресорній балці та бічних рамах візків тензодатчики монтуються на опорах стаканів пружинних комплектів, верхній полиці

надресорної балки, а також безпосередньо на бічних рамах. Таке розміщення забезпечує можливість контролю динамічних напружень і визначення коефіцієнтів вертикальної динаміки як обресорених, так і необресорених мас вагона. Отримані дані є критично важливими для оцінки стану зварних з'єднань та інших потенційно вразливих перетинів конструкції.

На рамі візка тензодатчики встановлюються з метою вимірювання горизонтальних поперечних (рамних) сил, що передаються від колісних пар. Це дає змогу детально аналізувати навантаження, які діють на візок під час руху по криволінійних ділянках колії або при боковому розгойдуванні.

Ще одним важливим елементом для кріплення тензодатчиків є осі колісних пар та диски коліс. Монтаж тензодатчиків на ці вузли дозволяє реєструвати динамічні напруження, що виникають у процесі експлуатації, і таким чином забезпечує можливість оцінки втомної міцності осей.

Кузов вагона також є зоною встановлення тензодатчиків – зазвичай на бічних балках рами та елементах колискового підвішування. Це дає змогу фіксувати загальні динамічні навантаження, які діють на кузов у вертикальному та поперечному напрямках.

Окремо слід зазначити застосування тензодатчиків у складі автозчеп, зокрема у так званому автозчеп-динамометрі. Цей пристрій дозволяє вимірювати поздовжні зусилля, які виникають під час ударних взаємодій між вагонами, що є важливим для аналізу міцності зчеплення і динаміки руху поїзда загалом.

### ***2.2.2. Вимірювання віброприскорень***

Вимірювання віброприскорень ґрунтується на інерційних властивостях маси та принципах перетворення механічного прискорення на електричний сигнал. У багатьох типах датчиків використовується також п'єзоелектричний ефект – виникнення електричного заряду на поверхні певних кристалів під дією механічного навантаження. Віброприскорення, як фізична величина, характеризує зміну швидкості вібраційного руху в часі та є основним параметром, що дозволяє кількісно оцінити інтенсивність коливань твердих тіл.

Вимірювання віброприскорень є важливим для діагностики технічного стану об'єктів, зокрема рухомого складу, аналізу комфорту поїздки, контролю втомних навантажень і виявлення дефектів.

Основними приладами для вимірювання віброприскорень є акселерометри. Найпоширенішими акселерометрами за принципом дії є: п'єзоелектричні, п'єзорезистивні і ємнісні.

П'єзоелектричні акселерометри (рис. 2.4) працюють на основі п'єзоефекту – явища виникнення електричного заряду на поверхні п'єзокристалів при їх механічній деформації. У типовому акселерометрі інерційна маса підвішена на пружних з'єднаннях із п'єзоматеріалами. При зміні прискорення маса тисне на п'єзоелемент, викликаючи деформацію та генерацію електричного сигналу, пропорційного прикладеному прискоренню [5].

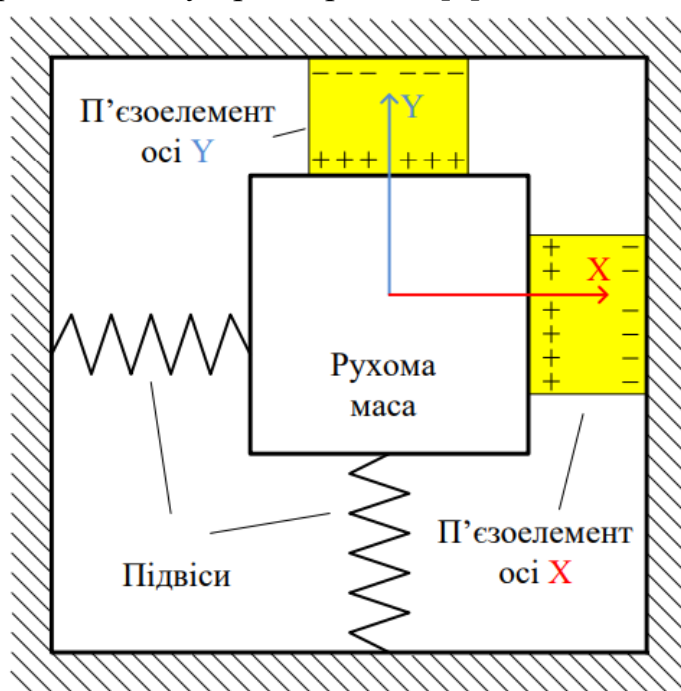


Рис. 2.4. Функціональна схема п'єзоелектричного акселерометра

П'єзорезистивні акселерометри (рис. 2.5) працюють на основі п'єзорезистивного ефекту – явища зміни електричного опору матеріалу під впливом механічної деформації. У таких акселерометрах інерційна маса з'єднана з чутливими п'єзорезистивними елементами, які деформуються під дією прискорення. Зміна опору цих елементів пропорційна величині прискорення і

перетворюється в електричний сигнал, що реєструється електронікою. П'єзорезистивні датчики мають високу чутливість та швидкодію, однак потребують компенсації температурних впливів.

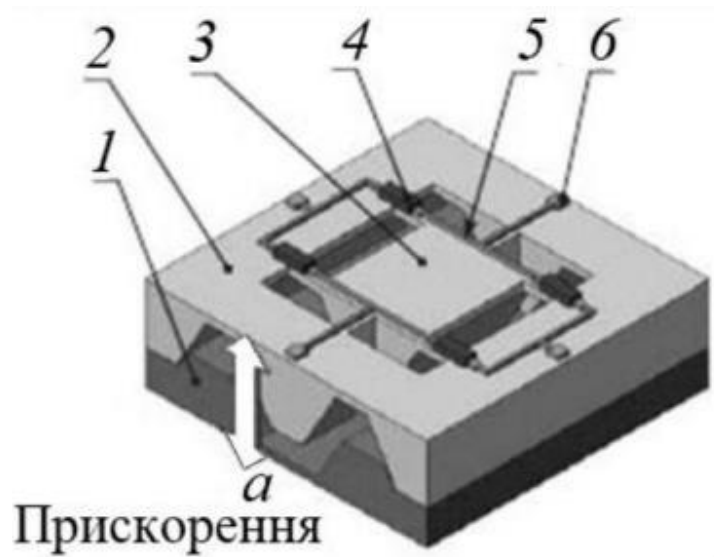


Рис. 2.5. Схема п'єзорезистивного акселерометру:

1 – основа; 2 – Кремнієва структура з консольними балками; 3 – інерційна маса;  
4 – згинні кремнієві резистори; 5 – електричне з'єднання резисторів (міст  
Уінстона); 6 – термінали мікроелектромеханічні системи (МЕМС) – структури  
(виходи моста)

Ємнісні акселерометри (рис. 2.6) базуються на зміні ємності між рухомим та нерухомим електродами внаслідок механічного зміщення інерційної маси під дією прискорення. При коливаннях або прискореннях відстань між електродами змінюється, що призводить до відповідної зміни електричної ємності, яка вимірюється електронним колом і перетворюється на сигнал, пропорційний прискоренню.

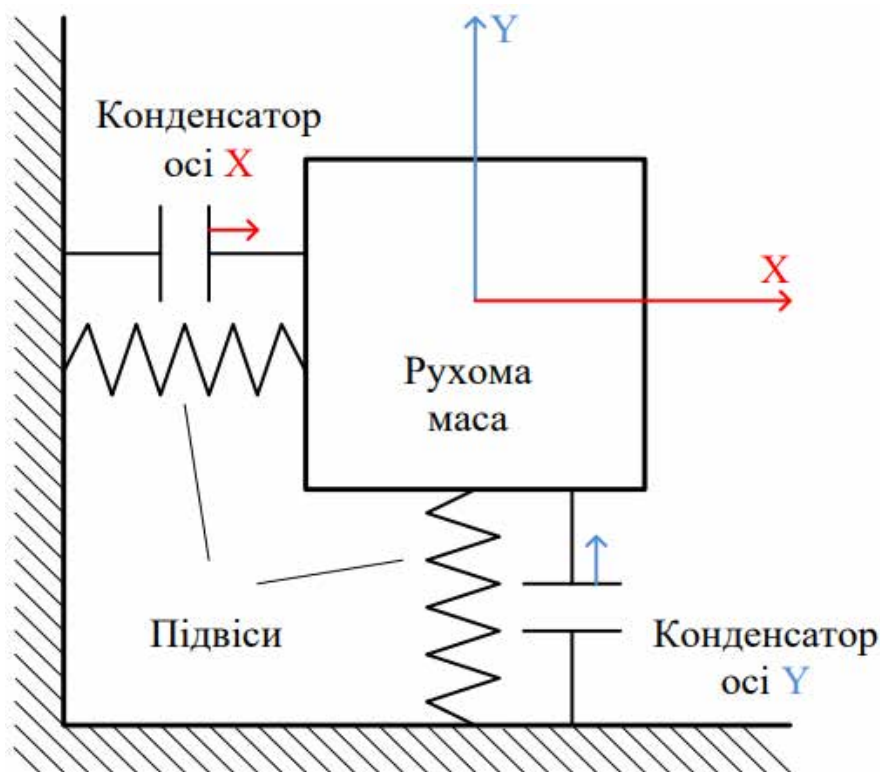


Рис. 2.6. Функціональна схема ємнісного акселерометра

У сучасних системах для мінімізації габаритів пристрою все частіше застосовують електронні мікромеханічні компоненти – МЕМС-системи (мікроелектромеханічні системи). МЕМС-акселерометри поєднують у собі мікромеханічні елементи (інерційні маси, пружини, сенсорні елементи) та мікроелектроніку (схеми обробки сигналів) в одному компактному корпусі. Ємнісні датчики широко використовуються в МЕМС-технологіях завдяки простоті виготовлення, високій точності, стабільності та низькому енергоспоживанню [5].

Саме ємнісні МЕМС-акселерометри, використовуються для вимірювання віброприскорень у дослідженнях, що проводяться в НДКТІ.

Акселерометри можуть бути одновісними, двовісними або тривісними. Це дозволяє вимірювати прискорення в одному, двох або трьох взаємно перпендикулярних напрямках відповідно. Такий підхід є необхідним для повної характеристики динаміки руху, оскільки вібрації можуть виникати у різних площинах.

У системах моніторингу рухомого складу акселерометри встановлюють у точках, де очікуються характерні вібрації. Для оцінки комфортності руху акселерометри кріпляться на кузові вагона, зокрема в зоні п'ятників і центральній частині кузова. Це дає змогу вимірювати вертикальні, поперечні та, за необхідності, поздовжні прискорення, які безпосередньо впливають на комфорт пасажирів.

З метою виявлення дефектів, таких як несправності колісних пар або підшипників, акселерометри кріпляться безпосередньо на рамі візка або поблизу відповідних елементів. Аналіз вібраційних сигналів з цих точок дозволяє виявляти пошкодження на ранніх стадіях шляхом аналізу частотних складових. Для аналізу динамічної взаємодії рухомого складу з колією акселерометри також можуть бути встановлені на рамі візка.

Важливо забезпечити надійне кріплення акселерометра, оскільки будь-яке зміщення або нещільне прилягання може суттєво спотворити результати вимірювань.

Розуміння процесів перетворення фізичних параметрів у електричні сигнали забезпечує обґрунтоване проектування системи збору даних та точне тлумачення результатів.

### **2.3 Загальна характеристика програмно-апаратної частини**

На основі вимог до точності вимірювань і умов експлуатації при дослідженнях конструкцій залізничного транспорту визначаються ключові параметри програмно-апаратної частини системи збору даних. Вона повинна забезпечувати високу надійність, адаптивність до польових умов, роботу в реальному часі та точність вимірювань, що є критично важливим для об'єктивної оцінки стану об'єктів контролю.

У системі використовуються тензодатчики і акселерометри з похибкою не більше 0,1% від повного діапазону, що дозволяє фіксувати навіть незначні зміни

у структурі конструкцій. Надійність вимірювань забезпечується попереднім калібруванням сенсорів у лабораторних умовах.

Збір даних реалізується на основі модульної платформи NI CompactRIO, що складається з контролера cRIO-9025, шасі cRIO-9118 та відповідних модулів збору аналогових сигналів, таких як NI 9205, NI 9237, GPS-модуля SEA cRIO, а також сенсорних пристроїв (тензометрів, акселерометрів, GPS-антени). Сигнали, що надходять із датчиків, перетворюються у цифрові дані, які потім обробляються, зберігаються та можуть передаватися для подальшого аналізу. Програмне забезпечення розроблено в середовищі LabVIEW і виконує повний цикл: від збору сигналів до збереження та формування підсумкового файлу з даними [15].

Особливу увагу приділено експлуатаційній надійності всієї системи. Сенсори повинні зберігати точність у широкому діапазоні температур (від  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), бути стійкими до вібрацій, пилу й вологи, відповідати стандарту захисту IP65 або вище. Матеріали конструкцій датчиків мають бути корозійностійкими, а електроніка – екранованою і герметизованою.

Для візуального представлення логіки роботи системи доцільно подати блок-схему архітектури ПАК (рис. 2.7). Її наявність дозволяє наочно продемонструвати, як пов'язані між собою сенсори, модулі перетворення, контролер і канали збереження інформації, що особливо важливо для розуміння функціонального розподілу в системі [9].

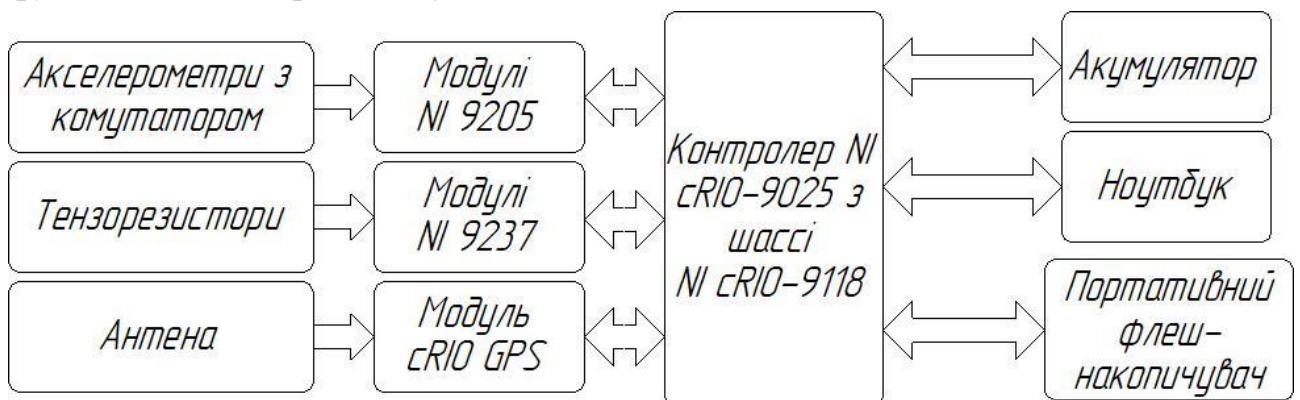


Рис. 2.7. Блок-схема ПАК

## 2.4 Функціонально-структурна схема системи

Функціонально-структурна схема автоматизованої системи збору експериментальних даних (рис. 2.8) відображає логіку перетворення сигналів та інформаційних потоків у системі.

