

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи


магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: «Оптимізація збору та передачі телеметричних даних у супутникових системах моніторингу залізничного транспорту»

Виконав: студент 6 курсу, групи 601-ТТ  
спеціальності 172 «Телекомунікації та  
(номер і назва напрямку підготовки, спеціальності)  
радіотехніка

Головчанський Б.І.   
(прізвище та ініціали)

Керівник Косенко В.В.   
(прізвище та ініціали)

Рецензент Шефер О.В.  
(прізвище та ініціали)

Полтава – 2026 рік

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена дослідженню та оптимізації процесів збору і передачі телеметричних даних у супутникових системах моніторингу залізничного транспорту. Актуальність теми зумовлена зростанням вимог до безпеки, надійності та оперативності керування тяговим рухомим складом (ТРС), що потребує впровадження високоефективних телеметричних технологій та використання сучасних каналів супутникового зв'язку.

Проаналізовано сучасний стан проблеми створення систем моніторингу параметрів ТРС, зокрема інструментів збору, оброблення й передавання бортових даних. Розглянуто технічні можливості існуючих телеметричних комплексів, датчиків та інформаційних модулів, а також визначено вимоги до організації супутникових каналів зв'язку, необхідних для забезпечення стабільної передачі даних в умовах руху поїздів. На основі проведеного аналізу сформульовано завдання магістерського дослідження.

Запропоновано удосконалення бортового телеметричного комплексу, спрямоване на підвищення точності вимірювань, зменшення затримок у передачі даних та забезпечення сумісності з сучасними протоколами зв'язку. Обґрунтовано вибір рухомої супутникової антени RaySat ER-7000, що гарантує стабільний канал зв'язку з високими показниками надійності та завадостійкості під час руху. Удосконалена структура комплексу орієнтована на максимізацію ефективності збору й ретрансляції інформації в реальному часі.

Проведено енергетичний розрахунок супутникової лінії зв'язку, визначено її пропускну здатність, рівень втрат, показники якості та стійкості каналу. Розроблено схемотехнічні рішення щодо інтеграції комплексної телеметричної системи у склад ТРС з урахуванням вимог електромагнітної сумісності, надійності та зручності технічного обслуговування. Виконані дослідження підтверджують можливість оптимізації процесів збору й передачі телеметричних даних завдяки раціональному вибору апаратури, використанню ефективних методів кодування інформації та удосконаленим алгоритмам передавання.

**Ключові слова:** супутниковий зв'язок, телеметрія, залізничний транспорт, тяговий рухомий склад, моніторинг, передача даних, оптимізація телеметрії, енергетичний розрахунок.

## ABSTRACT

The master's thesis is devoted to the optimization of telemetry data collection and transmission processes in satellite monitoring systems for railway transport. The relevance of the study is driven by increasing demands for safety, reliability, and operational efficiency in managing traction rolling stock (TRS), which requires the implementation of high-performance telemetry technologies and modern satellite communication channels.

The technological section presents an analysis of the current state of monitoring systems for TRS parameters, focusing on the tools used for collecting, processing, and transmitting onboard data. The capabilities of existing telemetry complexes, sensors, and information modules are examined, along with the requirements for organizing satellite communication channels that ensure stable data transmission under train-movement conditions. Based on the analysis, the key objectives of the thesis are formulated.

The design section addresses the development of a satellite telemetry system for monitoring TRS movement parameters. Enhancements to the onboard telemetry complex are proposed to improve measurement accuracy, reduce transmission delays, and ensure compatibility with modern communication protocols. The choice of the RaySat ER-7000 mobile satellite antenna is justified, as it provides a robust, high-reliability communication channel with strong resistance to interference during train operation. The improved system architecture is aimed at maximizing the efficiency of real-time data acquisition and retransmission.


In the research section, an energy calculation of the satellite communication link is performed to determine its capacity, signal losses, quality metrics, and channel stability. Circuit-level solutions for integrating the comprehensive telemetry system into TRS are developed, taking into account electromagnetic compatibility, reliability, and maintainability requirements. The conducted studies confirm the feasibility of optimizing telemetry data collection and transmission through the rational selection of equipment, efficient information-coding methods, and improved transmission algorithms.

**Keywords:** satellite communication, telemetry, railway transport, traction rolling stock, monitoring, data transmission, telemetry optimization, link budget analysis.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Магістр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри автоматки,  
електроніки та телекомунікацій

  
О.В. Шефер  
«3» вересня 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТУ**

**Головчанському Богдану Ігоровичу**

керівник проекту (роботи) Косенко Віктор Васильович, д.т.н., професор  
затверджена наказом вищого навчального закладу від «03» 09 2025 року №1025 ф,а

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 22.12.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна документація на тяговий електро-  
воз ТЕМ2; за рахунок встановлення датчиків контролю технологічних пара-  
метрів, забезпечити: економію електроенергії до 15%, витрати палива до 5%,  
пропускну спроможність до 15%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потріб-  
но розробити) Аналіз сучасного стану проблем створення систем моніторингу  
параметрів тягового рухомого складу. Засоби моніторингу бортових параметрів  
ТПС. Вимоги до організації каналів супутникового зв'язку. Супутникова теле-  
метрична система контролю параметрів руху ТРС. Удосконалення бортового  
телеметричного комплексу. Обґрунтування та вибір рухомої супутникової ан-  
тени RaySat ER-7000. Енергетичний розрахунок та дослідження лінії зв'язку  
для супутникового каналу. Розроблення схемо-технічних рішень монтажу ком-  
плексної телеметричної системи моніторингу параметрів руху ТРС. Висновки  
по роботі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):  
Мета, предмет, об'єкт та новизна дослідження. Структурна схема АСК. Функ-  
ціональна схема комплексного локомотивного пристрою безпеки. Аналіз ком-  
плектів комутаційного захисного обладнання та антенних систем. Структурна  
схема пристрою узгодження (CAN – контролера). Алгоритм отримання техно-  
логічних параметрів тягового рухомого складу. Структурна схема передачі техно-  
логічних параметрів тягового рухомого складу засобами супутникового ка-

налу зв'язку. Аналіз вихідних параметрів для енергетичного розрахунку прямого каналу рухомої антени. Технічні характеристики тягового електровоза та пропозиції щодо встановлення комплексної телеметричної системи зв'язку. Принцип встановлення антени на даху електровоза. Схема встановлення телеметричних датчиків палива: синім кольором показана кабельна прокладка для зв'язку датчиків із сполучною панеллю. Схеми встановлення телеметричних датчиків палива у паливному баці та блоку обліку палива. Структурна схема системи телеметричного контролю руху рухомого тягового складу. Висновки.

6. Дата видачі завдання 15.09.2025 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Термін	Категорія	Обсяг	
1	Аналіз сучасного стану проблеми створення систем моніторингу параметрів тягового рухомого складу.	07.10.25		15%	Пл. 1
2	Засоби моніторингу бортових параметрів ТПС.	21.10.25	I	25%	Пл. 2, 3
3	Вимоги до організації каналів супутникового зв'язку із рухомих складом.	04.11.25		40%	Пл. 4
4	Супутникова телеметрична система контролю параметрів руху тягового рухомого складу.	11.11.25		50 %	Пл. 5,6
5	Удосконалення бортового телеметричного комплексу. Обґрунтування та вибір супутникової антени RaySat ER-7000.	18.11.25	II	60%	Пл. 7
6	Енергетичний розрахунок та дослідження лінії зв'язку для супутникового каналу.	25.11.25		70%	Пл. 8,9
7	Розроблення схемо-технічних рішень монтажу комплексної телеметричної системи моніторингу параметрів руху ТПС.	09.12.25		90%	Пл. 10,11
8	Оформлення пояснювальної записки.	22.12.25	III	100%	Пл. 12-14

Магістрант

  
(підпис)

Головчанський Б. І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Косенко В. В.  
(прізвище та ініціали)

## *Зміст*

<b>ВСТУП.....</b>	<b>7</b>
<b>1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>9</b>
1.1 Аналіз сучасного стану проблем створення систем моніторингу параметрів тягового рухомого складу.....	9
1.2 Засоби моніторингу бортових параметрів ТПС .....	11
1.3 Вимоги до організації каналів супутникового зв'язку.....	17
1.4 Висновки за розділом та постановка завдань на магістерську роботу.....	24
<b>2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....</b>	<b>27</b>
2.1 Супутникова телеметрична система контролю параметрів руху ТРС.....	27
2.1.1 Удосконалення бортового телеметричного комплексу.....	27
2.1.2 Обґрунтування та вибір рухомої супутникової антени RaySat ER-7000.....	41
2.2 Висновки за розділом.....	43
<b>3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....</b>	<b>45</b>
3.1 Енергетичний розрахунок та дослідження лінії зв'язку для супутникового каналу.....	45
3.2 Розроблення схемо-технічних рішень монтажу комплексної телеметричної системи моніторингу параметрів руху ТРС.....	51
3.3 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які діють під час збору та передачі телеметричних даних у супутникових системах моніторингу залізничного транспорту.....	63
3.4 Технічні засоби що передбачаються для зменшення або усунення дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	66
3.5 Висновки за розділом.....	70
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>71</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТОНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>73</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>75</b>

## ВСТУП

Сучасний розвиток залізничного транспорту характеризується активним упровадженням цифрових технологій, автоматизованих систем керування та інтелектуальних засобів моніторингу технічного стану рухомого складу. Підвищення ефективності експлуатації залізничної інфраструктури безпосередньо залежить від рівня інформатизації, швидкості оброблення даних і надійності систем передачі телеметричної інформації. Одним із ключових напрямів цифрової трансформації транспортної галузі є впровадження супутникових систем моніторингу, які забезпечують глобальне спостереження, віддалений контроль і аналітику параметрів роботи рухомих об'єктів у реальному часі.

В умовах інтенсивної експлуатації тягового рухомого складу виникає необхідність постійного збору даних про технічний стан агрегатів, параметри руху, споживання енергії та умови навколишнього середовища. Ці дані дозволяють своєчасно виявляти відхилення у роботі систем, запобігати аварійним ситуаціям і оптимізувати технічне обслуговування. Проте ефективність таких систем значною мірою визначається швидкістю, достовірністю та стабільністю передачі телеметричної інформації від сенсорів до центрів оброблення. Традиційні бездротові технології часто мають обмеження у зоні покриття та стійкості сигналу, що знижує загальну ефективність систем моніторингу.

Супутникові канали зв'язку забезпечують практично безперервне покриття території, однак мають певні недоліки, зокрема затримку сигналу, обмежену пропускну здатність та енергоспоживання терміналів. Тому актуальним є завдання оптимізації процесів збору, оброблення та передачі телеметричних даних з урахуванням особливостей функціонування супутникових систем зв'язку та специфіки об'єктів залізничного транспорту. Оптимізація передбачає вибір раціональних алгоритмів формування пакетів даних, адаптивного кодування, компресії та маршрутизації інформаційних потоків, що дозволяє зменшити навантаження на канали зв'язку та підвищити енергоефективність пристроїв.

**Метою магістерської роботи є підвищення ефективності супутникових систем моніторингу залізничного транспорту шляхом оптимізації процесів збору й передачі телеметричних даних.**

Для досягнення поставленої мети передбачається розв'язання таких основних завдань:

- провести аналіз сучасних методів збору та передачі телеметричної інформації у транспортних системах;
- визначити технічні обмеження супутникових каналів зв'язку, що впливають на якість моніторингу;
- розробити модель оптимізованого збору та обміну телеметричними даними;
- оцінити ефективність запропонованих підходів за показниками швидкодії, надійності та енергоефективності.

**Об'єктом дослідження є процеси передавання телеметричних даних у супутникових системах моніторингу залізничного транспорту.**

**Предметом дослідження є методи й алгоритми оптимізації збору, оброблення та передачі телеметричної інформації в умовах обмеженої пропускної здатності каналів зв'язку.**

Новизна роботи полягає у вдосконаленні структури телеметричної системи з використанням адаптивних алгоритмів передавання даних, що дозволяють мінімізувати затримки, втрати інформації та енергоспоживання апаратних засобів. Практичне значення результатів полягає у можливості застосування запропонованих рішень для модернізації існуючих систем моніторингу рухомого складу, диспетчерського керування та технічного обслуговування на базі технологій супутникового зв'язку.

## 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз сучасного стану проблем створення систем моніторингу параметрів тягового рухомого складу

Залізничний транспорт – найважливіша складова виробничої інфраструктури України. Наземне перевезення вантажів, в тому числі здійснюється за допомогою залізниці, що є сегментом, за яким стоїть великий інноваційний потенціал. Ключовою ланкою залізничного транспорту є тяговий рухомий склад. Створення системи контролю та автоводіння ТРС є актуальним завданням ефективності галузі. Існуючі системи реєстрації параметрів руху та автоведення не повною мірою відповідають сучасним вимогам цифровізації галузі.

Створення технології відпрацювання супутникової телеметричної системи моніторингу бортових параметрів руху ТРС дозволить виставити на ринок наукомістку систему, що забезпечує виконання значних показників ефективності залізничних перевезень від 15 до 30%.

Новизна проекту обумовлена впровадженням прогресивних технологій, новими принципами та режимами функціонування комплексів, типовими конструкторсько-технологічними рішеннями з урахуванням нових досягнень науки та техніки.

Новизна досліджень полягає у розробці методів інтеграції проектних рішень, що забезпечують модульну побудову антенних платформ та комплексу супутникового зв'язку в цілому. Вперше розроблено методичні матеріали, що розширюють існуючі уявлення про можливості комплексів супутникового зв'язку та які дозволяють оцінити економічну ефективність впровадження нових технологій з точки зору оператора та абонента супутникового зв'язку України в цілому.

Ефективне управління процесом організації залізничних перевезень може бути побудовано тільки на основі об'ємної, достовірної та підготовленої для аналітичної обробки інформації.

Ключовим елементом функціонування перевезень на залізниці є тяговий рухомий склад (ТРС), що входить у складну розподілену транспортну систему.

Параметри роботи ТРС, такі як надійність, безпека та економічність визначаються постійним контролем стану ТРС, дотриманням регламентних термінів ремонту та технічного обслуговування.

Однак застосування застарілих технологій не відповідає реаліям ринку залізничних перевезень, що динамічно розвивається, які не справляються зі збільшеним потоком інформації про стан ТРС.

Очевидно, що по мірі розвитку технологій і зростання потреб цей потік буде зростати.

Аналіз процесу експлуатації тягового рухомого складу [1] показує, що великі втрати в частині трудовитрат, а також отримання своєчасної та достовірної інформації відбуваються на етапі збору та передачі даних. Звітні форми є застарілими.

На даний час існують системи збору інформації параметрів руху ТПС з їх накопиченням на інформаційні носії. Наявні технічні рішення передачі даних через мережі мобільних операторів (GPRS).

В умовах України цей зв'язок є нестабільним для використання на рухомому складі з урахуванням великих відстаней та зон покриття, а також під час частих дронівих та ракетних атак з боку країни-агресора.

Немає технічної можливості на експлуатованих одиницях ТРС забезпечити стійкий канал зв'язку, зокрема для прийому/передачі даних у будь-якій точці України.

Через відсутність необхідної технологічної бази, що забезпечує стійкий канал зв'язку і прийому / передачі даних, немає можливості розробляти і впроваджувати додаткові послуги для потреб транспортних компаній.

Вирішення проблеми можливе при використанні технологій супутникового зв'язку і поступовій відмові від існуючих в даний час паперових форм маршруту машиніста. Сучасні досягнення науки і техніки дозволяють на сьогоднішній день по супутниковому каналу передавати інформацію про параметри руху, динаміку і технічний стан локомотива та іншої інформації, оперативність якої підвищує якість управління на залізничному транспорті.

### 1.3 Засоби моніторингу бортових параметрів ТПС

Засоби моніторингу бортових параметрів ТПС зараз проводиться із використанням наступних систем:

А) Автоматизована система «Енергодиспетчерська» (АСУ ЕД). Основне завдання АСУ ЕД - комплексна автоматизація та інформаційна підтримка бізнес-процесів з обліку, контролю та аналізу споживання: електроенергії та дизельного палива в міру надходження та обробки даних (рис. 1).

АСУ ЕД виконує такі завдання:

- Вимірювання заданих параметрів паливної апаратури та дизельгенератора;
- достовірне та точне (з певною похибкою) обчислення залишку та витрати дизельного палива;
- моніторинг реальної витрати дизельного палива/електроенергії з нормативними значеннями у прив'язці до різних режимів роботи тепловоза/електровоза;
- опосередкована діагностика роботи паливної системи на основі даних фактичної витрати палива;

Контроль роботи тепловоза/електровозу за зміну із виділенням часових періодів:

1. Стоянки та рухи;

2. Роботи дизеля на холостому ходу та в режимі руху, параметрів руху тепловоза/електровозу в режимі тяги та вибігу;
3. Пробігу, середньої швидкості;
4. Загальної витрати палива та електроенергії за поїздку, зміну, період, по ділянці;
5. Поточний стан тепловоза/електровоза;
6. Графічне представлення заданих технологічних параметрів паливної апаратури та дизель-генератора (на тепловозі);
7. Формування електронного маршруту машиніста;

Структура АСК представлена рис. 1.1

Рівень локомотива реалізовано у вигляді спеціалізованого програмного модуля та відповідної апаратної частини, що є функціональною частиною системи АСУ, встановленого на локомотива, що експлуатується безпосередньо на бортовому контролері (тепловоз, електровоз).

Цей модуль повинен забезпечити у заданому режимі:

- збирання, перевірку та зберігання параметрів, що вимірюються датчиками локомотива;
- підготовку передачі певних параметрів;
- передачу накопичених даних до аналітичних систем шляхом бездротових каналів передачі даних та/або пристрої накопичення.

В) Комплексний локомотивний пристрій безпеки КЛПБ.

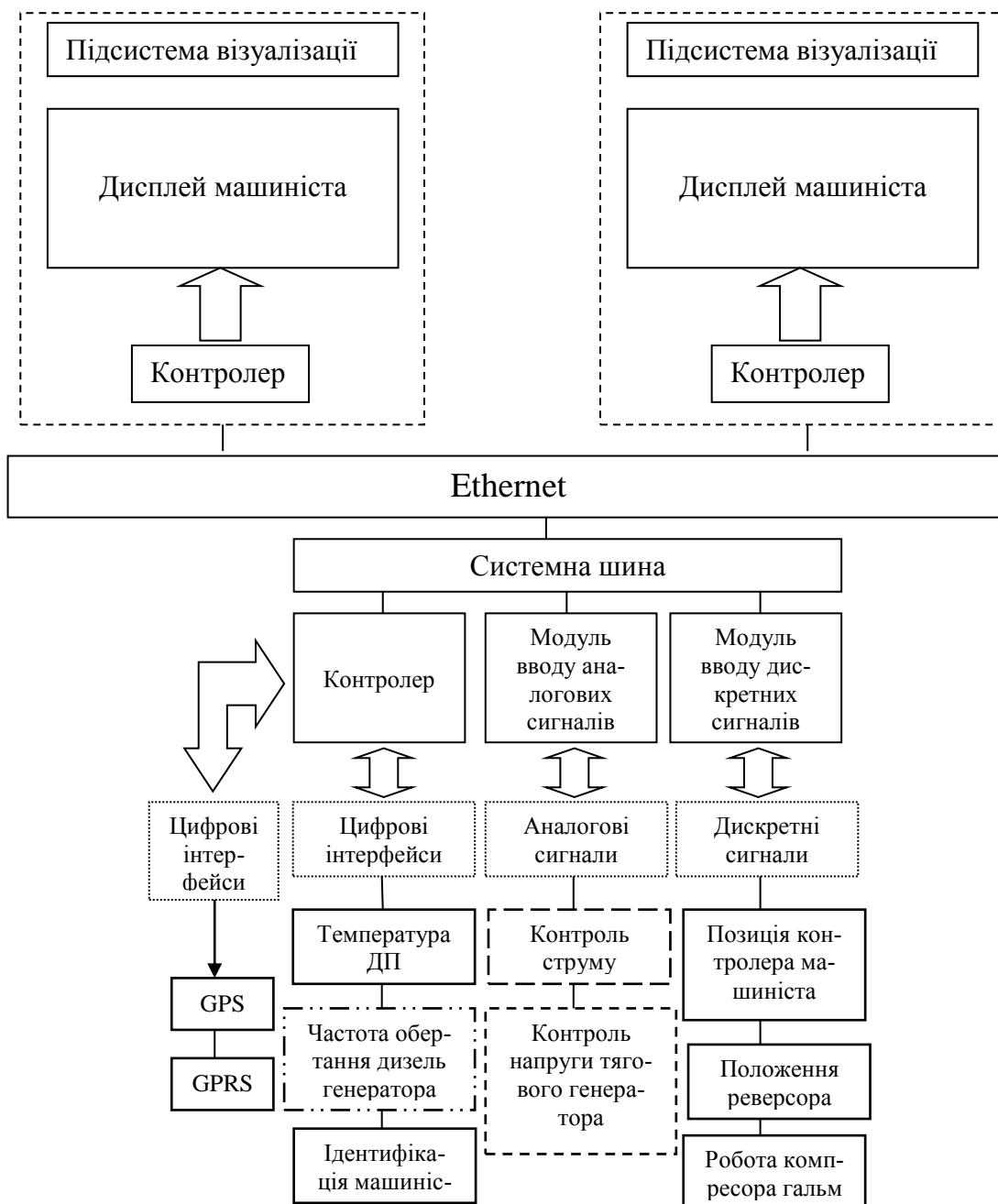


Рисунок 1.1 – Структурна схема АСУ

За допомогою впровадження пристрою КЛПБ (рис. 2) забезпечено підвищення безпеки руху рухомого складу, запобігання позаштатним ситуаціям при його русі за допомогою застосування примусової зупинки.

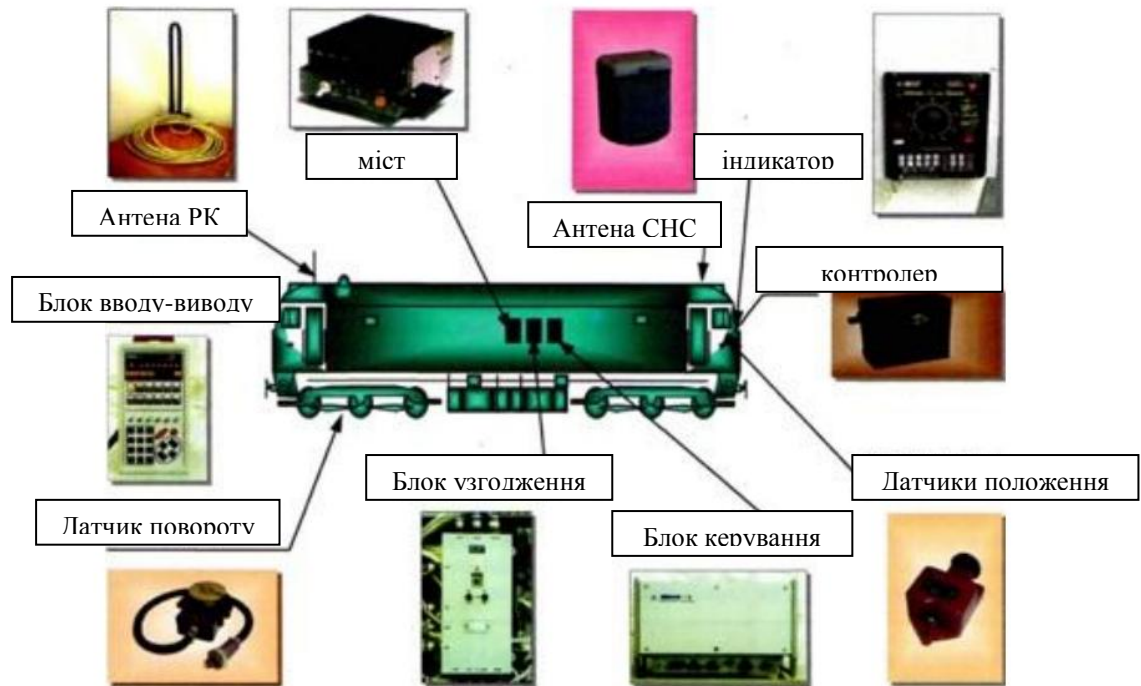


Рисунок 1.2 – Функціональна схема комплексного локомотивного пристрою безпеки

Сфера використання: на всіх типах транспортних засобів залізничного транспорту, включаючи рух останніх на магістральних шляхах, обладнаних додатковими технічними засоби, такими як: дорожні пристрої автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН), багатозначна автоматична локомотивна сигналізація (АЛС-ЕН), система автоматичного керування гальмуванням (САУГ), а також на ділянках, обладнаних системою координатного регулювання руху поїздів з урахуванням цифрового радіоканалу (РК).