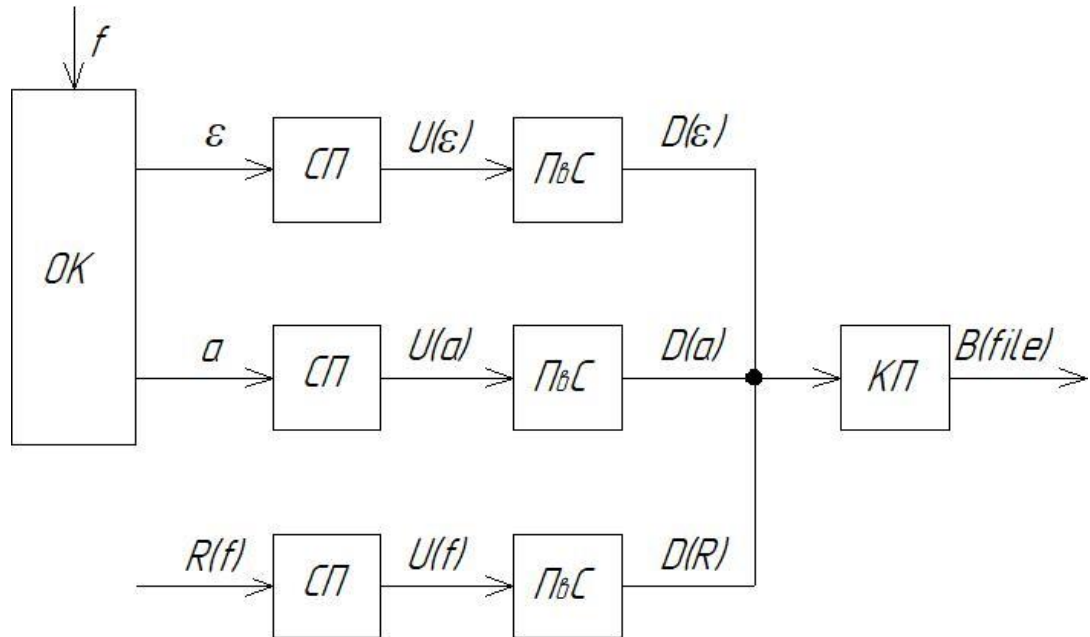


Рис. 2.8. Функціонально-структурна схема автоматизації

Компоненти схеми розподілені на функціональні блоки:

- ОК – об'єкт контролю;
- СП – сприймаючий пристрій;
- ПвС – перетворювальний пристрій;
- КП – керуючий пристрій;
- $\varepsilon$  – деформація;
- $a$  – прискорення;
- $R(f)$  – супутниковий радіосигнал;
- $U(\varepsilon)$  – напруга, що залежить від деформації;
- $U(a)$  – напруга, що залежить від прискорення;
- $U(f)$  – напруга, що відповідає радіосигналу супутника;
- $D(\varepsilon)$  – цифрові дані деформації;
- $D(a)$  – цифрові дані прискорення;

- $D(R)$  – цифрові дані позиціонування (координати, швидкість, час);
- $B(\text{file})$  – файл з даними.
- $f$  – збурення.

Зовнішні впливи ( $f$ ), наприклад нерівності колії або зміна напрямку руху, діють на об'єкт контролю (ОК) – несучі конструкції рухомого складу залізничного транспорту. Унаслідок цього виникають деформації конструкцій ( $\epsilon$ ) і прискорення ( $a$ ), що є реакцією об'єкта на механічні впливи. Ці фізичні величини сприймаються датчиками (СП): тензорезистори фіксують деформацію, а акселерометри – прискорення. Вони перетворюють ці величини в аналогові сигнали:  $U(\epsilon)$  – напруга, що відповідає деформації, і  $U(a)$  – напруга, що відповідає прискоренню.

Далі ці аналогові сигнали надходять до перетворювального пристрою (ПвС). Вони перетворюють аналогові сигнали у цифрові дані:  $D(\epsilon)$  і  $D(a)$ .

Радіосигнал GPS ( $R(f)$ ) приймається антеною (СП), яка перетворює його на електричний сигнал, що надходить до GPS-модуля (ПвС), де відбувається обробка і формування цифрових даних позиціонування.

Цифрові сигнали обробляє керуючий пристрій (КП) – контролер. Він зберігає ці дані у вигляді файлу  $B(\text{file})$ . Також у цей момент до даних додається інформація від GPS-модуля, тобто координати та час фіксації.

## **2.5 Засоби збору даних на базі National Instruments**

Для реалізації системи збору даних використовується платформа NI CompactRIO, що складається з контролера реального часу та перетворювального FPGA-шасі з універсальними модулями C Series. Зокрема, контролер NI cRIO-9025 описується як «ідеальний для застосувань у системах розширеного керування та моніторингу». Він має багаті інтерфейси зв'язку – 2 порти Ethernet (10/100 Мбіт/с), USB 2.0 і послідовний порт RS-232, що забезпечує зв'язок з периферійними пристроями. Для розширення входів-виходів до контролера підключається FPGA-шасі NI cRIO-9118 – 8-слотовий, Virtex-5 LX110,

«надійний FPGA-шасі» для додавання C Series модулів. Нижче наведені основні характеристики кожного пристрою та їх роль у системі.

### 2.5.1. Характеристика контролера NI cRIO-9025

Контролер NI cRIO-9025 відповідає за управління всією системою збору даних (рис. 2.9). Він приймає сигнали від модулів вводу, виконує попередню обробку, зберігає результати та організовує обмін інформацією з іншими пристроями або комп'ютером. Він не має власних вимірювальних каналів, а виконує обчислення та керування всією системою. Завдяки вбудованій операційній системі реального часу, цей контролер забезпечує точне й стабільне функціонування навіть у складних умовах [20].



Рис. 2.9. Контролер cRIO-9025

Характеристики контролера подано в таблиці 2.1.

**Таблиця 2.1 Технічні характеристики контролера cRIO-9025**

Характеристика	Значення
Тип пристрою	Контролер реального часу (Real-Time Controller)
Процесор	Freescale MPC5125, 800 МГц
Оперативна пам'ять (RAM)	512 МБ
Постійна пам'ять (Flash)	4 ГБ
Операційна система	NI Real-Time (RT Linux)

Характеристика	Значення
Інтерфейси	2×Ethernet 10/100 Мбіт/с 1×USB 2.0 1×RS-232
Кількість I/O каналів	– (використовується з шасі)
Частота дискретизації	–
Напруга живлення	9–35 В DC
Робоча температура	–20...+55 °С
Розміри (Ш×Г×В)	≈90×90×77 мм

Цей контролер є fanless (безвентиляторний) і rugged (ударостійкий), тобто має пасивне охолодження та стійкий до вібрацій, пилу, перепадів температур. Це робить його ідеальним для використання в умовах транспорту та експлуатації на відкритому повітрі. Потужний процесор і широкий набір інтерфейсів дозволяють підключати численні сенсори й виконувати обробку в реальному часі, що критично для надійного моніторингу стану конструкцій.

### 2.5.2. Характеристика шасі NI cRIO-9118

Шасі NI cRIO-9118 служить основною платформою для підключення модулів вводу/виводу типу C Series (рис. 2.10). Воно забезпечує обмін даними між модулями та контролером, а також виконує попередню обробку сигналів на апаратному рівні завдяки вбудованій FPGA-матриці [21].



Рис. 2.10. Шасі NI cRIO-9118

Характеристики шасі подано в таблиці 2.2.

**Таблиця 2.2 Технічні характеристики шасі NI cRIO-9118**

<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
Тип пристрою	FPGA-шасі для C Series модулів
Вбудоване ПЛІС	Xilinx Virtex-5 LX110
Кількість слотів	8
Логічні елементи FPGA	≈69 000
Частота дискретизації	– (не застосовується напряму)
Напруга живлення	9–30 В DC
Максимальне споживання	До 30 Вт
Робоча температура	–40...+70 °С
Розміри (Ш×Г×В)	93×180×63 мм

Це шасі має 8 слотів для модулів, що дозволяє формувати гнучку конфігурацію системи. Вбудована FPGA-логіка (Xilinx Virtex-5) дає змогу реалізовувати високошвидкісну обробку сигналів без затримок. Пристрій розрахований на жорсткі умови експлуатації (температура, вібрація), а його сумісність з контролером cRIO-9025 забезпечує надійну та компактну модульну систему.

### ***2.5.3. Характеристика модуля NI 9205***

Модуль NI-9205 використовується для збору аналогових сигналів напруги з великої кількості каналів, наприклад, від акселерометрів чи інших аналогових сенсорів (рис. 2.11). Він перетворює аналогові сигнали у цифрову значення для подальшої обробки.



Рис. 2.11– Модуль NI 9205

Характеристики модуля подано в таблиці 2.3.

**Таблиця 2.3 Технічні характеристики модуля NI 9205**

<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
Тип пристрою	Модуль аналогового вводу напруги
Кількість каналів	32 однополярні або 16 диференційні
Тип АЦП	Successive Approximation Register (SAR)
Розрядність	16 біт
Частота дискретизації (загальна)	До 250 кС/с
Вхідні діапазони	$\pm 200$ мВ, $\pm 1$ В, $\pm 5$ В, $\pm 10$ В
Точність	$\pm 0,3\%$ від повного діапазону
Ізоляція	Немає
Напруга живлення	+5 В DC (живиться від шасі)
Споживання	До 625 мВт
Розміри	$\approx 168 \times 81 \times 20$ мм

Завдяки 32 каналам і високій частоті дискретизації цей модуль забезпечує масовий паралельний збір даних із задовільною точністю. Він підтримує кілька діапазонів напруги, має компактні розміри та добре інтегрується з платформою CompactRIO. Це оптимальний вибір для вимірювання віброприскорення та аналогових параметрів із великої кількості джерел [22].

#### 2.5.4. Характеристика модуля NI 9237

Модуль NI-9237 служить для підключення тензометричних датчиків (тензорезисторів), що вимірюють механічну деформацію конструкцій (рис. 2.12). Він дозволяє працювати з повними або половинними мостовими схемами.



Рис. 2.12. Модуль NI 9237

Характеристики модуля подано в таблиці 2.4.

**Таблиця 2.4 Технічні характеристики модуля NI 9237**

Характеристика	Значення
Тип пристрою	Модуль для тензометричних мостів (strain gage bridge)
Кількість каналів	4
Тип АЦП	Delta-Sigma ( $\Delta\Sigma$ ), 24 біти
Частота дискретизації	До 50 кС/с на канал (одночасна вибірка)
Тип мосту	Повний або половинний
Живлення на датчики (збудження)	4.85 В або 10 В
Ізоляція	До 60 В постійного струму
Напруга живлення	+5 В DC (від шасі)
Споживання	До 740 мВт
Розміри	$\approx 168 \times 81 \times 20$ мм

NI-9237 має високу розрядність (24 біти) та забезпечує одночасну вибірку з усіх каналів, що особливо важливо для динамічних вимірювань. Вбудоване

джерело живлення для мостів та ізоляція роблять його безпечним і точним рішенням для деформаційного аналізу. Надійність, сумісність із CompactRIO і спеціалізація саме на strain gage – ключові аргументи на користь вибору цього модуля [23].

### 2.5.5. Характеристика GPS-модуля SEA cRIO

GPS-модуль SEA cRIO забезпечує просторово-часову прив'язку даних (рис. 2.13). Він приймає сигнали глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), визначаючи точне місце і час кожного вимірювання.



Рис. 2.13. GPS-модуль SEA cRIO

Характеристики модуля подано в таблиці 2.5.

**Таблиця 2.5 Технічні характеристики GPS-модуля SEA cRIO**

Характеристика	Значення
Тип пристрою	GNSS-приймач (GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou)
Кількість супутникових каналів	До 184
Частота оновлення	До 20 Гц
Час холодного старту (TTFF)	< 30 с
Час гарячого старту	< 1 с
Точність позиціонування	До 2,5 м CEP

Характеристика	Значення
Точність синхронізації часу	До 30 нс RMS
Напруга живлення	+5 В DC (через шасі CompactRIO)
Розміри	≈168×81×20 мм

SEA GPS-модуль підтримує одночасну роботу з кількома супутниковими системами (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou) і має точність позиціонування до 2,5 м і синхронізації часу до 30 нс. Він дозволяє точно зіставляти зібрані дані з їх координатами та моментом часу. Це особливо важливо у русі, наприклад, для системи, встановленої на залізничному транспорті. Модуль також напряму інтегрується у CompactRIO, не потребуючи додаткових адаптерів чи джерел живлення.

## 2.6 Вибір первинних перетворювачів

### 2.6.1. Тензорезистори

Для вимірювань деформації використовуються тензорезистори BF200-10AA-A(11)-BX30 (рис. 2.14).



а) Схематичне зображення



б) Фото тензорезистора на об'єкті

Рис. 2.14. Тензорезистор BF200-10AA-A(11)-BX30

Характеристики тензорезистора наведені в таблиці 2.6.

**Таблиця 2.6 Характеристика тензорезистора BF200-10AA-A(11)-BX30**

Характеристика	Значення
Номінальний опір	200 Ом
Довжина бази	10.0 мм
Термокомпенсація	на сталь ( $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ )
Габаритні розміри (по підкладці)	18,5*7,4 мм
Кількість чутливих елементів	1
Діапазон опору тензорезисторів	199,88-200,2 Ом
Матеріал вивідного проводу	посеребристий мідний дріт
Довжина вивідного проводу	30 мм

У НДКТІ для вимірювальної системи застосовується напівмостова схема включення ( $1/2 \text{ M}$ ), як показано на рисунку 2.15.