Даною АСУ виконуються такі функціонали:

- екстрена зупинка поїзда за сигналом чергового станції (ДСП) або поїзного диспетчера (ДНЦ), що передається по РК передачі даних, без участі машиніста;
- запобігання руху поїзда після його зупинки без санкції ДСП або ДНЦ, що передається по РК передачі даних, у тому числі при підході до заборонного сигналу світлофора

Функціональні можливості:

- отримання та дешифрація даних АЛСН, АЛС-ЕН; визначення швидкості та місцезнаходження поїзда за даними АЛСН та АЛС-ЕН, приладу супутникової навігації, датчиків швидкості та електронної карти ділянки;

- завантаження значень цільової та гранично допустимої швидкостей рухи;

- застосування режиму екстреного гальмування при перевищенні гранично допустимої швидкості без участі машиніста;

- застосування режиму екстреного гальмування у разі виникнення позаштатної ситуації;

- застосування режиму екстреного гальмування за сигналом чергового станції без участі машиніста;

- виключення руху при сигналі світлофора, що забороняє;

- недопущення несанкціонованого включення;

- недопущення мимовільного руху локомотива (скочування);

- постійний контроль стану гальмівної системи;

- надання машиністу своєчасної інформації про сигнали світлофора, фактичної та допустимої швидкості руху (з похибкою до 1 км/год), кількості вільних блок-ділянок, кривої гальмування, розташування локомотива за даними супутникової навігації, дотримання графіка руху, відомостей про станції, номери стрілок, світлофори та ін., відстанях до контрольних точок, записаних в електронну картку;

- контроль робочого стану машиніста;

- моніторинг дотримання регламенту машиніста та помічника машиніста при початковому русі складу та під'їзду до світлофора;

- реєстрація параметрів руху на носії;

- діагностика.

Комплекси засобів збору та реєстрації даних ККД-ЗПА.

Комплекс ККД-ЗПА (рисунок 1.3) забезпечує:

- вимірювання та реєстрацію швидкості, часу, пройденого шляху та іншої інформації щодо швидкісного режиму;

- сигналізацію у разі перевищення швидкості руху.

Додатково комплекс здатний забезпечити умови для транспортування небезпечних вантажів, динамічне зважування, моніторинг слідування машиністом регламенту управління локомотивом при частому зміні напрямку руху.

Базовий комплект ККД-3ПА зображено рис. 1.3.

Переваги швидкомірів ККД-3ПА:

- вимірювання величини переміщення від заданої машиністом позначки;
- висока точність вимірювання шляху, швидкості, прискорення (уповільнення);

- можливість дистанційної передачі даних;

- автоматизоване розшифрування;

- контроль зміни напрямку руху;

- гнучка конфігурація завдяки відкритій архітектурі.

Структура комплексу ККД-3:

- блок управління БУ-3ПА;

- датчики кута повороту Л178/1.2;

- панель сполучна ПС-3П;

- модуль пам'яті МПМЕ-1.0 (МПМЕ-128).



Рисунок 1.3 – Комплект комутаційного захисного обладнання

### 1.3 Вимоги до організації каналів супутникового зв'язку

Супутникова телеметрична система включає такі сегменти:

- бортовий телеметричний комплекс, що встановлюється на тепловозі (рухлива приймально-передавальна станція);
- супутниковий канал зв'язку, наземний комплекс прийому-передачі даних та мультисервісної інформації, яка встановлюється на диспетчерському пункті (приймальна станція).

Розробка технології обумовлена необхідністю моніторингу стану ключових систем тепловозів, які відповідають за їхню працездатність у режимі реального часу. Завдання, що вирішуються системою, включають в себе збір первинної інформації з датчиків різного типу, що встановлюються на тепловозі, первинну обробку отриманих даних, формування телеметричного кадру та відправлення його за допомогою супутникового каналу зв'язку.

Збір даних із датчиків. Система збору даних відповідає за прийом даних із датчиків, встановлених на локомотиві. Дані з датчиків повинні прийматись автоматично за допомогою промислової шини. При цьому залежно від особливостей датчика та типу інтерфейсу його з'єднання з програмною частиною повинні бути використані стандартні драйвери виробників датчиків. У разі несумісності/відсутності/некоректної роботи існуючих драйверів, необхідно передбачити їхню розробку. Таким чином, має бути забезпечена надійна інтеграція системи з апаратною частиною локомотива та обробка наступного переліку даних:

1) Група параметрів паливної апаратури:

- рівень палива у баку тепловоза (залишок палива);
- Щільність палива в баку;
- температура палива у баку;
- Наявність підтоварної води;
- Маса палива в баку.

2) Група параметрів дизель-генератора:

- Частота обертів колінчастого валу;
- Струм тягового генератора;
- Напруга тягового генератора;

- стан дизеля (у роботі чи заглушений);
- Температура охолоджуючої рідини;
- температура масла двигуна внутрішнього згорання (далі – ДВЗ).

3) Група параметрів режиму роботи тепловоза:

- Номер позиції контролера машиніста;
- Постановка реверсора (рух вперед / назад).

Основними труднощами у реалізації подібної системи є різниця робочих напруг датчиків, типів вихідного сигналу, відмінності датчиків на різних типах тепловозів

Обробка отриманих даних включає перетворення аналогового сигналу в цифровий, а також використання оцифрованих даних для формування телеметричного кадру з метою подальшої передачі. Для вирішення цього завдання необхідно створення узгоджуючого пристрою, здатного прийняти сигнали з датчиків різного типу, виконати їх оцифрування за допомогою аналого-цифрового перетворювача та передати їх на блок реєстрації та накопичення інформації. Для реалізації системи необхідно вибрати типовий склад джерел первинної інформації, що зустрічається на великій кількості актуальних моделей тепловозів, відповідно до яких буде розроблено погоджувальне пристрій. Передача отриманих даних повинна проводитися вже існуючу в нашій країні систему АСУ ЕДТ, за допомогою якої можна буде відстежувати становище та стан кожного тепловоза в режимі реального часу.

Для споживача економічна ефективність впровадження системи оцінюється як з боку початкових капітальних витрат, так і наступної вартості експлуатації технічної системи. При цьому основний інтерес з погляду інвестицій представляють власною антена та підсилювач потужності, що несуть основне фінансове навантаження.

Вибір прототипу. Як прототип промислових зразків комплексів супутникового зв'язку вибираємо два комплекси: комплекс, працюючий на технології SkyWan та комплекс, що працює на технології SkyEdge.

Основу комплексів складуть антенні системи SkyWan та RaySat (рис. 1.4-1.5).



Рисунок 1.4 – Антенна система SkyWan

Антенні системи включають: систему позиціонування, систему орієнтації антени на супутник зв'язку по азимуту та куту місця, систему динамічного відстеження супутникових сигналів на рухомих транспортних засобах, а також ряд вузлів, визначених особливостями антен.



Рисунок 1.5 – Антенна система RaySat

Технологія створення прототипу включає: створення інтерфейсу антенних систем, що забезпечують модульну побудову антенних платформ та комплексу супутникового зв'язку в цілому. Модульний принцип дає можливість застосовувати різні типи антен і модулів обробки, залежно від поставлених завдань.

Технологія створення прототипу полягає у коректному складанні технічного завдання та відповідного збору комплексу супутникового зв'язку за модульним принципом.

При схожості характеристик комплектуючих основною визначальною вибору стають другорядні фактори, пов'язані з поточним станом інформаційних та технічних систем, доступності обладнання на ринку та наявністю сервісних служб.

Важливим аспектом створення комплексу супутникового зв'язку є сумісність технічних параметрів комплектуючих вузлів, що вимагає додаткової перевірки, що включає діаграму рівнів комплексу, тракти приймальний, передавальний, шлейфового та контролю.

Модульна побудова антенних платформ передбачає:

- можливість встановлення модемів різних виробників;
- можливість працювати з топологією Full Mesh, Star та Mixed Topology;
- здатність використовуваних антен орієнтуватися на задані точки прийому інформації;
- наявність пасивних засобів терморегулювання обладнання;
- забезпечення підвищеної терморозміро-стабільності конструкції;
- забезпечення мінімальної маси та розмірів платформи;
- оптимальне використання кабелів, у тому числі з погляду їх прокладання;
- можливість складання та випробувань без складного допоміжного обладнання.

Основна функція мережі полягає у передачі в радіочастотному діапазоні біт-потоків цифрових даних, відео та голоси в один чи два супутникова стрибка між будь-якими двома станціями RaySat і ЦДП.

При проектуванні антенних платформ по модульному принципу мають бути передбачені канали зв'язку, що працюють у мережах Full Mesh та Star.

CCS має забезпечувати функціонування всіх земних станцій по заданій карті маршрутів, яка зберігається у пам'яті комп'ютера управління.

Повинна бути передбачена можливість перебудови алгоритму роботи протягом мінімального часу (вручну або автоматично заданої дати та часу) по одному з кількох можливих карт маршрутів, що зберігаються в пам'яті комп'ютера управління Центральною земної станції (основна та резервна).

Система відео- та голосового зв'язку для диспетчерського, адміністративного та технологічного управління компанією має бути побудована за принципом DAMA для всієї мережі та працювати в системах Full Mash, Star.

Система передачі даних має дозволяти використання виділених/закріплених каналів для передачі даних із заданою швидкістю.

Для роботи в режимі реального часу мережа супутникового зв'язку передачі даних має бути спочатку конфігуровано наступним чином:

- гарантована швидкість каналу від RaySat до ЦДП має бути не менше 256 Кбіт/с.

Після виявлення пошкодження чи зниження ефективності функціонування мережі причина повинна бути негайно усунена та відкориговано.

Для забезпечення ефективної діагностики та коригуючої роздільна здатність мережа повинна забезпечувати можливість тестування та діагностики в робочому режимі локально чи дистанційно.

Тестування не повинне впливати на функціональні експлуатаційні Показники мережі.

Профілактичне технічне обслуговування луджування та цілеспрямований ремонт, який передбачає усунення конкретної проблеми, повинні здійснюватися з використанням діагностичних, випробувальних та тренажерних пристроїв спеціального призначення. Повинні бути встановлені комплекти діагностичних інструментів.

Діагностичні інструменти мають забезпечувати проведення комплексного технічного обслуговування всіх елементів мережі та здійснювати діагностику будь-якого пошкодження, не вимагаючи жодного додаткового обладнання.

Вимкнення та ремонт будь-якого пошкодженого пристрою не повинні переривати роботу системи.

Устаткування має забезпечувати розширення до 50% за кількістю інтерфейсів для всіх земних станцій, причому таке розширення повинне здійснюється шляхом додавання блоків, модулів та їх функціональних зв'язків.

Мережа супутникового зв'язку має забезпечувати можливість розширення кількості земних станцій до 100% заданої кількості.

Контролер DAMA центральної керуючої станції повинен мати можливість розширення кількості голосових та відеоканалів до 100%.

Джерела живлення та дистанційний моніторинг повинні забезпечувати максимальну ємність системи.

Будь-який «сплеск», що призводить до частоти помилок по бітах більш ніж  $10^{-3}$  для часового інтервалу в 1 (одну) секунду повинен розглядатися як комунікаційна відмова.

Для кожної земної станції готовність має бути 99,8% або вищою.

Готовність лінії зв'язку визначається як готовність однієї земної станції щодо її контролюючої земної станції.

Готовність мережі має бути 99,8% або вищою. Готовність мережі визначається як готовність усіх земних станцій щодо їх контролюючої земної станції.

Встановлення додаткового обладнання (пристроїв) з метою забезпечення виконання цільового завдання здійснюється на основі приватних технічних завдань, затверджених Власником ТПС та у повному обсязі відповідно до вимог експлуатаційної та технічної документацією на ТПС.

Конструкція повинна запобігати можливості ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом під час роботи системи.

Система має бути вибухопожежобезпечною.

Система має відповідати всім вимогам СанПіН 5804-91.

В результаті досліджень для реалізації проекту вибір зроблено в користь комплексу ККД-3 та супутникової системи Gilat.

#### **1.4 Висновки за розділом та постановка завдань на магістерську роботу**

У межах виконання магістерської роботи проведено аналітичне дослідження сучасного стану проблем розроблення та впровадження систем моніторингу параметрів тягового рухомого складу.

Метою аналізу є визначення тенденцій розвитку технологій контролю технічного стану, ідентифікація недоліків існуючих рішень і формування напрямів подальшого вдосконалення таких систем.

На основі опрацювання інформаційних джерел, встановлено, що розвиток залізничного транспорту вимагає переходу від періодичних регламентних оглядів до безперервного моніторингу технічного стану агрегатів у режимі реального часу.

Особливу увагу приділено контролю параметрів електроприводів, температури вузлів, вібрацій, стану колісних пар і буксових підшипників.