Рис. 2.15. Схема підключення тензорезисторів до вимірювальної системи

Ця схема передбачає використання двох тензорезисторів у плечах моста: одного активного ( $R_{a.1} - R_{a.n}$ ), що вимірює деформацію розтягнення-стискання, і одного компенсаційного ( $R_{к.1} - R_{к.n}$ ). Компенсаційний тензорезистор наклеюється на окрему металеву пластину, що закріплюється поруч із активним тензорезистором. Таке розташування дозволяє виключити температурну похибку активного тензорезистора, оскільки обидва датчики будуть перебувати в однакових температурних умовах, і їхні опори змінюватимуться синхронно через температуру, але лише активний буде реагувати на механічну деформацію. Це забезпечує високу точність вимірювань, мінімізуючи вплив зовнішніх факторів.

### 2.6.2. Акселерометри

Для вимірювання прискорень та оцінки динамічного навантаження екіпажної частини рухомого складу філією «НДКТІ» було створено експериментальний низькочастотний акселерометр типу UM. Пристрій виконаний у корпусі кубічної форми, що забезпечує зручність монтажу і експлуатації. Його розміри становлять  $35 \times 35 \times 31$  мм.

Акселерометр складається з корпусу, кришки, плати з мікросхемою ADXL 278, електричного з'єднувача та кріпильних елементів (магніт, гвинти, шайби, гайки). Плата розміщується у вирізі корпусу, а з іншого боку встановлюється з'єднувач типу УЗНЦ 05-7/12ВП111. Кришка та з'єднувач герметизуються епоксидним клеєм [11].

Загальний вигляд акселерометра наведено на рисунку 2.16, а принципова електрична схема акселерометра – на рисунку 2.17.

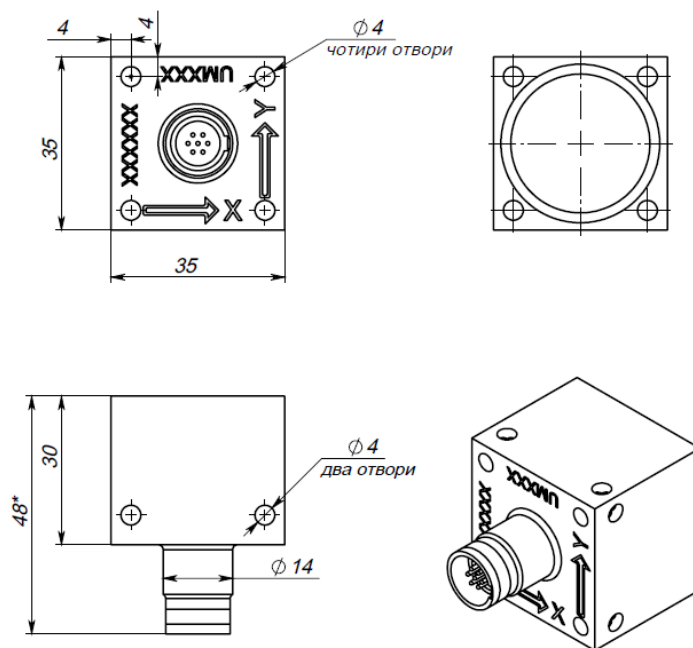


Рис. 2.16. Акселерометр низькочастотний експериментальний типу UM

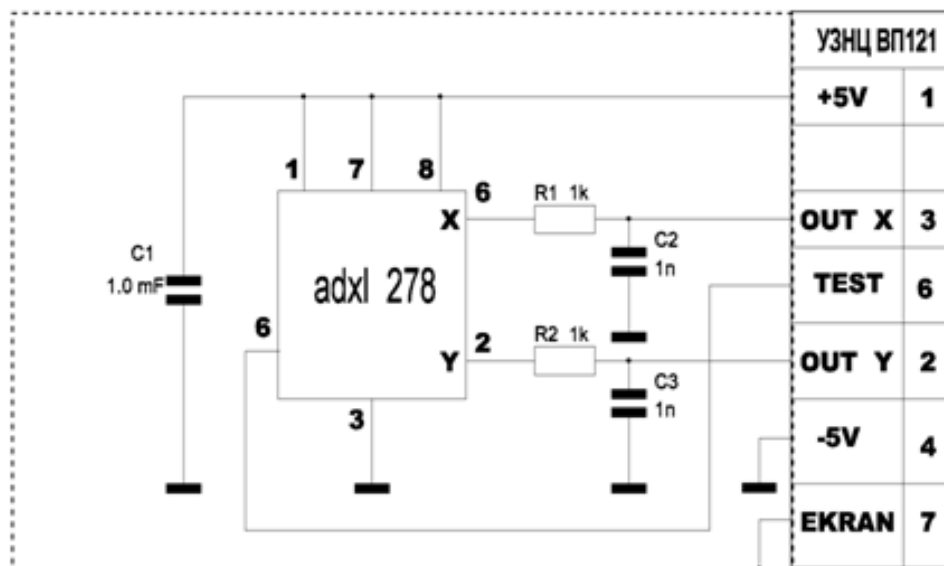


Рис. 2.17. Принципова схема акселерометра

Технічні вимоги до акселерометрів, які застосовуються для ходових динаміко-міцнісних випробувань, наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 Загальні технічні вимоги до акселерометрів

№	Зона встановлення акселерометра		Рекомендований діапазон, м/с <sup>2</sup>	Робочий діапазон частот (чутливість мікросхем), Гц	Додаткові вимоги
1	Буксовий вузол		+/- 500	0...100 (0...250)	а) загальна передача частот у діапазоні 0,4 Гц ±0,5 дБ; б) нелінійність та гістерезис: - ≤ 0,3% вимірювального діапазону; в) чутливість пересічних осей: ≤ 0,05 (м/с) <sup>2</sup> ; г) температурний ефект: - за ≤ 3% вимірювального діапазону; - за чутливості ≤ 5,10 % - 4,0/0С.
2	Візок	з одноступеневим ресорним підвішуванням	+/- 100	0...100 (0...250)	
		з двома і більше ступенями підвішування	+/- 50	0...40 (0...100)	
3	Кузов		+/- 15	0...20 (0...50)	

## 2.7 Програмне забезпечення системи збору даних

Важливою складовою розробленої системи є програмне забезпечення, що забезпечує збір, обробку, зберігання та відображення експериментальних сигналів, зокрема переміщень, віброприскорень і механічних деформацій. Додатково для просторово-часової прив'язки даних використовуються сигнали від GPS-приймача, який надає координати та сигнали точного часу.

Програмна частина системи реалізована на основі платформи CompactRIO від National Instruments, до складу якої входять контролер NI cRIO-9025, шасі NI cRIO-9118 з можливістю підключення до 8 модулів, а також модулі введення-виведення (наприклад, NI 9205, NI 9237, GPS SEA cRIO). Завдяки наявності вбудованої програмованої логічної інтегральної схеми (FPGA), система здатна здійснювати обробку даних безпосередньо на апаратному рівні з високою точністю та мінімальною затримкою [20].

Програмне забезпечення має трирівневу архітектуру:

- FPGA VI – виконує низькорівневу взаємодію з обладнанням, реалізує обробку сигналів, синхронізацію, тактування, а також буферизацію даних;
- RT VI – функціонує на контролері реального часу та виконує обробку даних, збереження логів, передавання у вищі рівні;
- Host VI – працює на персональному комп'ютері, забезпечує інтерфейс користувача, архівацію даних і взаємодію із зовнішніми системами.

Для наочного представлення структури функціонування вимірювальної системи на рисунку 2.18 наведено блок-схему системи збору та реєстрації вимірюваних параметрів.

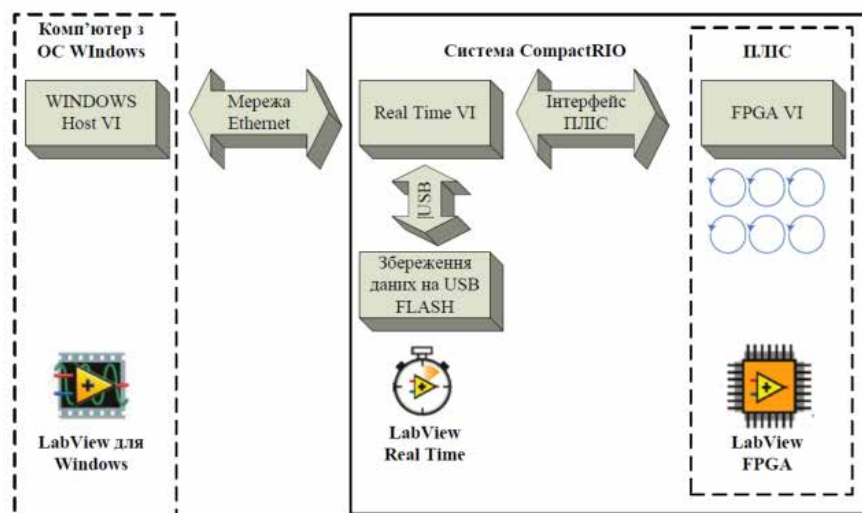


Рис. 2.18. Блок-схема системи збору та реєстрації вимірюваних параметрів

Для розробки програмного забезпечення використано середовище LabVIEW з модулем FPGA, що дозволяє створювати функціональні віртуальні прилади без необхідності програмування мовою VHDL. Розроблений проект транслюється у VHDL-код, компілюється через Xilinx ISE та перетворюється у bitstream-файл, який завантажується у ПЛІС [15].

Особливістю FPGA-архітектури є її незалежність від контролера – у разі його відмови, програма продовжує функціонувати завдяки апаратному буферу та локальній логіці обробки сигналів.

У системі реалізовано два основних цикли:

- Критичний цикл – виконує обробку даних у режимі реального часу;
- Некритичний цикл – відповідає за передачу інформації до інтерфейсу користувача та зовнішніх пристроїв.

Для передачі даних між FPGA та контролером використовується буфер DMA FIFO, що складається з двох частин – у ПЛІС та оперативній пам'яті контролера. Така структура забезпечує швидке передавання даних з мінімальним навантаженням на центральний процесор.

FPGA VI виконує ініціалізацію, опитування модулів введення-виведення та завантаження даних у буфер FIFO. Для забезпечення детермінованої логіки використовується структура Flat Sequence Structure. Контролер реального часу

періодично опитує цей буфер, обробляє дані відповідно до типу модуля та передає їх на вищі рівні для збереження і візуалізації.

Завдяки багаторівневій структурі програмного забезпечення, наявності апаратної буферизації, а також архітектурі реального часу, система забезпечує надійний і точний збір експериментальних даних у складних умовах експлуатації залізничного транспорту [9].

На рівні користувацького інтерфейсу працює основна програма Host.vi, яка забезпечує керування процесом збору та запису даних. Робота програми починається з ініціалізації службових змінних і конфігураційних параметрів. Після цього здійснюється завантаження FPGA-бітфайлу, який визначає логіку обробки сигналів на апаратному рівні. Наступним етапом є ініціалізація GPS-модуля та конфігурування модулів вводу (NI 9205, NI 9237), після чого зчитується конфігураційний файл, що містить параметри роботи.

Після запуску основного циклу програма починає зчитування даних у реальному часі, формує осцилограми, забезпечує можливість налаштування каналів користувачем та виконує запис у бінарні файли при активації режиму RECORD. Програма автоматично контролює обсяг файлу та виконує передачу завершених файлів на USB-носій. Для безперервного запису автоматично створюються нові файли.

Завершення роботи ініціюється вручну – при вимкненні запису, програма переходить у стан очікування, а всі тимчасові змінні скидаються.

Крім того, у процесі роботи відбувається постійний моніторинг GPS-сигналу, зокрема координат і швидкості об'єкта, що дає змогу виконувати просторово-часову прив'язку зібраної інформації.

Побудова ефективної системи збору експериментальних даних для діагностики несучих конструкцій рухомого складу ґрунтується на чітко визначеній архітектурі апаратних і програмних засобів. Первинні перетворювачі – тензодатчики та акселерометри – забезпечують високоточне вимірювання

деформацій і віброприскорень, що виникають під час руху, дозволяючи фіксувати динамічні процеси у реальному часі.

Ключову роль у функціонуванні системи відіграє промислова платформа CompactRIO, яка забезпечує обробку сигналів, синхронізацію з просторово-часовими координатами та надійне збереження даних. Програмне забезпечення, створене в середовищі LabVIEW, дозволяє реалізувати автоматизовану логіку керування, візуалізацію результатів і гнучке налаштування параметрів, що підвищує адаптивність системи до умов проведення випробувань.

Ретельно продумана структура системи з інтеграцією апаратної частини, алгоритмів обробки та засобів прив'язки до GPS-даних забезпечує високу достовірність вимірювань. Це створює надійну основу для точної оцінки технічного стану конструкцій, розрахунку залишкового ресурсу та прийняття обґрунтованих рішень щодо подальшої експлуатації рухомого складу. Таким чином, запропоноване інженерне рішення сприяє підвищенню безпеки та ефективності залізничних перевезень.

## **3 СИСТЕМА ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ТА ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ**

### **3.1 Призначення програмного модуля**

Програмний модуль, розроблений у середовищі LabVIEW, призначений для реалізації автоматизованої обробки експериментальних даних, зібраних з тензOMETричних датчиків і акселерометрів у ході випробувань несучих конструкцій рухомого складу залізничного транспорту. Основна функція програми полягає у зчитуванні бінарних файлів, які містять необроблені вимірювальні сигнали, їхньому перетворенні у зручний для аналізу числовий формат.

Програма є ключовим елементом у загальній архітектурі системи збору та діагностики технічного стану об'єктів. Вона забезпечує зв'язок між фізичним рівнем вимірювання (датчиками та модулями збору даних) і аналітичним етапом, де здійснюється обробка та інтерпретація результатів. Саме через цей програмний модуль здійснюється перехід від необробленого цифрового потоку (у вигляді .bin-файлів) до інженерно значущої інформації: рівнів віброприскорення, величин деформацій, координат GPS та інших показників.

Програмний модуль забезпечує підготовку результатів для подальшої обробки в математичних середовищах або для візуалізації у вигляді графіків і таблиць. Його використання підвищує ефективність і точність аналізу результатів експериментів, а також мінімізує вплив людського фактора на процес перетворення даних.

У процесі експлуатації попередньої версії програмного забезпечення було виявлено ряд обмежень, які знижували його ефективність у контексті масштабних вимірювальних кампаній та тривалих випробувань. Для подальшого вдосконалення функціональності нового рішення необхідно здійснити детальний аналіз архітектури, логіки роботи та можливостей попередньої реалізації.

## 3.2 Огляд існуючої версії

З метою оцінки ефективності нового програмного модуля доцільно проаналізувати функціональні можливості його попередньої версії. У даному підрозділі наведено опис архітектури, інтерфейсу користувача, алгоритмічної структури та загальних принципів роботи попередньої реалізації програми, яка забезпечувала первинну обробку експериментальних даних. Такий аналіз дозволяє обґрунтувати причини внесення подальших змін і вдосконалень у новій версії програмного забезпечення.

### 3.2.1. Інтерфейс програми

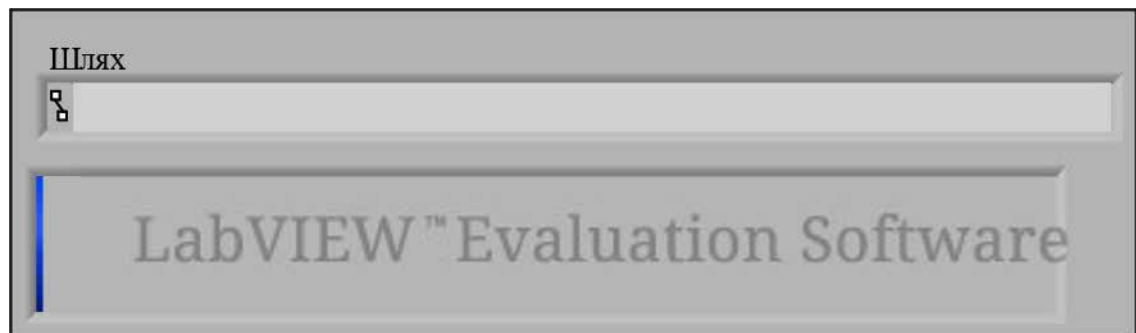


Рис. 3.1. Інтерфейс програми

Інтерфейс програми вирізняється своєю простотою, що зумовлено концентрацією зусиль на основній функціональності програми, а не на його зовнішньому вигляді.

Всього в інтерфейсі 2 елементи:

- Елемент «Шлях» – показує розташування файлів, в якому зберігаються перетворені дані.
- Елемент «Індикатор» – показує ступінь готовності виконання програми.



На наступному етапі кожному значенню GPS присвоюється відповідний індекс, а також додається службовий рядок, необхідний для коректної роботи програми розшифрування даних маршруту. Після цього сформований масив рядків із GPS-даними записується до окремого текстового файлу.

Завершується робота програми коректним закриттям файлу, до якого було здійснено запис.

### **3.3 Аналіз недоліків попередньої версії програмного забезпечення**

Попередня версія програмного забезпечення, що застосовувалась для обробки даних з тензометричних, акселерометричних і GPS-датчиків, мала низку функціональних обмежень, які ускладнювали використання ПЗ у повноцінних експериментальних умовах. У ході практичного застосування було виявлено низку ключових недоліків, що визначили напрямки подальшої модернізації.

Одним із найбільш суттєвих обмежень було те, що користувач не мав змоги задати конкретний діапазон швидкості, в межах якого слід виконувати обробку. Це означало, що у розрахунок включалися як фази руху, так і періоди зупинок або нестабільних показників, що призводило до спотворення аналітичних висновків та зниження достовірності результатів.

Хоча базова версія програми підтримувала обробку кількох вхідних файлів, реалізація цього механізму виявилася незручною. Всі результати обробки автоматично зберігались у ту саму директорію, де знаходилися початкові бінарні файли. Це спричиняло плутанину у структурі даних, ускладнювало навігацію та могло призвести до випадкового перезапису чи втрати важливої інформації.

GPS-координати оброблялись частково: у разі обробки декількох бінарних файлів, результуючий файл з координатами містив дані лише з останнього з них. Відсутність повного охоплення GPS-інформації в усіх сегментах знижувала корисність просторової прив'язки даних до експериментального маршруту.

Іменування оброблених файлів відбувалось автоматично на основі порядкового номера, дати, часу та частково типу сигналу. Наприклад, файл міг мати назву виду 1\_12\_6\_2024\_16\_33\_21\_a\_f\_400. Такий формат не забезпечував достатньої інформативності та не давав змоги швидко визначити зміст файлу без його відкриття. Крім того, при обробці серійних експериментів виникали труднощі з упорядкуванням та сортуванням результатів.

Програма не дозволяла розбивати результати на окремі фрагменти за заданими параметрами, зокрема за швидкістю чи тривалістю. Всі дані оброблялися як єдиний блок, що ускладнювало подальший аналіз, порівняння окремих ділянок руху та статистичну обробку. Така структура була незручною при роботі з великими об'ємами інформації.

Результати обробки зберігалися у вигляді текстових файлів формату .txt, що не підтримує структурованість і погано адаптований для подальшої обробки у табличних або аналітичних програмних середовищах. Відсутність підтримки форматів на зразок .csv створювала додаткові труднощі при експорті або інтеграції результатів у системи статистичного аналізу.

Інтерфейс попередньої версії був мінімалістичним, містив лише декілька елементів керування і не забезпечував можливостей візуального контролю за ходом обробки. Відсутність графіків, індикаторів, полів параметрів та інтерактивного зворотного зв'язку обмежувала гнучкість користувача та призводила до необхідності численних перезапусків програми з новими налаштуваннями.

### **3.4 Нововведення**

Проведений аналіз недоліків у попередньому підрозділі виявив низку критичних аспектів, що обмежували функціональність та ефективність обробки даних. Це стало підґрунтям для комплексної модернізації програмного забезпечення. Нижче описано нові функції, які були реалізовані з метою усунення цих обмежень і підвищення якості аналітичного процесу.

Удосконалення програмного забезпечення було спрямоване на вирішення ряду практичних проблем, які були виявлені під час експлуатації базової версії програми і були описані в минулому підрозділі.

Однією з найбільш очікуваних функцій стало вибіркове опрацювання даних за швидкісним діапазоном. Тепер користувач може вказати мінімальну та максимальну швидкість (поля "ВІД" і "ДО"), у межах якої здійснюється аналіз. Це дозволяє виключити з розрахунків нерелевантні ділянки – фази розгону, зупинки, або нестабільного руху – й отримати більш достовірні результати.

Введено механізм фрагментації результатів: результати обробки поділяються на окремі блоки з фіксованою тривалістю, що задається параметром "СЕК". Кожен блок обробляється та зберігається окремо, що значно полегшує статистичний аналіз, порівняння ділянок та підготовку звітів.

Щоб уникнути хаосу у файловій структурі, реалізовано гнучку систему іменування результатів. Кожен файл автоматично отримує назву, що містить: унікальний префікс, що вказує на роботу, що була проведена, діапазон швидкостей, тип сигналу, частоту вибірки та номер фрагмента. Це полегшує ідентифікацію та сортування результатів навіть при масовій обробці.

Значно покращено підтримку GPS-даних. Координати зчитуються з кожного бінарного файлу, зберігаються окремо для кожного фрагмента й додаються до відповідних .csv-файлів. Крім того, геодані відображаються безпосередньо на фронтальній панелі, що підвищує контроль над просторовими характеристиками експерименту.

Інтерфейс програми було перебудовано з нуля. Замість кількох елементів управління реалізовано понад два десятки – графіки, поля введення, перемикачі, індикатори та текстові повідомлення. З'явилася можливість обирати тип сигналу (тензометричний або акселерометричний) за допомогою тумблера "Т / А", керувати параметрами аналізу, відслідковувати хід обробки, а також переглядати результати одразу на екрані.

Зберігання результатів переведено з формату .txt на структурований формат .csv, що значно полегшило подальшу роботу з результатами в Excel, MATLAB чи інших аналітичних середовищах.

Таким чином, розроблені нововведення усувають ключові обмеження попередньої реалізації, забезпечуючи точніший, структурованіший та зручніший аналіз експериментальних даних. Вони стали відповіддю на практичні запити користувачів і суттєво підвищили прикладну цінність системи.

### 3.5 Огляд покращеної програми

Впроваджені нововведення суттєво змінили як зовнішній вигляд, так і функціональні можливості програмного модуля. Для повного уявлення про масштаб і характер змін у цьому підрозділі наведено опис оновленого інтерфейсу та основних компонентів програми.

#### 3.5.1. Опис фронтальної панелі програми

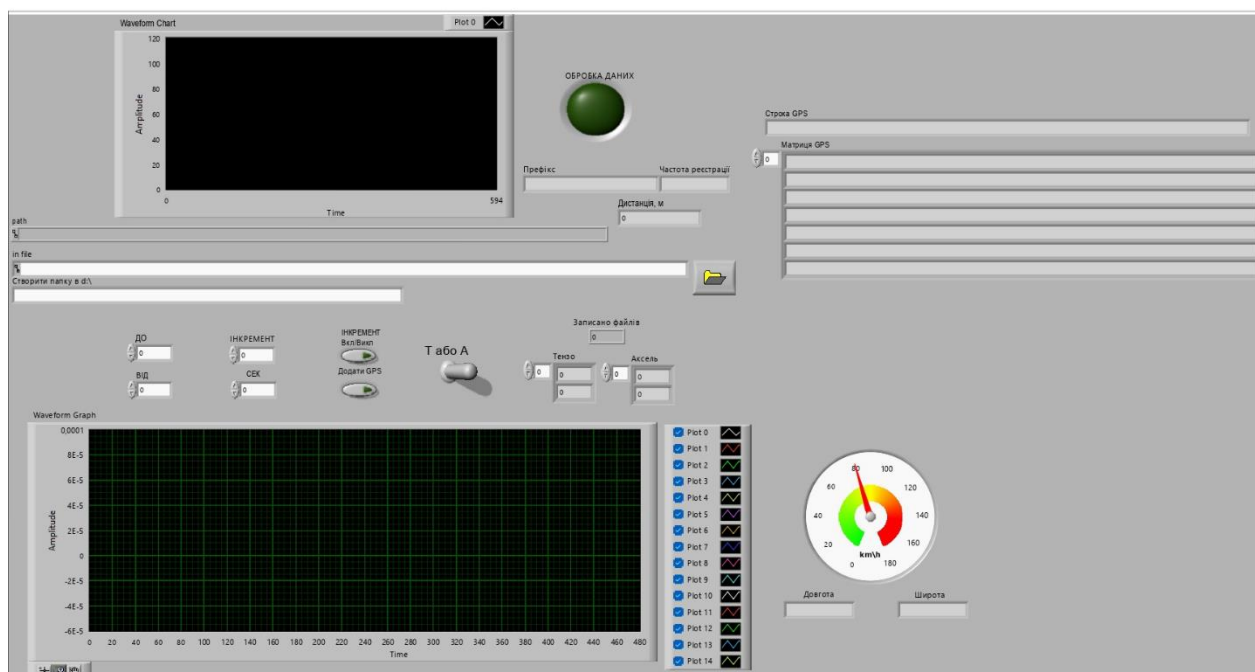


Рис. 3.3. Фронтальна панель оновленої програми для обробки експериментальних даних

Опис складових:

- Waveform Chart – графік, що відображає зміну швидкості або параметра сигналу в часі.
- Обробка даних – сигнальна лампа, яка світиться зеленим, коли обробка даних проходить успішно.
- Path – текстовий індикатор, який показує шлях до створеного (обробленого) файлу.
- In File – елемент керування, що дозволяє обрати вхідний бінарний файл для обробки.
- Створити папку в D: – поле, куди користувач вводить назву нової папки для збереження результатів.
- ВІД/ДО – поля для задання діапазону швидкостей, в межах якого буде проводитися обробка.
- Інкремент – числове поле, яке визначає крок зміни швидкості у вибраному діапазоні.
- СЕК – поле, що визначає тривалість одного фрагмента (в секундах), який буде записано у окремий файл.
- ІНКРЕМЕНТ вкл/викл – перемикач, який активує або деактивує режим інкрементної обробки.
- Додати GPS – кнопка, яка вмикає/вимикає додавання GPS-даних до створених файлів.
- Т / А – тумблер для вибору типу даних: "Т" – тензометрія, "А" – акселерометр (віброприскорення).
- Записано файлів – числовий індикатор, що відображає кількість успішно збережених файлів після обробки.
- Тензо / Аксель – числові індикатори, що показують кількість каналів тензометрії та прискорення відповідно.
- Префікс – поле, що відображає поточний префікс, який буде використано для імені вихідних файлів.

- Частота реєстрації – індикатор частоти, з якою дані були записані під час експерименту.
- Дистанція, м – числове поле, що показує пройдену відстань на момент обробки.
- Строка GPS – індикатор у вигляді текстового рядка, який містить GPS-дані у спеціалізованому форматі (наприклад, NMEA).
- Матриця GPS – елемент масиву, в якому відображаються всі зчитані GPS-рядки.
- Waveform Graph – графік, що показує сигнал із тензометричних чи акселерометричних каналів.
- Кноп – круговий регулятор, який вказує або задає швидкість у км/год.
- Довгота / Широта – два окремі числові індикатори, які відображають відповідні координати поточного місця розташування об'єкта.