Виявлено, що в більшості діючих систем моніторингу використовуються традиційні дротові сенсорні мережі з локальними блоками обробки даних.

Такий підхід забезпечує базовий рівень надійності, проте має суттєві обмеження щодо масштабованості, гнучкості й інтеграції з сучасними платформами аналітики даних.

Перспективним напрямом розвитку є застосування бездротових мереж, інтелектуальних мікропроцесорних вузлів, що дозволяють забезпечити дистанційний збір, аналіз і передачу інформації на центральні диспетчерські пункти.

Аналіз існуючих систем показав, що актуальними залишаються такі проблеми:

- недостатня точність і надійність сенсорів у складних умовах експлуатації;
- обмежений термін служби автономних джерел живлення;
- відсутність єдиних протоколів обміну даними між різними підсистемами моніторингу;
- складність інтеграції з уже існуючими системами керування тяговими агрегатами;
- потреба у створенні єдиних цифрових платформ, які забезпечують аналітику великих масивів даних (Big Data) та прогнозування відмов на основі штучного інтелекту.

Також встановлено, що сучасні наукові розробки спрямовані на створення інтелектуальних систем технічного діагностування, здатних не лише фіксувати відхилення параметрів, а й виконувати прогнозний аналіз стану вузлів з використанням методів машинного навчання.

У європейських і світових практиках набувають поширення модульні системи моніторингу, які можуть бути адаптовані для різних типів рухомого складу, зокрема електровозів, тепловозів та моторвагонних поїздів.

Впровадження таких систем дозволить підвищити експлуатаційну надійність, зменшити простой через аварійні ситуації та оптимізувати витрати на технічне обслуговування.

Подальші дослідження в межах магістерської роботи спрямовуються на удосконалення архітектури системи моніторингу та розроблення інформаційно-аналітичного модуля для обробки параметрів тягового рухомого складу в реальному часі.

Робота ставить конкретні цілі – розробка супутникової телеметричної системи моніторингу бортових параметрів руху тягового рухомого складу.

Супутникові станції повинні бути поставлені на об'єктах у відповідності до заявленої мети роботи.

Мережа повинна бути повністю інтегрованою - мережею з цифровим зв'язком.

Конструкція мережі має бути розроблена з використанням принципів TDMA-DAMA для супутникового зв'язку під керуванням основної або резервної CCS з топології «кожен з кожним».

Пропонована технологія повинна дозволяти збільшення пропускної спроможності каналів передачі між будь-якими двома станціями до 2048 Кбіт/с.

## **2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

### **2.1 Супутникова телеметрична система контролю параметрів руху ТРС**

#### **2.1.1 Удосконалення бортового телеметричного комплексу**

У процесі роботи телеметричної системи відбувається збір та передача на центральний сервер даних різних параметрах ТРС. Всю сукупність даних параметрів необхідно поділити на окремі групи згідно з їх приналежністю різним системам тепловоза. Первинними джерелами інформації на ТРС є набір датчиків, що входить до вимірювальної системи і з'єднаний між собою CAN шиною для передачі даних на борту тепловоза. Пристрій повинен володіти можливістю отримання пакетів з корисною інформацією з даної шини, а значить мати підтримку протоколу CAN і мати інтерфейс CAN версії 2.0 та вище.

Функції електронного швидкоміра полягають у знятті та запису дорожніх показників: швидкість, прискорення, час у дорозі, пройдений відстань та їх співвідношення із заданими показниками на предмет порушення регламенту. Також проводиться вимір другорядних параметрів тиску у вузлах (табл. 2.1).

Комплекси вимірювання об'єму палива тепловозів призначені для безперервного вимірювання кількості палива у паливних баках тепловозів.

Аналіз даних дозволяє визначити час екіпірування і кількість заправленого палива, час зливу та кількість злитого палива, витрати пального за будь-який проміжок часу (табл. 2.2).

Таблиця 2.1- Перелік параметрів, одержуваних за допомогою електронного швидкоміра

Параметр	Одиниці вимірювання	Межі вимірювання
Основна швидкісна інформація		
Швидкість руху	км/г	0-150
Прискорення (уповільнення)	м/с <sup>2</sup>	-0,99 ... 0,99
Пройдений шлях	км	0...9999999
Додаткова інформація		
Тиск гальмівної магістралі	МПа	До 0,98
Тиск в гальмівному циліндрі	МПа	До 0,98
Тиск в магістралі підживлення	МПа	До 0,98

Таблиця 2.2 - Перелік параметрів, що одержуються за допомогою системи контролю палива

Параметр	Одиниці вимірювання	Межі вимірювання
Основна інформація		
Температура палива	<sup>0</sup> С	-50 ...+60
Щільність палива	кг/м <sup>3</sup>	766-905
Рівень палива	мм	0...9999999
Об'єм палива		-
Додаткова інформація		
Маса палива	кг	500-9000

Комплекс реєстрації параметрів дизель-генераторної установки КРПД призначений для реєстрації та зберігання параметрів роботи дизель-генераторної установки (ДГУ), контролю технічного стану ДГУ, виявлення си-

туацій, близьких до несправності та надання цієї інформації з оцінки компетентним спеціалістом (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Перелік параметрів, що одержуються за допомогою комплексу реєстрації параметрів дизель-генераторної установки

Параметр	Одиниці вимірювання	Межі вимірювання
Основна інформація		
Частота обертання колінвала	об/хв	10...2000
Напруга тягового генератора	В	До 1000
Струм тягового генератора	А	До 4000
Тиск мастила	Па	Не більше 10
Температура мастила	°С	Не більше 130

КРПД може застосовуватися на колійних машинах та тепловозах, призначених для водіння вантажних, вантажопасажирських та пасажирських поїздів або для маневрової роботи.

Перелічені вище системи передають весь перелік одержуваних даних про технологічні параметри тепловоза на спеціальну CAN шину, що об'єднує дані системи в єдину мережу (рис. 2.1).

Пристрій узгодження призначений для поєднання системи моніторингу бортових параметрів тепловоза та супутникової системи передачі даних. Для виконання цієї функції пристрій включає себе програмований контролер здатний взаємодіяти з CAN шиною тепловоза, а також володіє інтерфейсом RS232 для передачі даних у зовнішні пристрої. Контролер виконує завдання збору та попередньої обробки телеметричної інформації, що надходить за допомогою CAN шини з метою передачі інформації по супутниковому каналу.

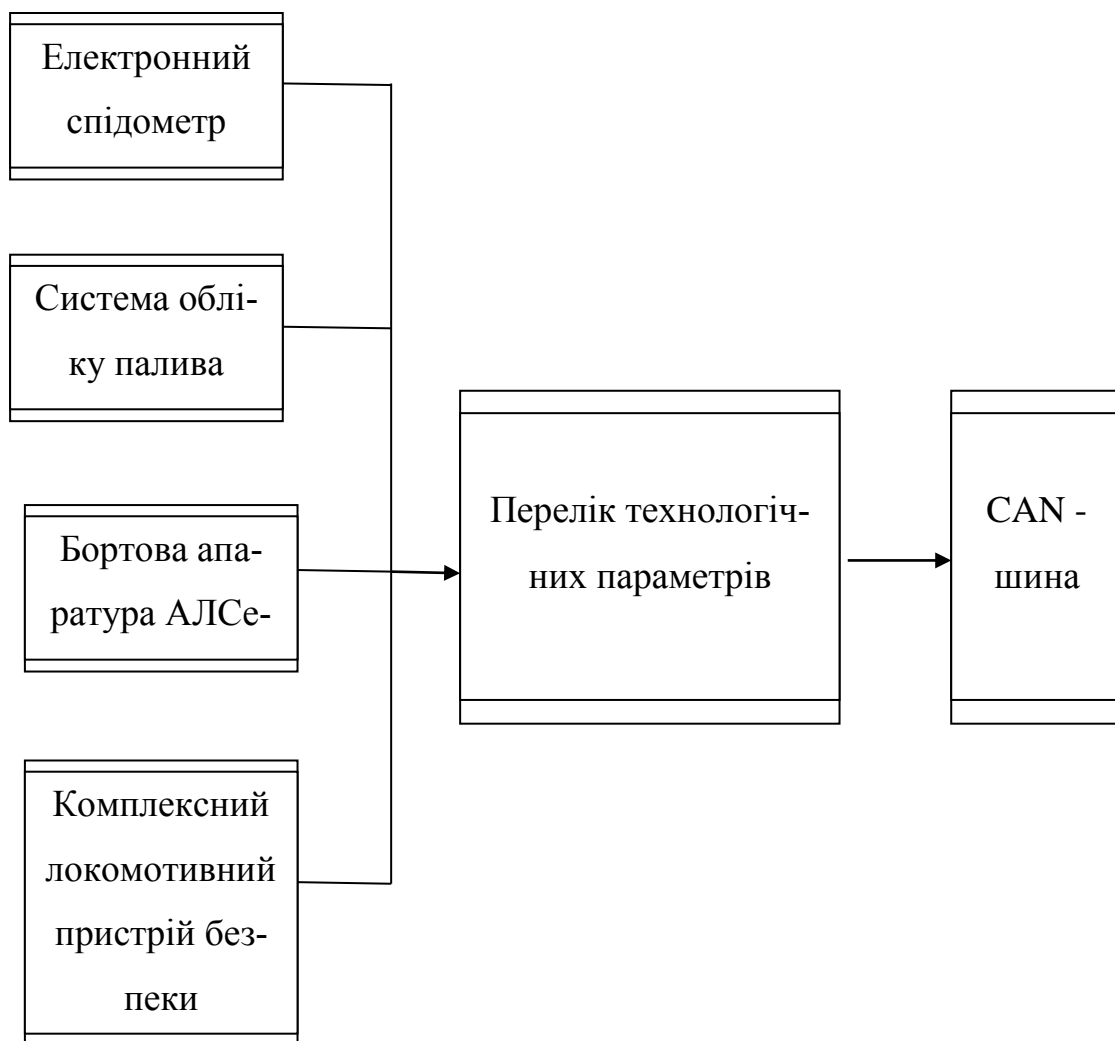


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою узгодження (CAN – контролера)

CAN шина набула широкого поширення в промисловій автоматичі, галузях авіації, автомобільного та залізничного транспорту завдяки високим швидкостям передачі даних та надійності.

Застосування CAN шини надає такі переваги:

- висока надійність роботи за рахунок автоматичного відключення від мережі вузлів, що вийшли з ладу;
- відсутність ієрархії серед вузлів мережі, іншими словами, функціонування мережі не застосовується схема «провідний» – «відомий»;
- кожен вузол мережі здатний отримувати будь-яку передається по шині;

- висока стійкість до перешкод за рахунок придушення синфазних перешкод диференціальним приймачем;

- наявність арбітражу повідомлень, що дозволяє уникнути пошкодження інформації, що передається при виникненні конфлікту в мережі.

Отримання телеметричної інформації тепловоза для отримання інформації про параметри руху тягового рухомого складу необхідна наявність фізичної сполуки контролера з шиною CAN, а також опис CAN протоколу, що використовується системою моніторингу параметрів руху тепловоза. Як фізичного підключення до шини необхідно використовувати два сигнальні дроти CAN-H та CAN-L. Ідентифікація пакетів, що передаються шиною з метою визначення належності значення певного параметра руху відбувається на основі опису застосованого протоколу.

Обробка даних телеметрії з метою передачі супутниковим каналом зв'язку включає:

- виділення корисної інформації з отриманого повідомлення;
- формування телеметричного кадру відповідно до обраної розробником структурою;
- прив'язка кадру до географічних координат та часу.

Передача отриманого телеметричного кадру здійснюється за допомогою одного з інтерфейсів передачі даних, реалізованих на контролери, наприклад: USB, Ethernet, UART, RS232 та інші. Загальна схема отримання технологічних параметрів ТПС та загальна схема передачі технологічних параметрів ТПС за допомогою супутникового каналу зв'язку наведено на рисунках 2.2 та 2.3.

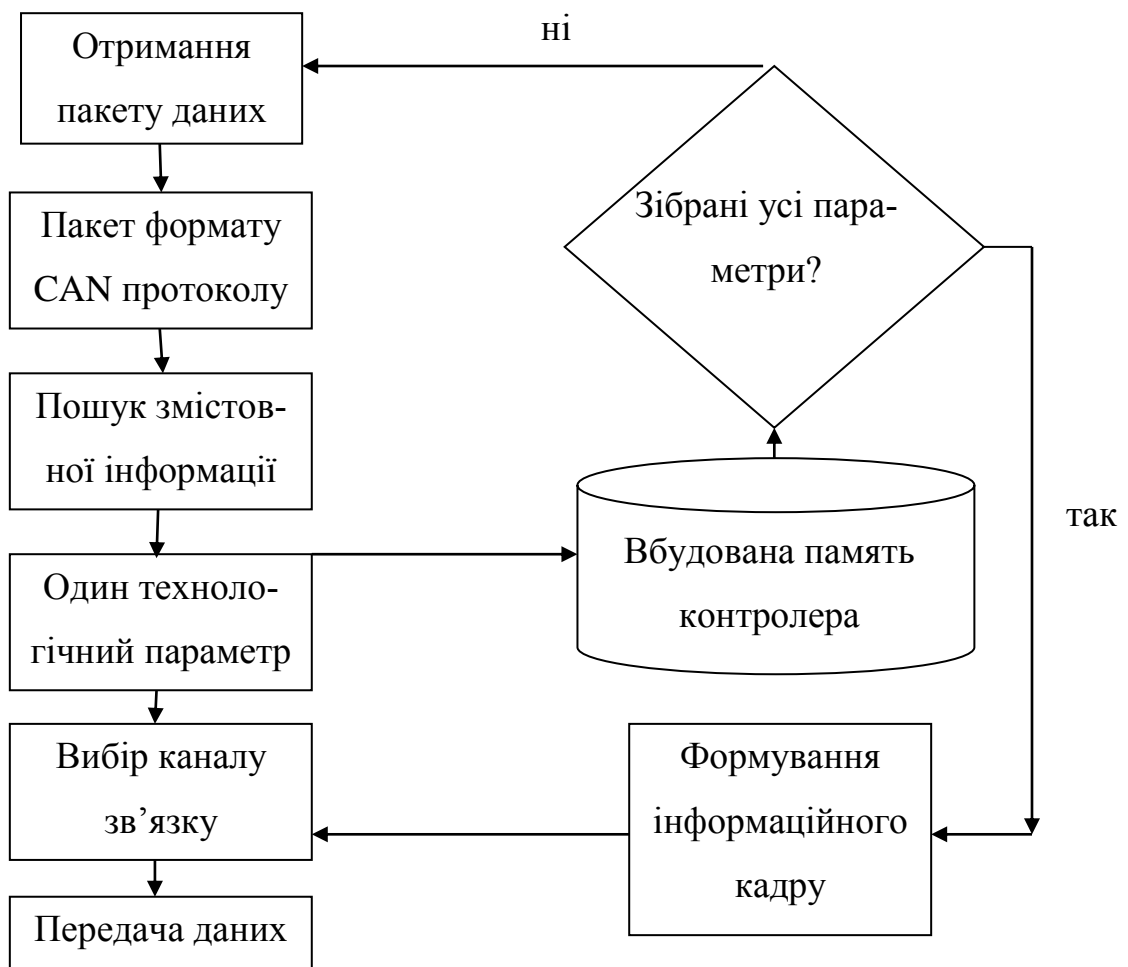


Рисунок 2.2 – Алгоритм отримання технологічних параметрів TPC

Передбачається, що розмір одного телеметричного кадру складає 250кбіт.

На виході узгоджувального пристрою (контролера CAN) інформаційні дані у вигляді послідовного порту RS232 надходять у сервер MOXA серії Nport IA5150. Сервер NPort IA (рис.2.4) використовується для з'єднання промислового обладнання з послідовним інтерфейсом до мереж Ethernet.

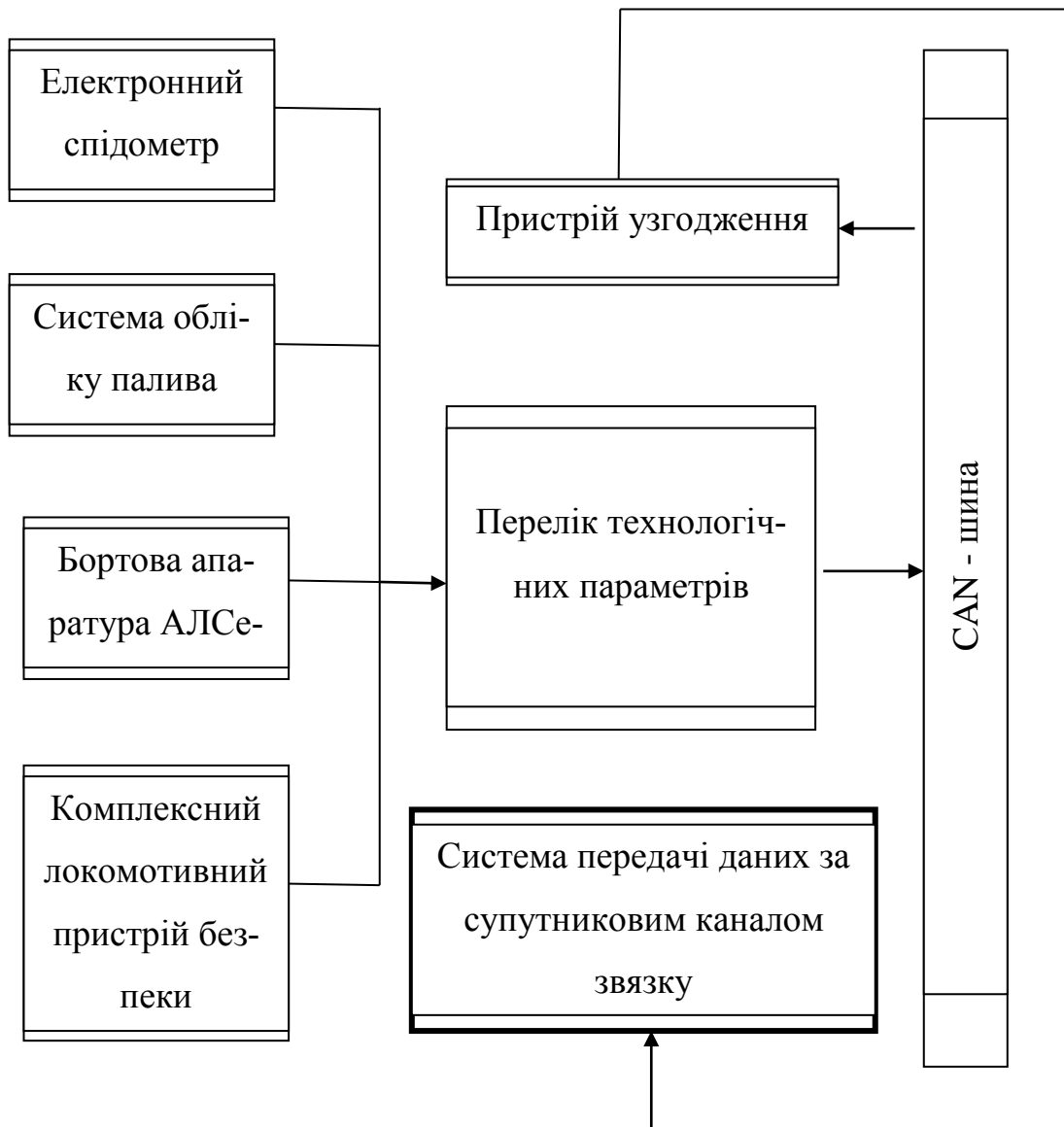


Рисунок 2.3 – Структурна схема передачі технологічних параметрів ТРС засобами супутникового каналу зв'язку

Використання цього сервера обумовлюється необхідністю перетворення формату даних, одержуваних з пристрою погодження Ethernet пакети для подальшої передачі супутниковим каналом. Здатний підтримувати наступні протоколи: TCP Client, TCP Server, Real COM, UDP, PairConnection та EtheretModem.



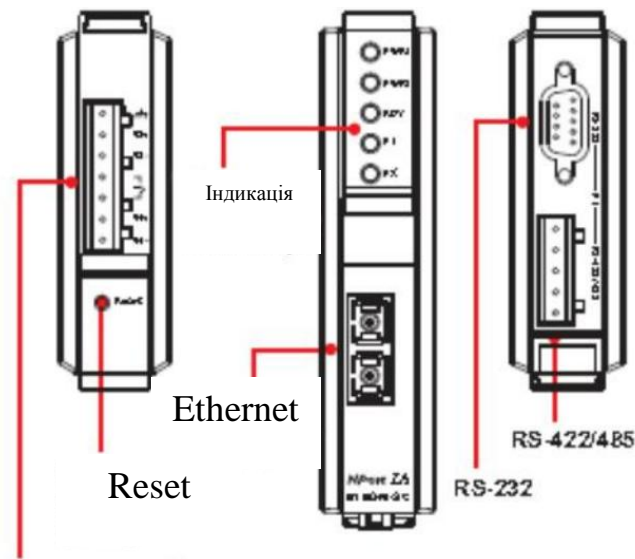
Рисунок 2.4 – Сервер MOXA серії Nport IA5150/5250

Дані передаються з інтерфейсів RS-232/422/485, забезпечуючи сумісність з наявним ПЗ при підключенні допоміжних пристроїв: вимірювальні прилади, контролери, електроприводи, двигуни, дисплеї операторів та сканери штрих-кодів.

Управління пристроями промислової автоматизації, що мають інтерфейс RS-232/422/485 здійснюється сервером NPort IA. Існує два різновиди вище вказаного сервера: з одним і двома послідовними портами портом і двома послідовними портами RS-232/422/485.

Нижче на рис. 2.5 наведено позначення всіх вхідних (RS-232/422/485) та вихідних (Ethernet) портів, а також світлодіодних індикаторів.

Верхня панель    Передня панель    Нижня панель



Резервне живлення

Рисунок 2.5 –Серверне обладнання серії NPort IA5150

Нижче, в таблиці 2.4 наведено маркування портів сервера серії NPort IA5150.

Таблиця 2.4

Назва	Колір	Функція
PWR1, PWR2	червоний	Подане живлення на PWR1, PWR2
RDY	червоний	Блимає: конфлікт IP-адреси, спрацювання виходу реле або некоректна відповідь сервера DHCP/BOOTP. Горить: Живлення увімкнено, йде завантаження NPort IA.
	зелений	Блимає: Функція Location утиліти NPort Administrator вказує на розташування сервера Горить: Живлення підключено та NPort IA працює штатно.
	вимкнено	Не подане живлення на PWR1, PWR2
Ethernet	оранжевий	Швидкість Ethernet 10 Мбіт/сек.
	зелений	Швидкість Ethernet 100 Мбіт/сек.

	вимкнено	Ethernet-кабель не підключений/несправний.
FX	оранжевий	Блимає: прийом/передача даних. Світиться: режим очікування.

У таблиці 2.5 наведено технічні характеристики серверів серії NPort IA.

Таблиця 2.5

#### Технічні характеристики серверів серії NPort IA

Найменування сервера	Споживаний струм	Напруга	Робоча температура
NPort IA5150I 12	360 мА	~ 48 В	0 ~ 55°C
NPort IA5150-S-SC	420 мА	12 ~ 48 В	0 ~ 55°C
NPort IA5250	440 мА	12 ~ 48 В	0 ~ 55°C

На виході сервера MOXA маємо послідовний порт Ethernet 1, що далі підключається до входу Ethernet комутатору (Ethernet 2) серії MikroTik RB2011 UiAS-2HnD.

Ethernet-комутатор серії MikroTik Зважаючи на фізичне обмеження наявності Ethernet портів на супутниковому модемі, необхідних для передачі моніторингових та мультисервісних даних по супутниковому каналу зв'язку, супутникову телеметричну систему моніторингу вводиться Ethernet-комутатор серії MikroTik.

MikroTikRouterBoard 2011UAS-RM – це мультипортовий від компанії Mikrotik. Він призначений для використання усередині приміщення. Маршрутизатор обладнаний високопродуктивним процесором Atheros AR9344 з частотою 600 МГц та оперативною пам'яттю 128Мб. Такі технічні дані у поєднанні з фірмовим програмним комплексом RouterOS з ліцензією п'ятого рівня дозволяють цьому маршрутизатору виконання безлічі завдань у професійному сегменті.

MikroTik RouterBoard 2011UAS має десять мережевих портів, здатних самостійно визначати швидкість підключення. П'ять з яких є 10/100/1000 Mbit Gigabit Ethernet портами, а інші п'ять є 10/100.

Mbit Fast Ethernet портами. Комутатор також обладнаний роз'ємом для SFP трансіверів.

Розміри металевого корпусу MikroTik RouterBoard 2011UAS-RM (рис. 2.6) відповідають форм-фактору 1U, що означає можливість установки маршрутизатора в комутаційну стійку, що встановлюється в кабіні машиніста. Електроживлення пристрою може виконуватися завдяки блоку живлення з напругою 8-28 В через спеціальний роз'єм, а також по протоколу PoE. Максимальна споживана потужність складає 15 Вт.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд MikroTik RouterBoard 2011UAS-R

У таблиці 2.6 наведено технічні характеристики комутатора MikroTik RouterBoard 2011UAS-R.