### 3.5.2. Блок-схема головної програми.

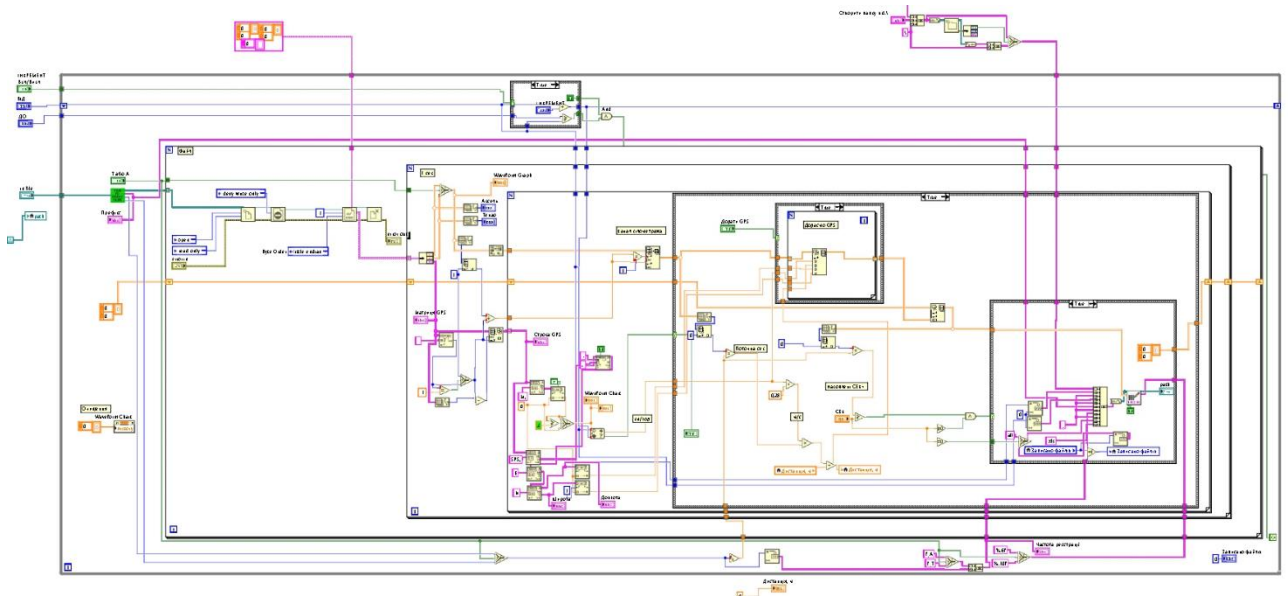


Рис. 3.4. Блок-схема основної програми

У структурі блок-схеми основної програми використано низку стандартних елементів середовища LabVIEW, які реалізують ключові функції зчитування, обробки та збереження даних. Нижче наведено перелік основних

блоків із поясненням їх призначення (згрупованих за функціональністю, але в одному рівному списку):

- Open/Create/Replace File.vi – відкриває існуючий файл, створює новий або замінює файл за вказаним шляхом; використовується на етапі підготовки до запису результатів.
- Close File Function – закриває відкритий файл після завершення запису, звільняючи ресурси системи.
- Create Folder Function – створює нову папку, якщо така ще не існує, для збереження оброблених даних.
- Read from Binary File Function – зчитує дані з .bin-файлів у форматі, придатному для обробки в LabVIEW.
- Write Delimited Spreadsheet.vi – записує числові дані у файл із роздільниками (CSV), зручно для подальшого аналізу в Excel.
- String to Path Function – перетворює текстовий рядок (назва папки, шлях до файлу) у спеціальний формат шляху, зручний для файлових операцій.
- While Loop / For Loop – реалізують циклічну обробку даних: While працює до настання умови, For – фіксовану кількість ітерацій (наприклад, розбивка на інтервали часу).
- Case Structure – реалізує умовну логіку (вибір між режимами: тензометрія/акселерометрія, GPS увімкнено/вимкнено тощо).
- Deny Access Function – контролює доступ до елементів, запобігаючи конфліктам при записі/читанні у спільному середовищі.
- Build Array Function – формує єдиний масив із кількох входів, зокрема, об'єднує дані з різних каналів.
- Insert Into Array Function – вставляє дані або GPS-рядки в обрані місця основного масиву.
- Index Array Function – вибирає певний елемент або канал із багатовимірного масиву (наприклад, окрему вісь акселерометра).
- Array Subset Function – витягує підмножину масиву (наприклад, фрагмент тривалості 15 секунд).

- Transpose 2D Array Function – змінює структуру масиву: стовпці на рядки, що зручно для CSV-запису.
- Array Size Function – визначає кількість елементів у масиві, використовується для циклічного розбиття даних.
- Delete From Array Function – видаляє зайві або оброблені елементи з масиву.
- Search 1D Array VI – виконує пошук значення в одновимірному масиві, наприклад, при перевірці імен файлів.
- Concatenate Strings Function – об'єднує текстові фрагменти для побудови імен файлів, префіксів, форматів.
- Match Pattern Function / Match Regular Expression Function – здійснюють пошук шаблонів у тексті: наприклад, для виявлення префіксів типу "1234", частот, тощо.
- Search and Replace String Function – замінює частини рядків (наприклад, формат файлу .bin → .csv).
- Fract/Exp String To Number Function – перетворює рядки у числа, включаючи дробові або експоненціальні значення.
- Waveform Graph / Chart – відображають графіки сигналів у часовій області, надаючи можливість візуалізації даних у реальному часі або після зчитування.
- Boolean Controls/Indicators – кнопки, перемикачі, індикатори: використовуються для запуску, увімкнення GPS, режимів обробки, індикації успішного завершення.
- Numeric Controls/Indicators – числові поля для введення параметрів (діапазон, крок, час) та виводу інформації (частота, кількість файлів, координати).

Ці блоки, у своїй взаємодії, формують гнучку систему зчитування та обробки даних. Згруповане, але лінійне представлення структури дає чітке уявлення про логіку роботи програми, її внутрішню побудову та функціональне призначення кожного елемента.

### *3.5.3. Алгоритм роботи програми*

Алгоритм роботи основного програмного модуля реалізований як послідовність етапів зчитування, аналізу, фільтрації та збереження даних, що забезпечує зручну взаємодію користувача з експериментальними файлами та точну обробку сигналів.

На початковому етапі користувач за допомогою елемента керування In File обирає .bin-файл, що містить експериментальні дані, зібрані з тензометричних або акселерометричних каналів. Додатково задається назва папки для збереження результатів, а також тип даних, які потрібно отримати, перемикаючи відповідний тумблер.

Далі користувач задає параметри обробки: діапазон швидкостей через поля ВІД і ДО, крок зміни параметра (ІНКРЕМЕНТ), тривалість фрагмента в секундах (СЕК), а також вмикає або вимикає додаткові опції, такі як додавання GPS-даних чи використання інкремента.

Програма виконує автоматичний аналіз назви файлу. З використанням регулярних виразів і текстових функцій з імені витягуються службові параметри, зокрема префікс (ідентифікатор випробування), частоти каналів та інші допоміжні характеристики.

Залежно від положення тумблера Т / А, визначається тип оброблюваних даних – тензометрія або акселерометрія. У разі активації відповідної опції, до кожного сегмента додається окремий стовпець із GPS-інформацією.

Бінарний файл зчитується по блоках. Програма поділяє сигнал на окремі фрагменти згідно з заданими параметрами. Наприклад, кожен сегмент може містити по 15 секунд даних або відповідати певному інтервалу швидкості.

Для кожного сформованого сегмента створюється унікальне ім'я файлу, яке базується на префіксі, частоті, типі сигналу та номері фрагмента, що забезпечує однозначну ідентифікацію кожного результату.

Оброблені фрагменти зберігаються у форматі .csv у вказаній користувачем папці. Такий формат зручний для перегляду, графічного аналізу та подальшої обробки в середовищах, як-от Microsoft Excel або MATLAB.

Під час зчитування даних програма відображає відповідні графіки сигналів (тензометричних або акселерометричних) у полі Waveform Graph, що дозволяє візуально контролювати якість сигналу. Крім того, зміну швидкості можна спостерігати або на графіку Waveform Chart, або за допомогою графічного спідометра.

Після завершення обробки в полі Записано файлів відображається загальна кількість сформованих та збережених файлів, що дозволяє користувачу оперативно оцінити результат роботи програми.

Цей алгоритм забезпечує автоматизовану обробку великої кількості даних із можливістю гнучкого налаштування ключових параметрів та наочної візуалізації результатів у реальному часі або постфактум.

#### 3.5.4. Алгоритм роботи допоміжної програми FILE\_to\_array.vi

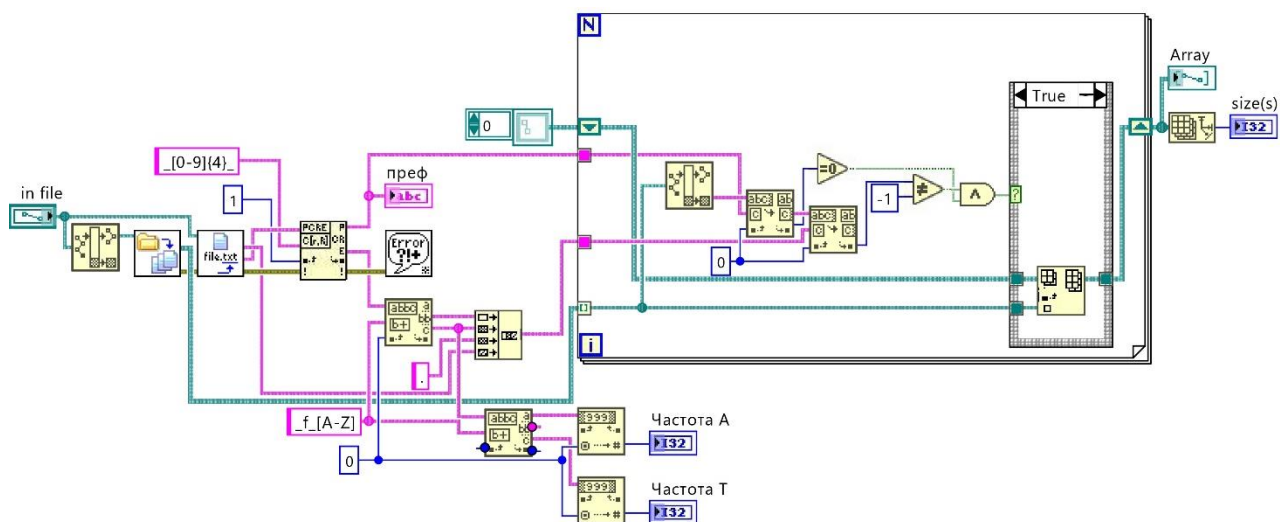


Рис. 3.5. Блок-схема допоміжної програми FILE\_to\_array.vi

Допоміжна програма FILE\_to\_array.vi виконує попередню фільтрацію та підготовку списку бінарних файлів для подальшої обробки в основному програмному модулі. Алгоритм її роботи реалізовано у вигляді послідовної обробки шляхів, імен файлів та структурованого пошуку релевантних записів.

На першому етапі з повного шляху до вибраного файлу за допомогою блоку Strip Path Function видаляється сама назва файлу, залишаючи лише шлях до теки, в якій він розміщений.

Далі за допомогою Recursive File List VI формується масив усіх файлів, які містяться в цій теці. Отриманий список буде використано для відбору файлів відповідного формату та структури.

Із вхідного імені файлу програма виокремлює його розширення за допомогою блоку Get File Extension VI. Це дозволяє надалі здійснювати фільтрацію за типом файлів, наприклад .bin.

Після цього з імені файлу виділяється префікс, що передує цифровому маркеру. Для цього застосовується блок Match Regular Expression Function з шаблоном `_ [0-9]{4} _`, який відповідає чотирьом цифрам, оточеним символами підкреслення. Отриманий фрагмент до цієї частини вважається префіксом і надалі слугує критерієм фільтрації.

Наступним кроком здійснюється аналіз третьої частини імені файлу – тієї, що розміщена після префікса. Два послідовні блоки Match Pattern Function здійснюють пошук шаблонів `f_[A-Z]`, які вказують на частоти вимірювання каналів тензометрії або акселерометрії. Частоти перетворюються на числові значення і зберігаються для подальшого використання.

Отримані частоти та розширення файлу поєднуються у рядок, який утворює характерне завершення імені. Це дозволяє програмі точно ідентифікувати потрібні файли в межах зібраного списку.

Далі, з використанням Search/Split String Function, у загальному масиві знайдених файлів відбувається пошук тих, що одночасно містять заданий префікс і сформоване закінчення. У разі збігу файл вважається відповідним і додається до підсумкового списку.

Завершальним кроком є формування двовимірного масиву з релевантних файлів. За допомогою Insert Into Array Function усі знайдені файли послідовно додаються до масиву, який у підсумку стає структурованою таблицею для основної програми.

### ***3.5.5. Інструкція для користувача***

Нижче подано покрокову інструкцію щодо використання основної програми в середовищі LabVIEW для обробки бінарних файлів експериментальних даних:

1. Відкрити головний VI-файл Converter2.vi у середовищі LabVIEW.
2. У полі In File натиснути на кнопку та вибрати бінарний .bin-файл, який потрібно обробити.
3. У поле "Створити папку в D:" ввести назву папки, у якій будуть збережені результати обробки. Програма створить її автоматично, якщо такої ще не існує.
4. Налаштування параметрів обробки:
  - Вказати значення ВІД та ДО – діапазон швидкостей або часу, в межах якого здійснюватиметься обробка.
  - Встановити Інкремент – крок збільшення швидкості (якщо застосовується).
  - Задати тривалість одного фрагмента у полі СЕК (наприклад, 15 с – кожен файл міститиме 15 секунд даних).
5. За допомогою тумблера Т / А вибрати, які саме дані потрібно обробляти: тензометричні чи акселерометричні.
6. Увімкнути додаткові функції (за потреби):
  - ІНКРЕМЕНТ вкл/викл – активує або вимикає режим обробки з інтервальним приростом швидкості.
  - Додати GPS – додасть координати до кожного сегмента оброблених даних.
7. Уточнити значення індикаторів Частота реєстрації, Тензо / Аксель (канали), Дистанція, Префікс та path.
8. Натиснути кнопку "Run" у LabVIEW. Обробка розпочнеться автоматично.
9. Контроль виконання програми можна спостерігати: .

- У ході обробки на графіку Waveform Graph відображатиметься сигнал, якщо в бінарному файлі є інформація GPS, то графік змін швидкості можна побачити на Waveform Chart.
- Індикатор Обробка даних загориться зеленим при успішній роботі.
- У полі Записано файлів відображатиметься кількість створених .csv-файлів.

**10.** У вказаній папці з'являться результати обробки – по одному файлу на кожен сегмент даних згідно з параметрами.

Ця інструкція дозволяє користувачеві самостійно керувати процесом обробки даних, швидко адаптувати параметри та перевіряти результат без потреби змінювати внутрішню логіку програми.

Підсистема обробки експериментальних даних, створена на базі середовища LabVIEW, відіграє ключову роль у перетворенні вихідних бінарних сигналів у формат, придатний для аналізу, візуалізації та довготривалого зберігання. Її структура та функціональність розроблені з урахуванням вимог до масштабованості, точності та зручності використання в реальних умовах випробувань.

Попередня версія програмного модуля виявила низку обмежень — тривалий час обробки, відсутність інтеграції з GPS-даними, низьку гнучкість налаштувань та обмежений функціонал інтерфейсу. Ці недоліки стали поштовхом для всебічної модернізації системи. У результаті реалізовано підтримку вибіркової обробки за діапазоном швидкості, фрагментацію сигналів за часовими відрізками, зручне структурування результатів у форматі .csv, логічну систему іменування файлів та розширений інтерфейс із можливістю тонкого налаштування.

Оновлене програмне забезпечення здатне забезпечити повноцінну автоматизовану обробку даних, інтеграцію з GPS-приймачами та оперативну візуалізацію результатів, що значно спрощує проведення діагностичних досліджень безпосередньо на об'єкті. Такий підхід підвищує ефективність збору

інформації та створює основу для прийняття обґрунтованих технічних рішень щодо поточного стану залізничних конструкцій.