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики Ethernet-комутатора MikroTik RouterBoard 2011UAS-R

Бренд	MikroTik RouterBoard 2011UAS-R
Тип обладнання	промисловий маршрутизатор
Частота процесора	600 MHz
Размір оперативної пам'яті	128 MB
Порти та інтерфейси	5 x 10/100 Mbit Fast Ethernet порт з Auto-MDI/X 5 x 10/100/1000 Mbit Gigabit Ethernet порт з Auto-MDI/X 1 ×

	SFP port
Служби	Auto VPI/VCI detection DDNS DHCP DHCP Server DLNA DMZ DNS DNS Proxy IGMP NAT NTP Client PPP Port Forwarding Port Triger SNMP System Event Log UPnP Universal Repeater Virtual Server
Способы підключення WAN	DHCP L2TP PPPoE PPTP статичний IP
Споживана потужність	15 Watts

SkyEdge II Pro RM – приймально-передавальний VSAT-термінал модульного типу, що забезпечує широкосмуговий IP-доступ, а також групову адресацію. Застосовується для забезпечення широкосмугового доступу до Інтернету, підтримує мультимедійні програми та телефонний зв'язок (рис. 2.7). Встановлюється у стійку, що знаходиться в кабіні машиніста.



Рисунок 2.7 – Супутниковий модем SkyEdge II Pro RM

SkyEdge II Pro працює із використанням стандартів DVB-S2, DVBRCS. Застосування адаптивної модуляції та кодування (ACM) для вихідних каналів стандарту DVB-S2 дозволяє ефективно використовувати смугу пропускання та забезпечує високу експлуатаційну готовність.

Mesh карта знижує затримку при зв'язку між двома терміналами VSAT.

Підключення до PC забезпечується чотирма роз'ємами. Також термінал може мати додаткові роз'єми (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Термінал SkyEdge II Pro RM, вид ззаду

Послідовність підключення:

- 1) Ethernet-кабель з'єднує LAN-порти комп'ютера та супутникового терміналу;
- 2) живлення 220 В через роз'єм DC IN;
- 3) через роз'єми Tx і Rx через коаксіальний кабель йде з'єднання із супутниковим терміналом. Rx - вхідний, Tx - вихідний.

Відмінні риси модему SkyEdge II Pro:

- висока швидкість вхідного каналу та вихідного каналу;
- Високий коефіцієнт готовності;
- прискорення HTTP, TCP, VPN;
- підтримується MESH карта;
- слоти розширення (4 шт.);
- підтримка QoS, що дозволяє якісно передавати голосовий та відео трафік, надавати доступ до Інтернету. для високоякісної передачі VoIP-, відео-трафіку та доступу до Інтернету;
- 19-дюймове стійкове виконання, 1U;
- термінал VSAT та з використання стандартів з розширеною функціональністю DVB-S2 та DVB-RCS.

У таблиці 2.7 наведено основні технічні характеристики супутникового терміналу SkyEdge II Pro RM

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики супутникового терміналу SkyEdge II PRO

Параметри	Характеристики
Вихідний канал	Використовуються стандарти: DVB-S2 ACM, DVB-S - Швидкість: від 256 кбіт/с до 45 Мбіт/с - Модуляція: 32ASPK, QPSK, 16APSK, 8PSK. - Перешкодостійке кодування: BCH (DVB-S2) та

	LDPC.
Канал запитів	<p>Передавач: Ku, ExtKu з потужністю 2Вт-20Вт;  С, Ext С з потужністю 4Вт-20Вт; Ка-діапазон з потужністю 4Вт</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Зовнішній: 6Вт BUC та вище; Внутрішній: від 24В до 4Вт BUC; Ku, ExtKu, С, Ка</li> <li>- Приймач: тип стандартний або PLL</li> <li>- розмір типової антени: С-діапазон: 1.8 м; Кадіапазон та Ku-діапазон: від 0.55 м до 1.2 м;</li> </ul>
Характеристики IP	<p>IP-функціональність - расширенная: IP prioritization, Multi VRF &amp; VLAN, IGMP, IPv6, NAT/PAT, RIP, DHCP, VRRP.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VLAN - поддержка до 8, DiffServ, ACL</li> <li>- BandwidthonDemand, Multi-LevelQoS и MPN, TCP&amp;HTTP ускорение,</li> </ul>

Далі всі дані, що знімаються з датчиків ТПС, проходячи через супутниковий термінал SkyEdge II PRO RM, що послідовно підключаються з антеною системою, супутниковим передавачем Wavestream потужністю 40W, виробництва компанії Gilat (Ізраїль), а також приймачем PLL LNB.

Обидва працюють у діапазоні (RF) L-Band. Приймач та передавач підключаються з рухомою двоспрямованою антеною системою. У цій роботі пропонується використання антени RaySat ER – 7000, яка призначена для промислового використання в поїздах та великих транспортних засобів.

### **2.2.2 Обґрунтування та вибір рухомої супутникової антени RaySat ER-7000**

RaySat ER-7000 від Gilat - це надійна низькопрофільна двосмугова антенна система (рис. 2.9), яка дозволяє здійснювати широкосмуговий супутниковий

зв'язок у режимі реального часу та під час руху ГПС для передачі відео, голосу та даних.

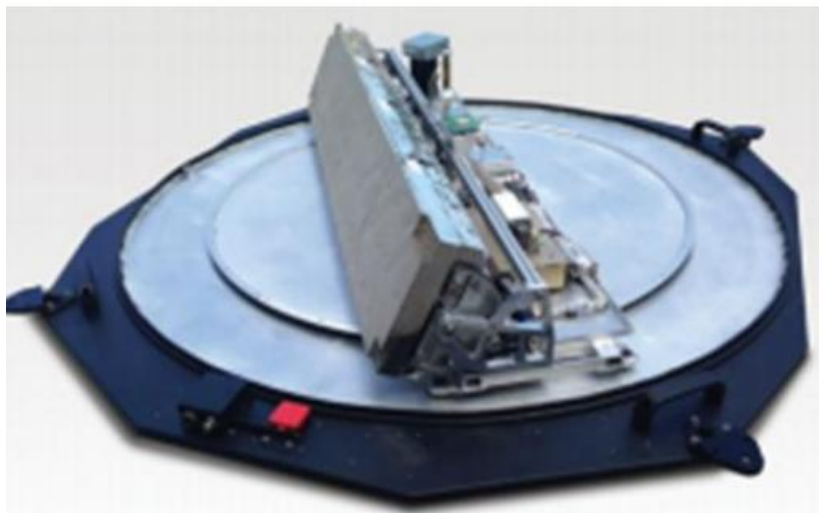


Рисунок 2.9 – Рухома двоспрямована антенна система RaySat ER – 7000

Технічні характеристики супутникової рухомої антени дано в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики антени RaySat ER – 7000

Параметри	Характеристики
Частотний діапазон:	Приймання: 10.95 - 12.75 ГГц, Передача: 14.0 - 14.5 ГГц
Діапазон проміжних частот (вхід)	Вхід: 950 - 1450 МГц Вихід: 950 - 1450 МГц
Коефіцієнт добротності	13.0 дБ/°К
Ефективна потужність (Ізотропна)	52 дБВт
Напруги	DC 12-24В, AC 110-220В (ант)
Передатчик	до 40Вт
Швидкість обертання по азимуту	150°/с
Швидкість наведення на супутник	<12 с

Антенa RaySat ER-7000 максимізує пропускну здатність, використовуючи високоефективну хвилеводну панель, а її мінімальний розмір та вага забезпечують легкий та безпечний монтаж автомобіля. ER7000 оснащений декількома бортовими датчиками стеження, які забезпечують точне відстеження, найкоротше початкове отримання та миттєвий час повторного виявлення після втрати сигналу.

ER7000 може бути розгорнутий як частину повного інтегрованого терміналу SOTM, що складається з антени, Gilat BUC та модему Gilat GLT1000, керованого єдиною системою управління. При інтеграції із сторонніми модемами антена поставляється з блоком керування антеною (ACU).

Антена Raysat ER-7000 підключається до модему SkyEdge II PRO RM (пристрій темного кольору), послідовно підключаючись з контролером супутникової антени. Контролер має високу точність автоматичного наведення. Панель контролера забезпечена клавіатурою та LCD-дисплеєм, роз'ємами для підключення зовнішніх пристроїв.

Підключення антени Raysat ER-7000 із супутниковим модемом здійснюється за допомогою кабелів Tx та Rx. Як було згадано вище, один кабель йде прийом (Rx) інформації, а інший - на передачу (Tx).

Налаштування супутникового модему здійснюватиметься машиністом ТПС за допомогою персонального комп'ютера, що буде на борту ТПС.

Підключення ПК та супутникового модему SkyEdge II PRO RM буде здійснюватись через комутатор МІКРОТІК (послідовний порт RJ45), а також за допомогою спеціального програмного забезпечення встановленого на ПК машиніста.

### **2.3 Висновки за розділом**

У даному розділі розроблено конструктивні рішення щодо побудови супутникової телеметричної системи контролю параметрів руху тягового рухомого складу (ТРС). Система призначена для забезпечення безперервного

моніторингу технічних і динамічних параметрів локомотивів, збирання, передавання та оброблення інформації у реальному часі.

Основними задачами системи є:

- вимірювання швидкості, прискорення, положення на маршруті, температури вузлів і споживаної потужності;
- забезпечення телеметричного каналу зв'язку між бортовим комплексом та наземною станцією управління;
- синхронізація даних з супутниковою навігаційною системою (GPS);
- мінімізація енергоспоживання при збереженні високої достовірності передачі сигналів.

У конструкції системи застосовано модульний принцип, який дозволяє адаптувати її під різні типи рухомих складів. Передбачено розподіл функцій між бортовими, комунікаційними та серверними модулями. Канал зв'язку реалізовано з використанням сучасних технологічних рішень

з резервним GSM-модулем.

Для підвищення точності контролю параметрів руху передбачено інтеграцію інерціальної навігаційної підсистеми, що дозволяє корегувати GPS-дані при втраті супутникового сигналу. Передача телеметрії здійснюється у форматі з існуючими центрами оброблення даних.

Основна увага приділена підвищенню надійності вимірювальних каналів, оптимізації енергоспоживання та покращенню завадостійкості передавання даних.

Удосконалення стосується, насамперед, впровадження інтелектуальної фільтрації даних безпосередньо на борту — до передачі в телеметричний канал. Це дозволяє скоротити обсяг трафіку на 25–30 %, зменшити затримку при передачі та підвищити загальну ефективність системи.

Крім того, застосування адаптивного алгоритму управління енергоспоживанням дозволило збільшити автономність системи до 48 годин без підзарядки.

## 4 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

### 4.5 Енергетичний розрахунок та дослідження лінії зв'язку для супутникового каналу

В рамках реалізації дослідницької частини магістерської роботи розглянемо як центральну наземну станцію (ЦНЗС) станцію, розташовану в м. Полтава, де буде центр прийому бортових параметрів тепловоза Як віддалений термінал приймемо рухому станцію RaySat E-7000, розташовану на даху ТРС.

Для розрахунку супутникової лінії зв'язку у прямому та зворотному каналах розглянемо найгірший сценарій відправлення та прийому супутникового сигналу зв'язки з погляду метеорологічних та географічних умов. Для цього була обрана Полтавська область осінньої пори року, з підвищеним рівнем вологості, що негативно відбивається на супутниковий сигнал.

Визначимо коефіцієнт підсилення для супутникової станції за формулою [12]:

$$G = 10 \log \eta (\pi D \lambda), \quad (3.1)$$

де  $D$  – діаметр антени;

$\lambda$  – довжина хвилі;

$\eta$  – коефіцієнт ефективності посилення.

Для рухомої супутникової станції RaySat E-7000 (прямий канал):

$$G = 10 \log 0,6 (\pi \cdot 0,6 \cdot 30 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^8) = 35,89 \text{ Дб} \quad (3.2)$$

Для центру зв'язку (прямого каналу) маємо:

$$G = 10 \log 0,7 (\pi \cdot 1,8 \cdot 30 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^8) = 45,36 \text{ Дб} \quad (3.3)$$

Проведемо розрахунок для лінії рухома станція - супутник:

$$EI_{RP} = Pt \cdot Gt, \quad (3.4)$$

де  $Pt$  – потужність, що передається, Дб\*Вт;

$Gt$  – коефіцієнт підсилення для станції, що передає.