## 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 4.1 Мета впровадження

Метою впровадження удосконаленого програмного забезпечення є підвищення ефективності технічної діагностики конструкцій рухомого складу шляхом автоматизованої обробки експериментальних даних з тензодатчиків, акселерометрів і GPS-приймача. Це забезпечує достовірність результатів вимірювань, скорочує витрати часу на обробку та знижує імовірність помилок, що сприяє продовженню безпечного строку експлуатації залізничної техніки.

### 4.2 Аналіз існуючого рішення

Попередня версія програмного забезпечення, що застосовувалась для обробки бінарних файлів, мала низку суттєвих недоліків:

- тривалий час обробки файлів з одного дослідження (до 15 годин),
- незручний інтерфейс користувача,
- висока ймовірність помилок через ручну взаємодію з даними,
- відсутність супровідних матеріалів для навчання персоналу.

### 4.3 Розрахунок витрат при використанні попередньої версії програми

Припустимо, що щомісяця виконується 4 випробувань, кожне з яких потребує обробки бінарних даних протягом 15 годин.

Загальний час на місяць:

$$15 \text{ год} / \text{випробування} \cdot 4 = 60 \text{ год}$$

Місячна заробітна плата інженера: 20 000 грн

Вартість однієї години роботи:

$$\frac{20\,000 \text{ грн}}{160 \text{ год}} = 125 \text{ грн/год}$$

Основні витрати на обробку:

$$60 \text{ год} \cdot 125 \text{ грн/год} = 7\,500 \text{ грн}$$

Помилки в обробці (5%):

$$0,05 \cdot 7\,500 = 375 \text{ грн}$$

Загальні витрати на місяць:

$$7\,500 + 375 = 7\,875 \text{ грн}$$

#### **4.4 Витрати на розробку та навчання персоналу**

Тривалість розробки: 3 місяці

Повна зайнятість:

$$3 \text{ міс} \cdot 160 \text{ год/міс} = 480 \text{ год}$$

Вартість розробки:

$$480 \text{ год} \cdot 125 \text{ грн} = 60\,000 \text{ грн}$$

Навчання для персоналу відбуватиметься 2 дня. Навчали б 2 співробітників.

Загальний час навчання:

$$2 \cdot 2 \cdot 8 = 32 \text{ год}$$

Вартість навчання:

$$32 \text{ год} \cdot 125 \text{ грн} = 4\,000 \text{ грн}$$

Сумарні витрати на розробку і навчання:

$$60\,000 + 4\,000 = 64\,000 \text{ грн}$$

#### **4.5 Витрати при використанні удосконаленої програми**

Удосконалена програма дозволяє обробляти дані одного випробування лише за 8 годин.

Загальний час на місяць:

$$8 \text{ год} / \text{випробування} \cdot 4 = 32 \text{ год}$$

Основні витрати:

$$32 \text{ год} \cdot 125 \text{ грн} / \text{год} = 4\,000 \text{ грн}$$

Помилки знижено до 1%:

$$0,01 \cdot 4\,000 = 40 \text{ грн}$$

Загальні витрати на місяць:

$$4\,000 + 40 = 4\,040 \text{ грн}$$

#### **4.6 Економічний ефект від впровадження**

Місячна економія:

$$7\,875 - 4\,040 = 3\,835 \text{ грн}$$

Річна економія:

$$3\,835 \cdot 12 = 46\,020 \text{ грн}$$

Термін окупності:

$$\frac{64\,000}{3\,835} \approx 17 \text{ міс} \approx 1 \text{ рік і } 5 \text{ місяців}$$

У результаті проведеного техніко-економічного обґрунтування встановлено доцільність впровадження удосконаленої програми для обробки експериментальних даних. Попередня версія програмного забезпечення вимагала близько 15 годин на обробку даних одного випробування, що при 4 випробуваннях на місяць призводило до 60 годин витрат робочого часу і відповідних фінансових витрат на рівні 7 875 грн/міс.

Удосконалене програмне рішення дозволяє суттєво скоротити трудомісткість процесу. Час обробки одного випробування зменшено до 8 годин, а місячні витрати знижено до 4 040 грн, включаючи імовірність помилок, яка зменшена з 5% до 1%. Місячна економія становить 3 835 грн, а річна – 46 020 грн.

Загальні витрати на розробку нового модуля та навчання персоналу склали 64 000 грн. Термін окупності інвестицій становить приблизно 17 місяців, що відповідає 1 року і 5 місяцям.

Таким чином, удосконалена програма забезпечує економічну ефективність, зниження витрат, скорочення часу обробки та мінімізацію впливу людського фактора. Вона відповідає сучасним вимогам до автоматизованих систем аналізу технічного стану об'єктів інфраструктури залізничного транспорту та є доцільною для впровадження в практичну діяльність.

## ВИСНОВКИ

У межах цієї кваліфікаційної роботи вирішено актуальну інженерно-прикладну задачу – удосконалення програмного забезпечення для обробки експериментальних даних з тензометричних датчиків, акселерометрів і GPS-приймача, встановлених на несучих конструкціях рухомого складу залізничного транспорту. Розроблений програмний модуль автоматизує процес перетворення вимірювальної інформації з бінарного формату у структурований числовий формат, придатний для подальшого аналізу, візуалізації та архівування.

У процесі виконання проекту проаналізовано недоліки попередньої версії ПЗ, серед яких: надмірна тривалість обробки одного випробування (до 15 годин), обмеженість налаштувань, ускладнена ідентифікація файлів, відсутність повної інтеграції GPS-даних і недостатньо інформативний інтерфейс. Такі обмеження знижували ефективність застосування програми у великих вимірювальних кампаніях та ускладнювали прийняття технічних рішень.

Удосконалена система, реалізована в середовищі LabVIEW, розроблена з урахуванням експлуатаційних вимог і практичного досвіду випробувань. Передбачено вибірккову обробку даних за діапазонами швидкості, фрагментацію сигналів за часовими відрізками, автоматичне формування імен файлів, підтримку формату .csv, візуалізацію результатів та розширене керування параметрами через інтуїтивний інтерфейс.

Розрахунки засвідчили, що впровадження нової версії ПЗ дозволяє скоротити місячний обсяг часу на обробку з 60 до 32 годин, що знижує витрати з 7 875 грн до 4 040 грн. Крім того, зменшення частки помилок із 5% до 1% додатково мінімізує фінансові втрати. Загальна економія становить 46 020 грн на рік, а термін окупності інвестицій у розробку та навчання (64 000 грн) – не перевищує 1 року і 5 місяців, що підтверджує економічну ефективність реалізованого рішення.

З практичного погляду, реалізоване ПЗ значно підвищує ефективність діагностики технічного стану рухомого складу. Завдяки поєднанню сенсорних

даних та автоматизованої обробки з урахуванням просторово-часових координат, забезпечується можливість своєчасного виявлення дефектів, оцінки залишкового ресурсу конструкцій і планування обслуговування відповідно до реального стану об'єкта. Це сприяє підвищенню безпеки, зменшенню аварійності та подовженню ресурсу експлуатації.

Використання платформи CompactRIO забезпечило надійність і масштабованість, а застосування середовища LabVIEW – гнучкість у реалізації логіки обробки даних та зручність інтерфейсу. Отримані результати можуть бути впроваджені на підприємствах залізничного транспорту, у науково-дослідних організаціях, а також використовуватись у навчальному процесі для підготовки фахівців галузі.

Мета роботи – підвищення ефективності програмної системи обробки вимірювальної інформації – досягнута в повному обсязі. Запропонована система відповідає сучасним вимогам інженерної автоматизації та має потенціал до адаптації під інші типи сенсорів і об'єкти моніторингу.

Подальший розвиток системи доцільно спрямувати на впровадження механізмів зворотного зв'язку для оперативної корекції параметрів вимірювання у процесі збору даних. Перспективним напрямом є також удосконалення обробки GPS-даних із можливістю побудови профілю маршруту (включаючи підйоми, спуски, повороти), що підвищить точність інтерпретації поведінки конструкції в динаміці

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ГОСТ 4835:2008. Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм. Технічні умови (ГОСТ 4835-2006, IDT). На заміну ГОСТ 4835-80 ; чинний від 2008-04-22. Вид. офіц. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=109061](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=109061).
2. ДСТУ 7571:2014. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм. Чинний від 2014-12-02. Вид. офіц. Київ : МІНЕКОНОМПРОЗВИТКУ УКРАЇНИ, 2014. 37 с. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=63585](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63585).
3. Кваліфікаційна робота бакалаврів для студентів зі спеціальності 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології : навч. посіб. / уклад.: В. П. Лисенко та ін. Київ : Нац. ун-т біоресурсів і природокористування, 2023. 305 с.
4. Коваленко А. В., Шавкун В. М., Ліньков В. В. Діагностування рухомого складу електричного транспорту : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2019. 152 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/53781/1/2019%20печ.%2078Л%20Конспект%20лекцій%20по%20диагностике-2019.pdf>.
5. Ковбаса С. М., Димко С. С., Хітько М. А. Сучасні мікроелектромеханічні системи – акселерометри. Доповіді за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики. : Міжнар. наук. конф., м. Київ, 3 груд. 2012 р. Київ, 2012. URL: <https://epa.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/02/1712-SUCHASNI-MIKROELEKTROMEHANICHNI-SISTEMI.pdf> (дата звернення: 16.05.2025).
6. Кошель О. О. Вдосконалення системи контролю технічного стану несучих конструкцій рухомого складу шляхом застосування неруйнівних методів

- контролю / О. О. Кошель, Р. І. Титорчук, О. В. Ліщинський // Залізничний транспорт України. - 2018. - № 1. - С. 47-53. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2018\\_1\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2018_1_9).
7. Кузови та рами кузовів електровозів, електропоїздів. *Raillook*. URL: <https://raillook.com/materialy/transport/jezнодороjnyj/tyagoviy-podvijnoi-sostav/kuzovi-ta-rami-kuzoviv-elektrovoziv-elektropoyizdiv-docx/#:~:text=дверях,Конструкція%20рами%20обумовлена%20типом%20та> (дата звернення: 01.05.2025).
8. Леонець В. А. Вплив тривалої експлуатації залізничного рухомого складу на працездатність його несучих конструкцій / В. А. Леонець // Залізничний транспорт України. - 2017. - № 1. - С. 24-31. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2017\\_1\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_1_6).
9. Мостович А.В. Удосконалення методів і засобів експериментальної оцінки показників безпеки руху та плавності ходу залізничного рухомого складу. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів: захищена 30.05.2016, затверджено рішенням атестаційної колегії МОН України від 29.09.2016. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєверодонецьк, 2016. 276 с.
10. Нікуліца В. Мостові схеми. Електроніка та радіоелектронне конструювання. URL: <https://radio1ech.blogspot.com/2020/09/blog-post.html> (дата звернення: 06.05.2025).
11. Пояснювальна записка до технічного проекту. Акселерометр низькочастотний експериментальний типу UM. UM.ДНДЦ.001.01.000 ПЗ. – Київ. ДНДЦ УЗ, 2014. 11 с.
12. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК / І. І. Мартиненко та ін. Київ : Інтас, 2008. 330 с. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/17-proektuvannja-system-elektryfikaciyi-ta-avtomatyzaciyi-apk-1.pdf>.

13. Про затвердження Правил технічної експлуатації залізниць України : Наказ М-ва трансп. України від 20.12.1996 № 411 : станом на 1 січ. 2004 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97#Text> (дата звернення: 17.04.2025).
14. Прокопенко П. М. Підвищення безпеки руху вантажних вагонів зі зменшеною тарою шляхом удосконалення засобів і підходів проведення ходових випробувань : дис. ... д-ра філософії : 273. Київ, 2021. 297 с. URL: [https://files.duit.edu.ua/uploads/Сайт/3\\_НАУКА/СПЕЦ\\_РАДИ/duit/prokopenko-pavlo-mykolayovych/dissertation.pdf](https://files.duit.edu.ua/uploads/Сайт/3_НАУКА/СПЕЦ_РАДИ/duit/prokopenko-pavlo-mykolayovych/dissertation.pdf) (дата звернення: 28.05.2025).
15. Створення віртуальних приладів в середовищі LabVIEW [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / В. М. Головня; РТФ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,92 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 142 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/9b30c2bd-db73-47b4-8f3e-ccf4eefe37fc/content> (дата звернення: 16.02.2025)
16. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб.: у 2 ч. Ч. 1. Сенсорна техніка / В. Ткачов та ін. 2-ге вид. Дніпро : НТУ «Дніпр. політехніка», 2019. Т. 2. 144 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/701a1549-878a-49cc-a2a0-9c454d6fd5e0/content> (дата звернення: 01.05.2025).
17. Технологія створення програмних продуктів. Програмування в NI LabVIEW : навч. посіб. / О.Г. Кисельова, А.В. Соломін. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 200 с.
18. Федорчук Д. В. Двоканальний, сильно демпфований чутливий елемент системи стабілізації озброєння легкої військової техніки : магістерська дисертація. Київ, 2019. 112 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e758c9af-5263-4e11-93b9-69df4c3db2b5/content> (дата звернення: 15.05.2025).
19. Цифрова обробка сигналів та зображень [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Комп'ютерно-

- інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спец. 174  
Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / КПІ  
ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. І. Микитенко, Г. С. Тимчик. – Київ : КПІ  
ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 181 с.
20. cRIO-9025 User Manual and Specifications. <https://www.ni.com>.  
URL: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/crio-9025-seri/resource/375490d.pdf> (дата звернення: 17.04.2025).
21. cRIO-9111, cRIO-9112, cRIO-9113, cRIO-9114, cRIO-9116, and cRIO-9118  
User Manual and Specifications. <https://www.ni.com>.  
URL: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/crio-911x-seri/resource/375079e.pdf> (дата звернення: 07.05.2025).
22. NI-9205 and sbRIO-9205 Specifications. <https://www.ni.com>.  
URL: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9205-specs/page/specs.html> (дата звернення: 17.04.2025).
23. NI-9237 Specifications. <https://www.ni.com>.  
URL: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9237-specs/page/specs.html> (дата звернення: 19.04.2025).
24. Operation Instructions and Safety Guidelines CRIO Mobile Modules - Gxxx  
Series : інструкція. Science & Engineering Applications Datentechnik GmbH.  
15 p.
25. [Data sheet ADXL278]. Analog Devices, 2010.  
URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL278.pdf> (дата звернення: 01.05.2025).