Таким чином, для передавальної станції [13] маємо:

$$EI_{RP} = 9,64 + 35,89 = 48,2 \text{ ДбВт} \quad (3.5)$$

Для наземної станції у м. Полтава:

$$EI_{RP} = 6,23 + 45,36 = 51,59 \text{ ДбВт} \quad (3.6)$$

Відстань від наземної станції до супутника розраховується за формулою [14]:

$$d = 42644 \sqrt{1 - 0.2954 * \cos \varphi}, \quad (3.7)$$

де  $\cos \varphi = \cos \gamma \cos \beta$ ,

де  $\gamma$  – широта розташування наземної станції,

$\beta$  – різниця довготи орбітального супутника та наземної станції,

$d$  – відстань від наземної станції до орбітального супутника, км.

Підставляючи вихідні дані у формулу (3.7), отримаємо такі результати: для Полтави:

$$d = 42644 \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos 430150 \cos 18,050} = 38028.11 \text{ км}, \quad (3.8)$$

Для супутникової станції маємо:

$$d = 42644\sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos 510370 \cos 22,430} = 38824.439 \text{ км}, \quad (3.9)$$

Проведемо розрахунок кута місця та азимуту на орбітальний супутник з наземних станцій [15]:

$$\text{Азимут} = 1800 - \arctg(\operatorname{tg}\beta/\sin\tau), \quad (3.10)$$

$$\text{Кут місця} = \arctg(\sin\tau) \quad (3.11)$$

де  $\tau = \gamma - \beta$ ,

$\tau$  - довгота супутникової точки, у градусах;

$\gamma$  - довгота наземної станції, у градусах;

$\beta$  – широта наземної станції, у градусах.

Таким чином, підставивши вихідні дані у формули (3.10) та (3.11), отримаємо такі результати:

для рухомої станції:

$$\text{Азимут} = 1800 - \arctg(\operatorname{tg}18,05^0/\sin 43,15^0) = 207,850, \quad (3.12)$$

$$\text{Кут місця} = \arctg(\sqrt{\sin 18,05}) = 27,560 \quad (3.13)$$

для наземної станції у м. Полтава:

$$\text{Азимут} = 1800 - \arctg(\operatorname{tg} 22,43^0 / \sin 51,37^0) = 205,930, \quad (3.14)$$

$$\text{Кут місця} = \arctg(\sqrt{\sin 0,15126^0}) = 35,750. \quad (3.15)$$

Проведемо розрахунок згасання енергії супутникового сигналу у вільному просторі за формулою:

$$L = 20 \lg (4\pi d / \lambda) \quad (3.16)$$

де  $L$  – згасання енергії, дБ;

$\lambda$  - довжина хвилі, м;

$d$  - відстань між супутником і центром зв'язку, м;

Таким чином, для згасання енергії сигналу у вільному просторі на лінії Земля - супутник ( $f = 14$  ГГц,  $\lambda = 0,021$  м) матимемо:

$$L \uparrow = 20 \lg (4 \cdot 3.14 \cdot 38824 \cdot 0,021 \cdot 439 \cdot 10^3) = 207.19 \text{ дБ} \quad (3.17)$$

а на лінії супутник - Земля ( $f = 11$  ГГц,  $\lambda = 0,027$  м) отримаємо:

$$L \uparrow = 20 \lg (4 \cdot 3.14 \cdot 38824 \cdot 0,027 \cdot 439 \cdot 10^3) = 204.89 \text{ дБ} \quad (3.18)$$

Так само розраховується згасання у вільному просторі [16-18] для наземної станції у м. Полтави.

Для оптимального розрахунку розглядається найгірший випадок по зоні покриття на лінії вгору при передачі з E-7000 і лінії вниз при прийомі на E7000. Використовується транспондер D02 супутника Sat-3 (табл.3.1).

Підставивши у формулу (3.16) вихідні дані, отримаємо загасання на лінії Земля-супутник:

$$L \uparrow = 20 \lg (4 \cdot 3.14 \cdot 38028 \cdot 0,021 \cdot 11 \cdot 10^3) = 207.01 \text{ дБ} \quad (3.19)$$

а на лінії супутник - Земля:

$$L \uparrow = 20 \lg (4 \cdot 3.14 \cdot 38028 \cdot 0,027 \cdot 11 \cdot 10^3) = 204.84 \text{ дБ} \quad (3.20)$$

Таблиця 3.1- Вибір супутникового каналу для розрахунку лінії зв'язку рухомої антени RaySat-3 E-7000

Satellite	SAT3	Transponder Configuration	1375 D02:KZ3-1-H-1-V
Resource Request	AST SE2 E7000-.8FA1m	Customer	Astel
Resource Request ID	18092006	Carrier Type	AST 1024 QPSK 3/4

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для енергетичного розрахунку прямого каналу рухомої антени RaySat-3 E-7000 на лінії «вгору»

Antenna Name	ast E-7000 wost case up
Latitude (°N)	51.374
Longitude (°E)	80.932
Azimuth (°)	207.853
Elevation (°)	27.56
Sat Range (Km)	38824.439
Diameter (m)	0.6
EI <sub>RP</sub> Min (dBW)	20.0
EI <sub>RP</sub> Max (dBW)	51.52
HPA to Tx antenna losses (dB)	0.5

Таблиця 3.3- Вихідні дані для енергетичного розрахунку прямого каналу рухомої антени RaySat-3 E-7000 на лінії «вниз»

<b>Uplink</b>	
Station HPA (W)	3.88
Tx Gain (dB)	46.69
Antenna Transmit EIRP (dBW)	51.59
RR uplink Cent. Freq. (MHz)	14072.9968
Total attenuation (dB)	210.61
Free space loss (dB)	207.01
Gaseous attenuation (dB)	0.07
Rain attenuation (dB)	3.44
Power flux density (dBW/m <sup>2</sup> )	-114.21
Uplink gain correction (dB)	1.69
Satellite antenna ref gain (dBi)	32.77
C/I (dB)	24.18
Uplink C/N (dB)	20.59
<b>Downlink</b>	
RR downlink Cent. Freq. (MHz)	11022.9968
Total attenuation (dB)	204.92
Free space loss (dB)	204.84
Gaseous attenuation (dB)	0.09
Rain attenuation (dB)	0.0
Downlink gain correction (dB)	0.96
Downlink antenna ref gain (dBi)	31.23
Satellite EIRP at ref (dBW)	26.58
Satellite EIRP Rx ES (dBW)	27.54
C/I (dB)	54.89
Downlink C/N (dB)	6.05

Таким чином, був зроблений енергетичний розрахунок лінії зв'язку для супутникового каналу 1Мбіт/с. Вибір даної швидкості сприймається як оптимальний для забезпечення передачі даних, а також аудіо-відео сигналу.

Таблиця 3.4 - Вихідні дані для енергетичного розрахунку «найгірший варіант»

<b>Total link</b>	
C/N (dB)	5.83
Service Availability Type	Optimized
Service availability (%)	99.96
Required Eb/N0 (dBHz)	4.0
Margin (dB)	0.07
Bw utilization (%)	1.52
Power utilization (%)	0.32
<b>Transponder</b>	
EIRP saturation at Ref. (dBW)	51.57
SFD (dBW/m <sup>2</sup> )	-81.87
IBO (dB)	16.79
OBO (dB)	10.72
G/T (dBi/K)	8.96
Intermodulation ratio (dB)	31.88
Up/Down Center Frequency (MHz)	14093.75 11043.75
Transponder Bandwidth (MHz)	54.0

Як показав проведений розрахунок, для наземного центру зв'язку необхідно встановити наземну станцію з антеною, діаметром не менше 1.8м з параметром 52 ДбВт [19]. Слід зазначити, готовність лінії супутникового зв'язку складає не менше 99,96% на лінії Полтави.

#### **4.6 Розроблення схемо-технічних рішень монтажу комплексної телеметричної системи моніторингу параметрів руху ТРС**

З метою гарантованої уніфікації компонентів та забезпечення прямої та зворотної сумісності обладнання, а також спрощення процедури постановки на гарантію, використовується обладнання компанії Gilat.

Структуровані кабельні мережі поділяються на підсистеми, що перебувають із функціональних елементів. Останні складаються з пасивних елементів,

групується за певними правилами [20-22]. Кожен із пасивних елементів у свою чергу, належить одній із категорій обладнання, обумовлених смугою пропускання частот (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 - Характеристики комплексної телеметричної системи

Категорія	Полоса	Розташування
3	16 МГц	C
5/5e	100 МГц	D
6	250 МГц	E
6A	500 МГц	Ea
7	600 МГц	F
7A	1000 МГц	Fa

При проектуванні рекомендується використовувати найвищі категорії, оскільки комплексна телеметрична система відноситься до систем тривалого користування, та запас по смузі пропускання сприятливо позначиться на подальшій експлуатації [23-24]. У зв'язку з цим нами обрано категорію 7 А (таблиця 3.5).

Організація супутникового каналу зв'язку із встановленням VSAT станції на тепловозі ТЕМ 2.

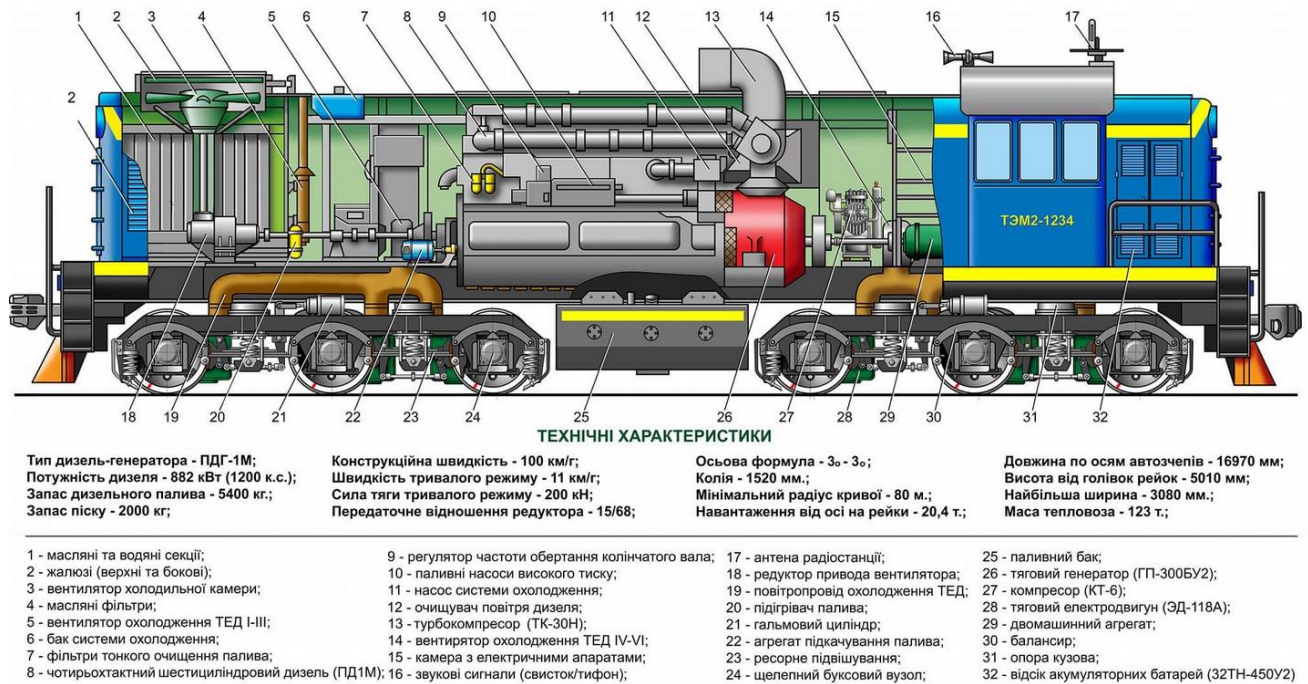


Рисунок 3.1 – Технічні характеристики тягового електровоза ТЕМ-2 та пропозиції щодо встановлення комплексної телеметричної системи зв'язку

У верхній частині, зправа, показане телеметричне обладнання, яке пропонується до встановлюється на тепловозі ТЕМ - 2.

Основним сегментом є приймально-передавальна антенна система RaySatER – 7000, встановлення та монтаж якої планується на даху тепловоза, як показано на рис.3.1.

На рис.3.2 представлений дах тепловоза з кріпленнями та кабельною прокладкою (умовне графічне позначення наведено нижче).