## **ДОДАТКИ**

Waveform Chart Plot 0

ОБРОБКА ДАНИХ

Префікс: Частота реєстрації:

Дистанція, м: 0

path:

in file:

Створити папку в d:\

Записано файлів: 0

Т або А

ДО: 0

ВІД: 0

ІНКРЕМЕНТ: 0

СЕК: 0

ІНКРЕМЕНТ Вкл./Викл. Додати GPS

Тенза: 0

Аксель: 0

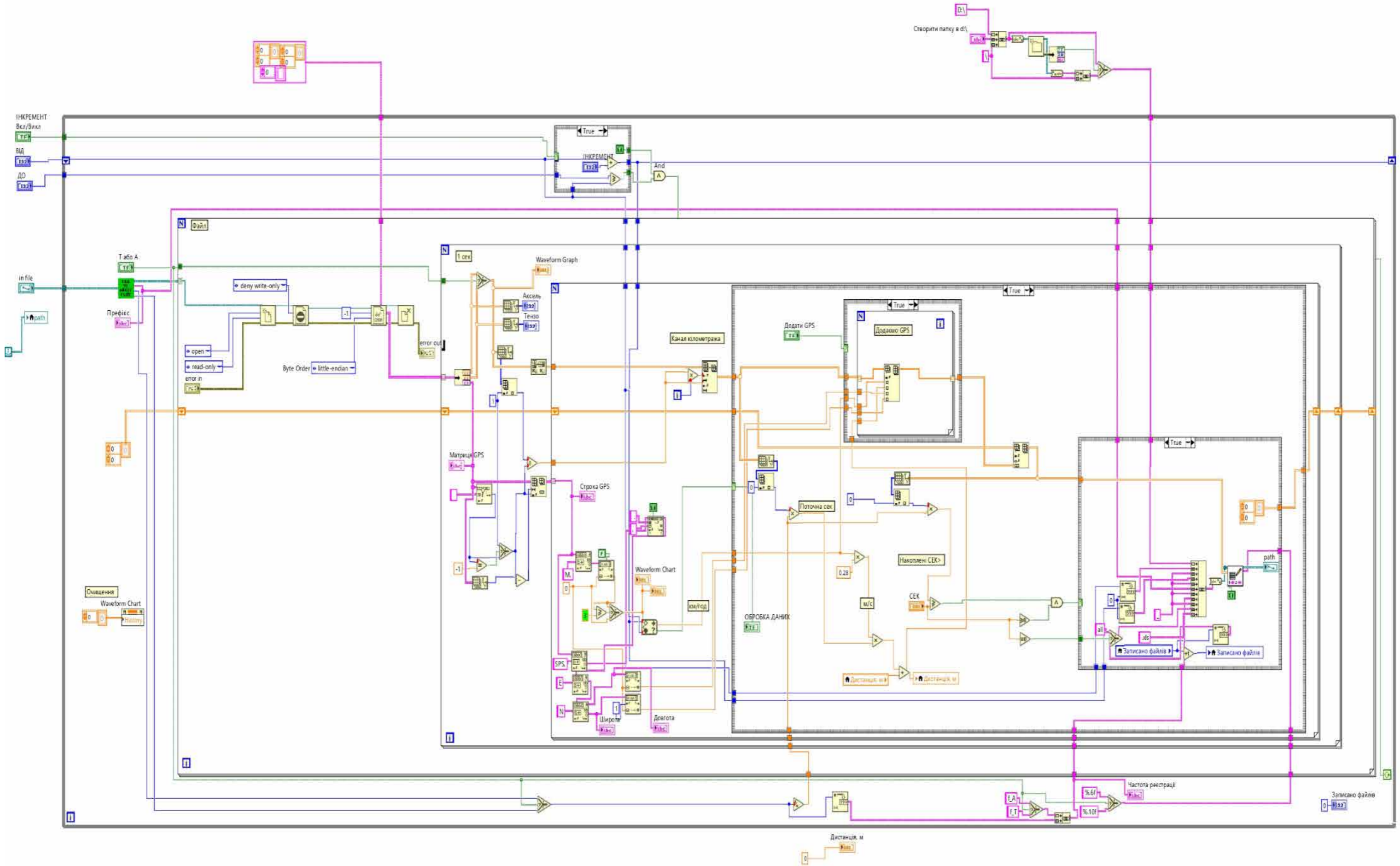
Waveform Graph

Plot 0 Plot 1 Plot 2 Plot 3 Plot 4 Plot 5 Plot 6 Plot 7 Plot 8 Plot 9 Plot 10 Plot 11 Plot 12 Plot 13 Plot 14

Строка GPS

Матриця GPS

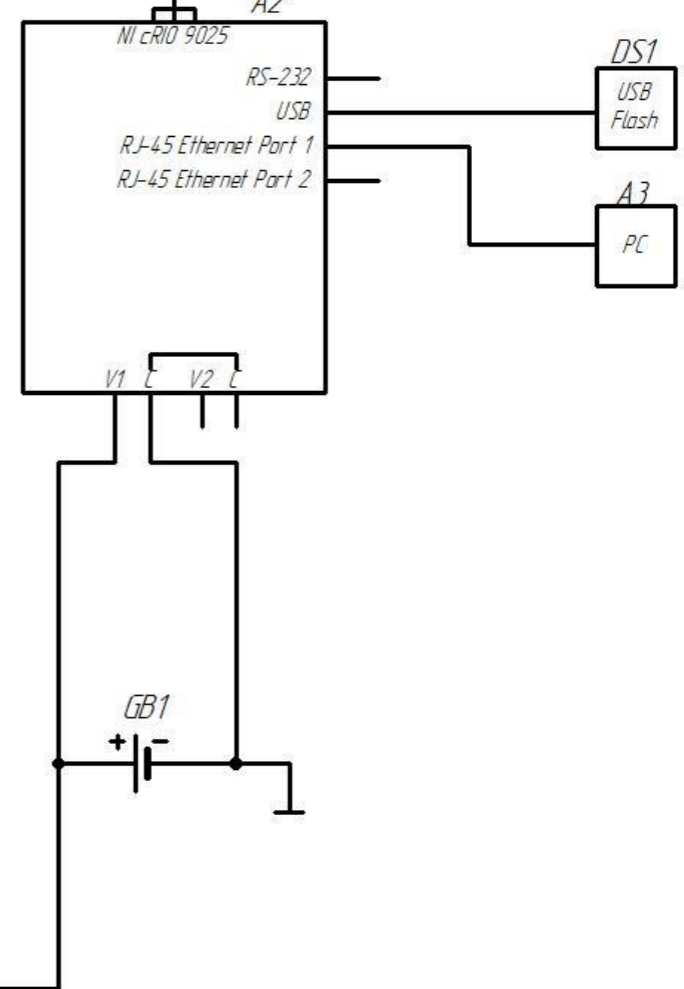
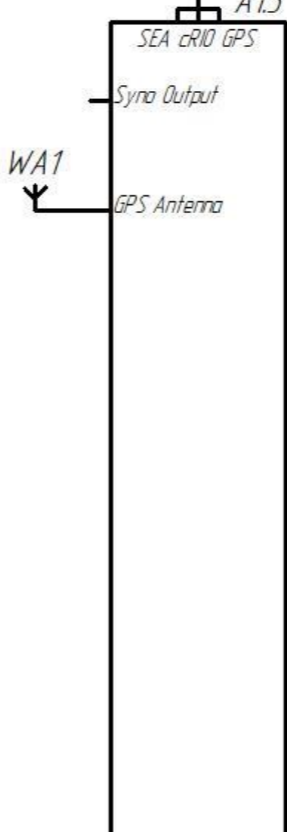
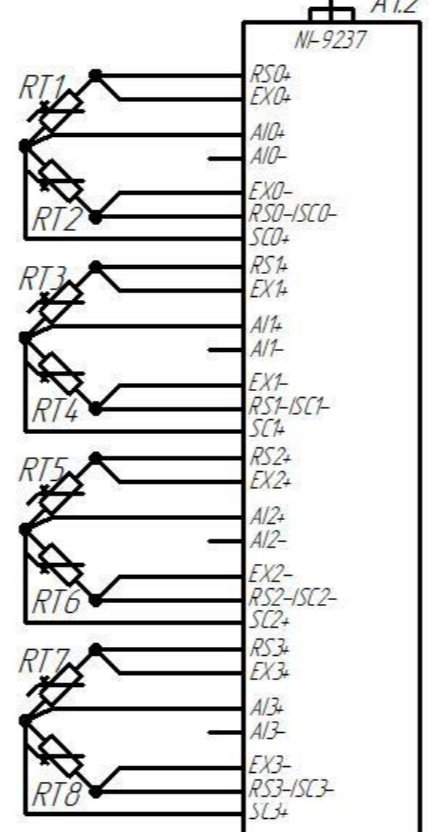
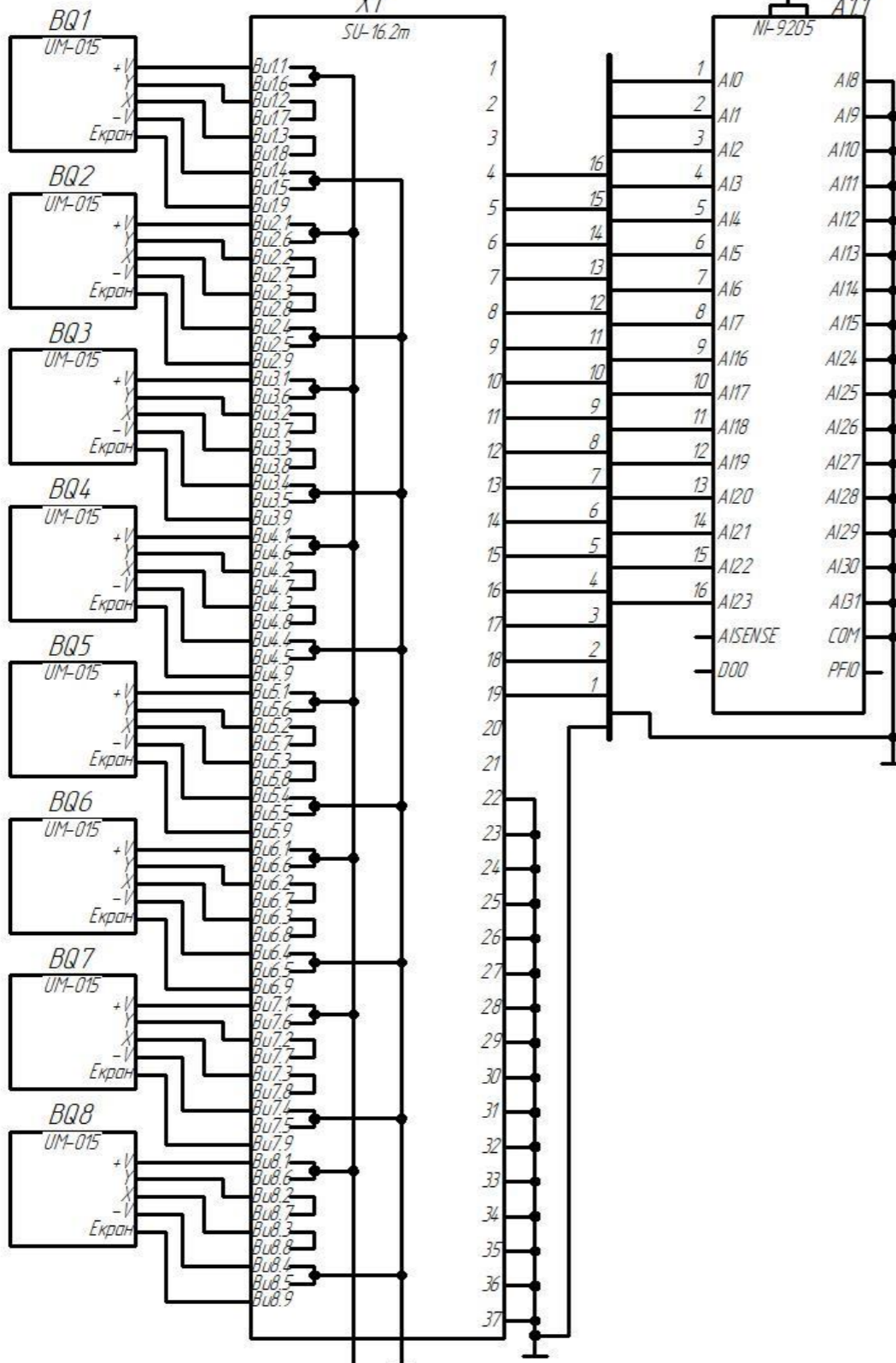
Довгота: Широта:



02.06.-КР.2056"С".2024.11.18.015.E3

A1

NI cRIO-9118



Перше використ.

Справ. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.

Зам. інв. №

Інв. № відл.

				02.06.-КР.2056"С".2024.11.18.015.E3				
Зм/лист	№докум.	Підпис	Дата	Електрична принципова схема (Додаток В)		Літера	Маса	Маштаб
Розроб	Настенко М.							1:2
Перевір.	Дідник А.О.					Аркуш	1	Аркушів
								4
Нконтр.				Розроблення системи автоматизованої діагностики стану деформації та віброприскорення несучих конструкцій залізничного транспорту		НУБІП України		
Затв.	Дідник А.О.					Формат А3		
				Коплював				



Перше використання

Справ. №

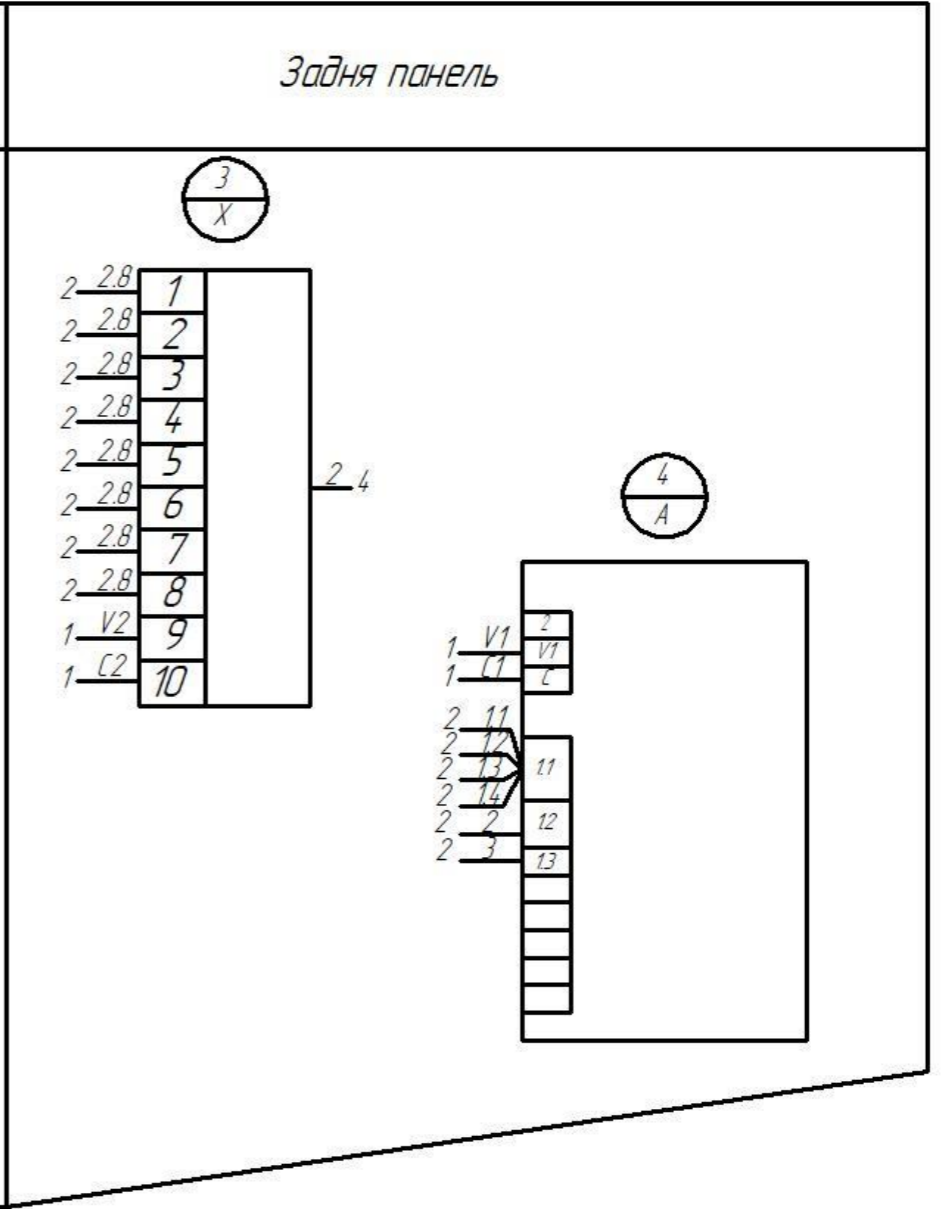
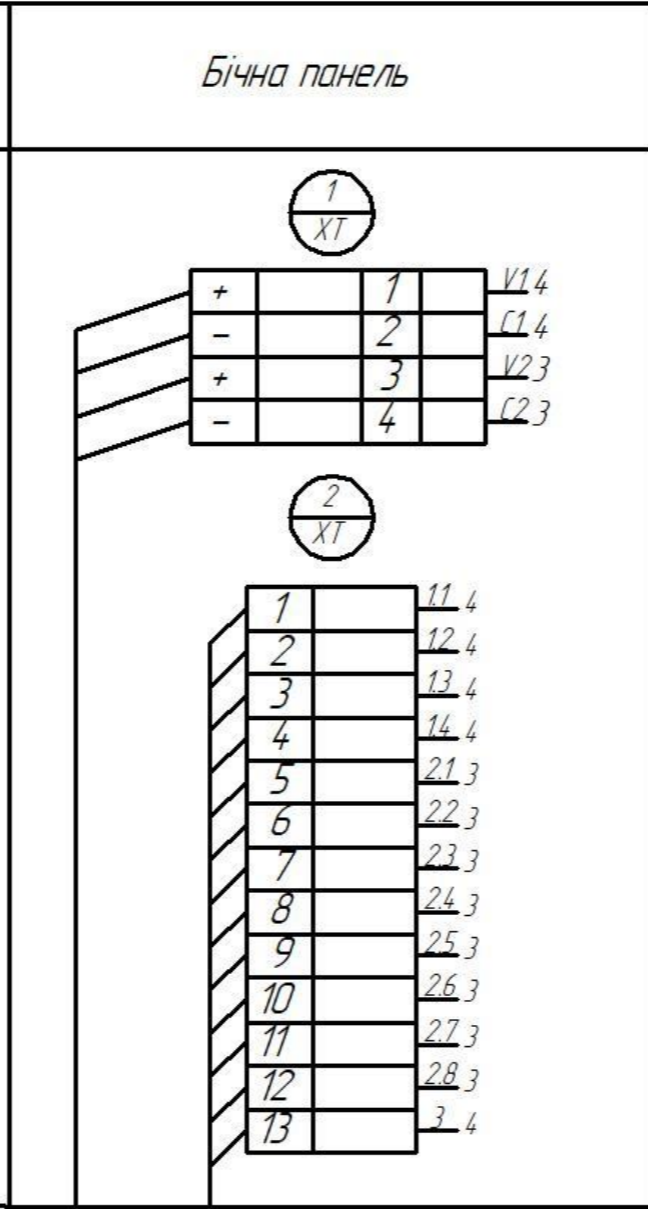
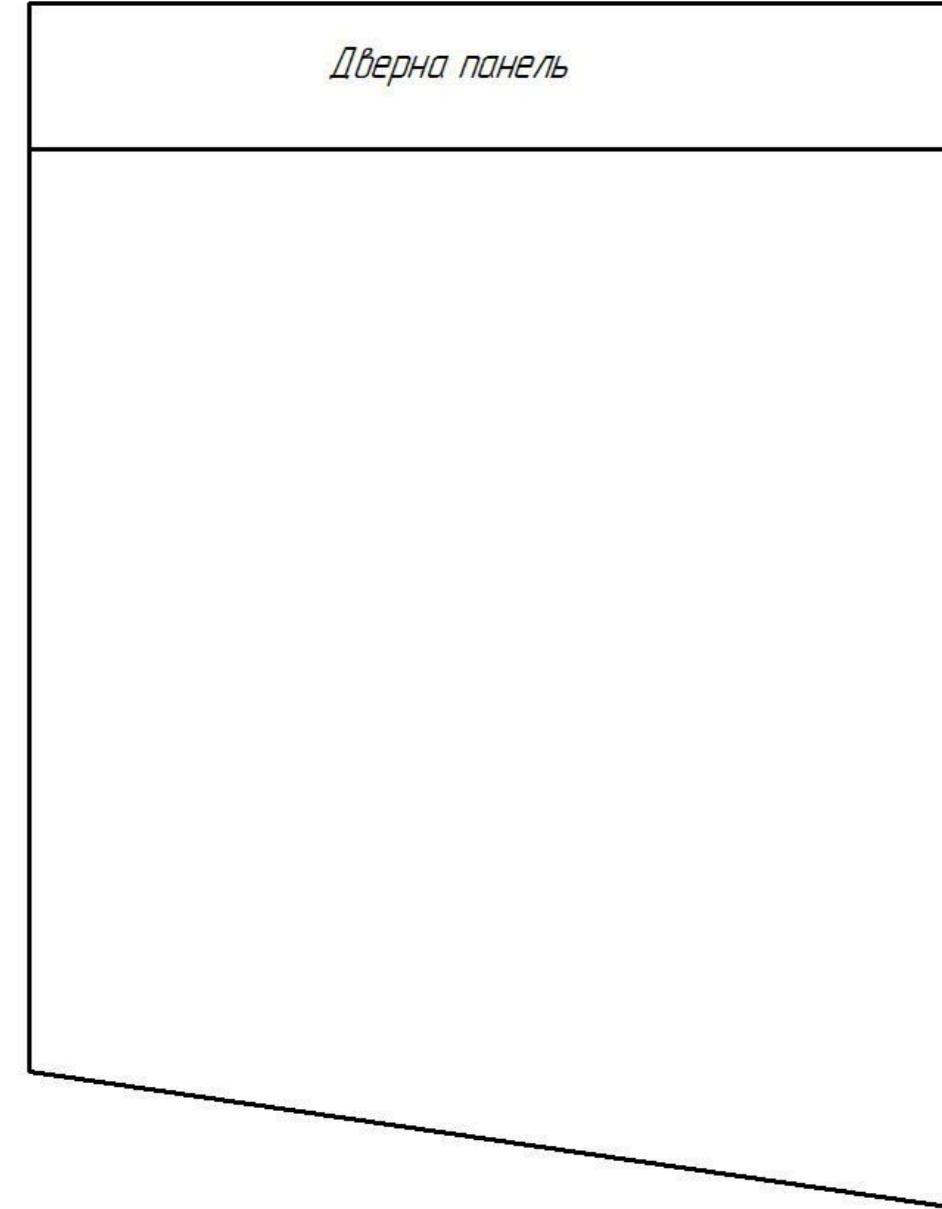
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.



				02.06.-КР.2056 "С".2024.11.18.015.E4				
Зм	Лист	№ док-м.	Підпис	Дата	<b>Електрична схема з'єднань (Додаток Г)</b>			
		Разроб	Настенко М.					
		Перевір.	Дудник А.О.					
Нконтр.		Затв.	Дудник А.О.		Розроблення системи автоматизованої діагностики стану деформації та вібраприскорення несучих конструкцій залізничного транспорту			
					Літера	Маса	Маштаб	
							1:1	
					Аркуш	3	Аркушів	4
					НУБІП України			

Коплював

Формат А3

Перше використання

Справ. №

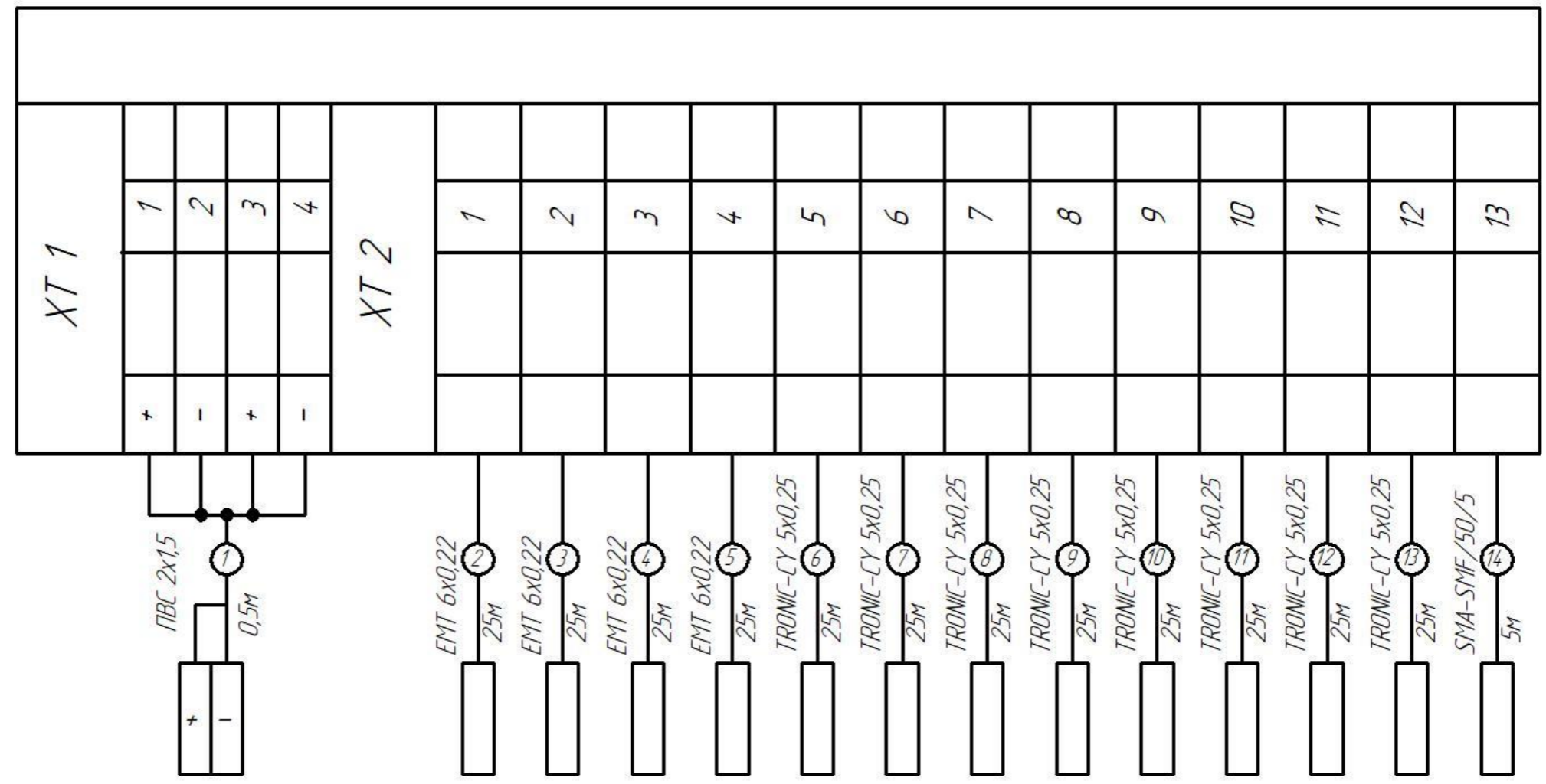
Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.



№	Назва обладнання	Тип
1	Акумуляторна батарея	Viprow LiFePO4 12,8V 30Ah
2	Напівміст Чінстона з 2 тензорезисторами	BF200-10AA-A(11)-BX30 BF200-10AA-A(11)-BX30
3	Напівміст Чінстона з 2 тензорезисторами	BF200-10AA-A(11)-BX30 BF200-10AA-A(11)-BX30
4	Напівміст Чінстона з 2 тензорезисторами	BF200-10AA-A(11)-BX30 BF200-10AA-A(11)-BX30
5	Напівміст Чінстона з 2 тензорезисторами	BF200-10AA-A(11)-BX30 BF200-10AA-A(11)-BX30
6	Акселерометр	UM-015
7	Акселерометр	UM-015
8	Акселерометр	UM-015
9	Акселерометр	UM-015
10	Акселерометр	UM-015
11	Акселерометр	UM-015
12	Акселерометр	UM-015
13	Акселерометр	UM-015
14	Антенa GPS	RF ANT GPS 1572GHZ-1578GHZ

				02.06.-КР.2056 "С".2024.11.18.015.E5						
Зм	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата	<b>Електрична схема підключень (Додаток Д)</b>		Літера	Маса	Маштаб	
Розроб		Настенко М.								1:1
Перевір.		Дідник А.О.					Аркцш	4	Аркцшів	4
Н.контр.					Розроблення системи автоматизованої діагностики стану деформації та вібраприскорення несучих конструкцій залізничного транспорту				НУБіП України	
Затв.		Дідник А.О.							Формат А3	

Копіював

Формат А3