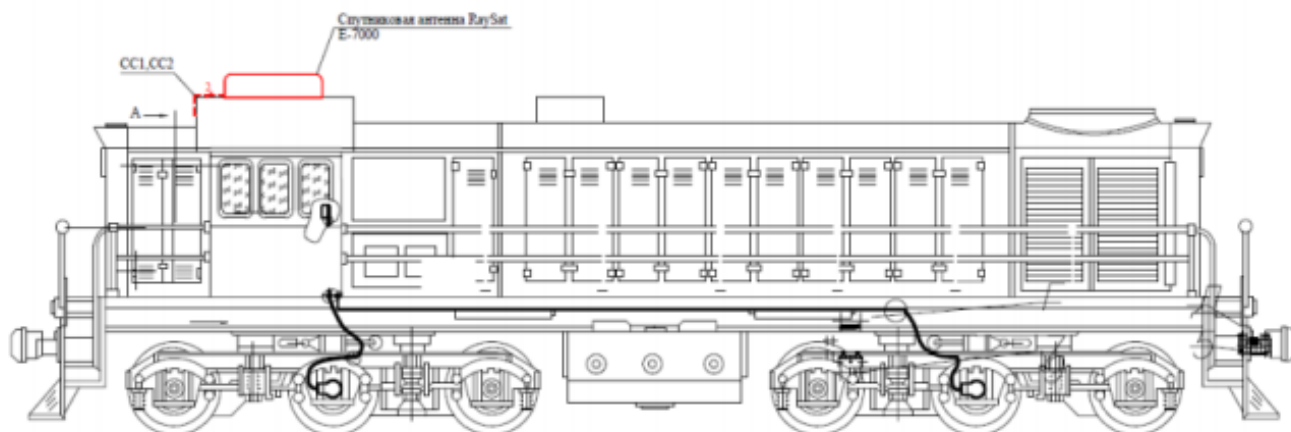


Рисунок 3.2 – Установка антени RaySatER-7000 на даху електровоза ТЕМ-2

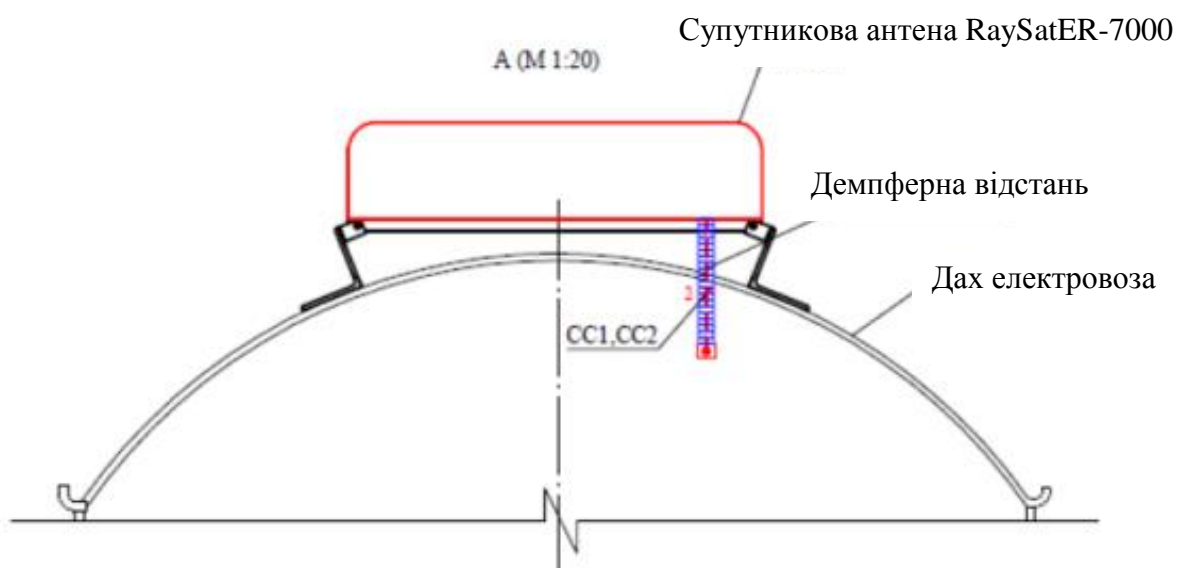


Рисунок 3.3 – Принципи монтажу супутникової антеної системи RaySatER-7000

Монтаж та прокладання кабельної мережі для антеної системи виконується з метою забезпечення надійності роботи електронного обладнання борту ТРС, для цього буде встановлено 19-дюймову шафу-контейнер, в якій буде знаходитися електронне обладнання. На рис. 3.4 представлена кабіна машиніста (вид зверху) та встановлення обладнання всередині кабіни.

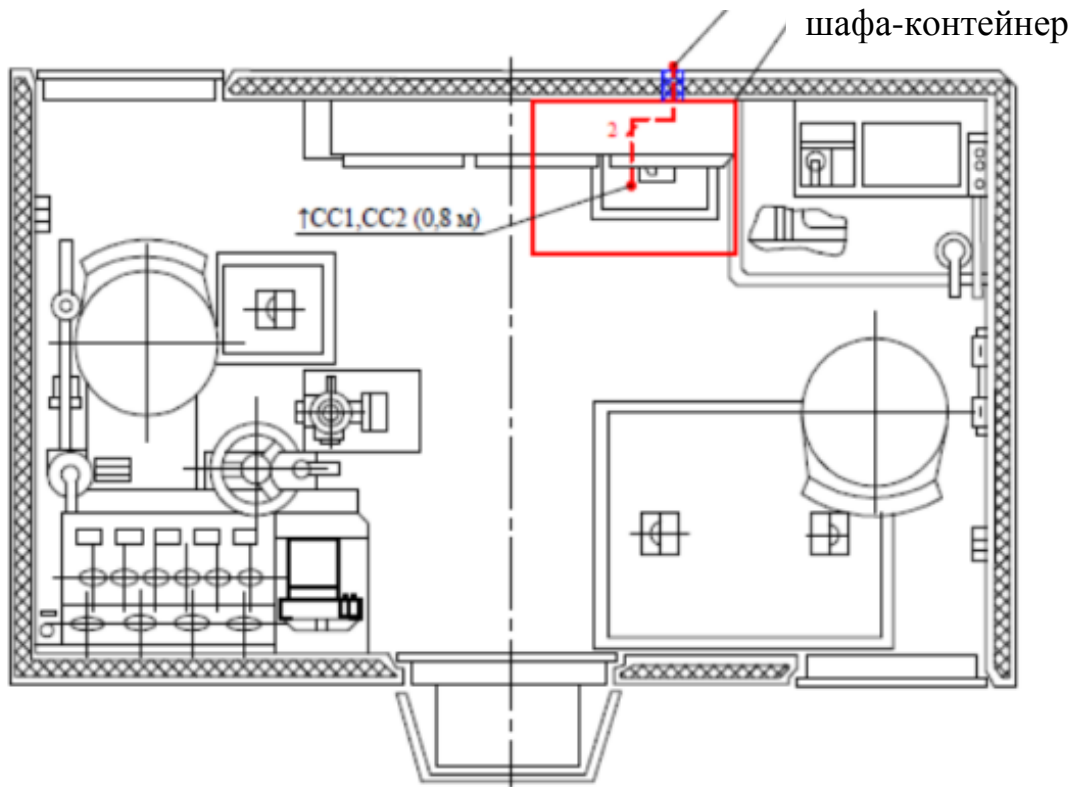


Рисунок 3.4 – Схема кабіни машиніста (вид зверху) та встановлення обладнання всередині кабіни

Монтаж та прокладання кабельної мережі для системи КВАРТА-Р1 має таку специфіку:

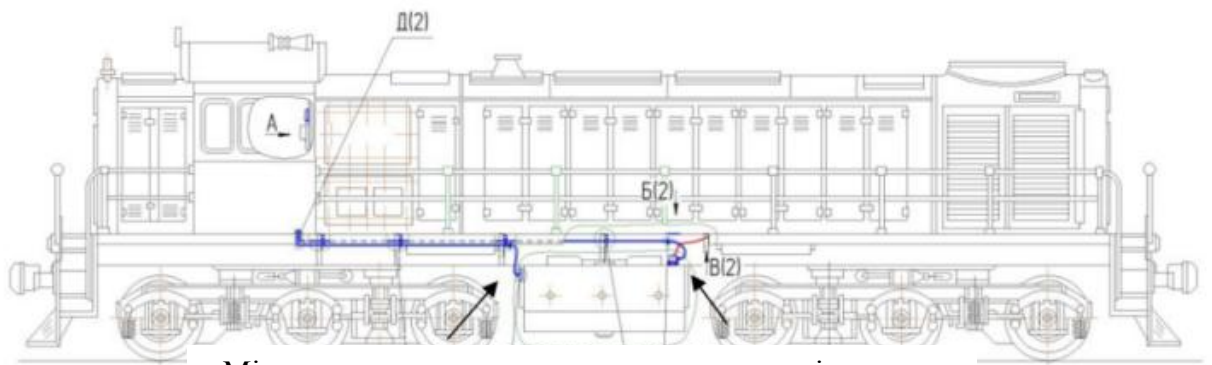
Система обліку палива КВАРТА-Р1 складається з:

- Блок обліку палива БУТ-Р1;
- двох датчиків ДУТ-ЕМ (для вимірювання рівня температури та густини палива);

Інформація, що знімається з датчиків ДУТ-ЕМ, передається в антенну систему RaySatER-7000 за допомогою шини CAN2.0A.

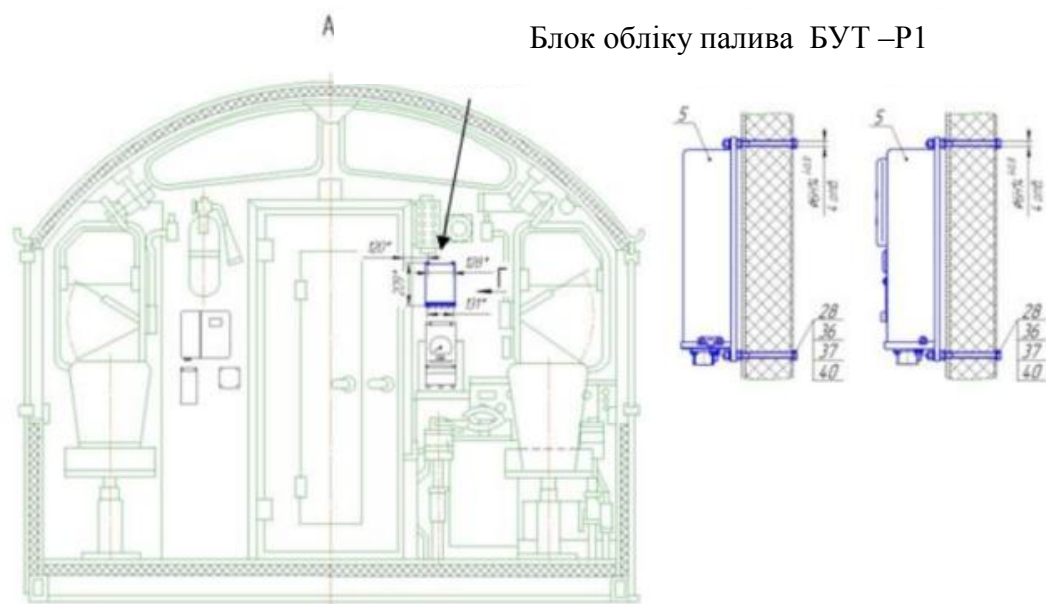
На рис.3.5 наведена установка датчиків палива ДУТ-ЕМ паливний бак ТРС. Синім кольором показана кабельна прокладка для зв'язку датчиків із сполучною панеллю. Також вказано місце встановлення датчиків.

Блок обліку палива БУТ-Р1 показаний рис.3.6.



Місця встановлення телеметричних датчиків палива  
на магістральному паливопроводі

Рисунок 3.5 – Схема встановлення телеметричних датчиків палива: си-  
нім кольором показана кабельна прокладка для зв'язку датчиків із спо-  
лучною панеллю



Блок обліку палива БУТ –Р1

Рисунок 3.6 – Схема встановлення блоку обліку палива БУТ –Р1

Комплекс реєстрації параметрів руху ККД – ЗПА складається з:  
- знімного модуля пам'яті МПМЕ;

- блоку управління БУ – ЗПА;
- панелі сполучної ПС – ЗП;
- датчиків надлишкового тиску СТЕК – 1;
- датчиків шляху та швидкості Л178.

Інформація, що знімається з датчиків СТЕК - 1 та Л178, передається в антенну систему RaySat ER-7000 за допомогою шини CAN2.0A.

На рис. 3.7 показано розташування установки системи обліку палива КВАРТА-Р1 та блок управління БУ-ЗПА.

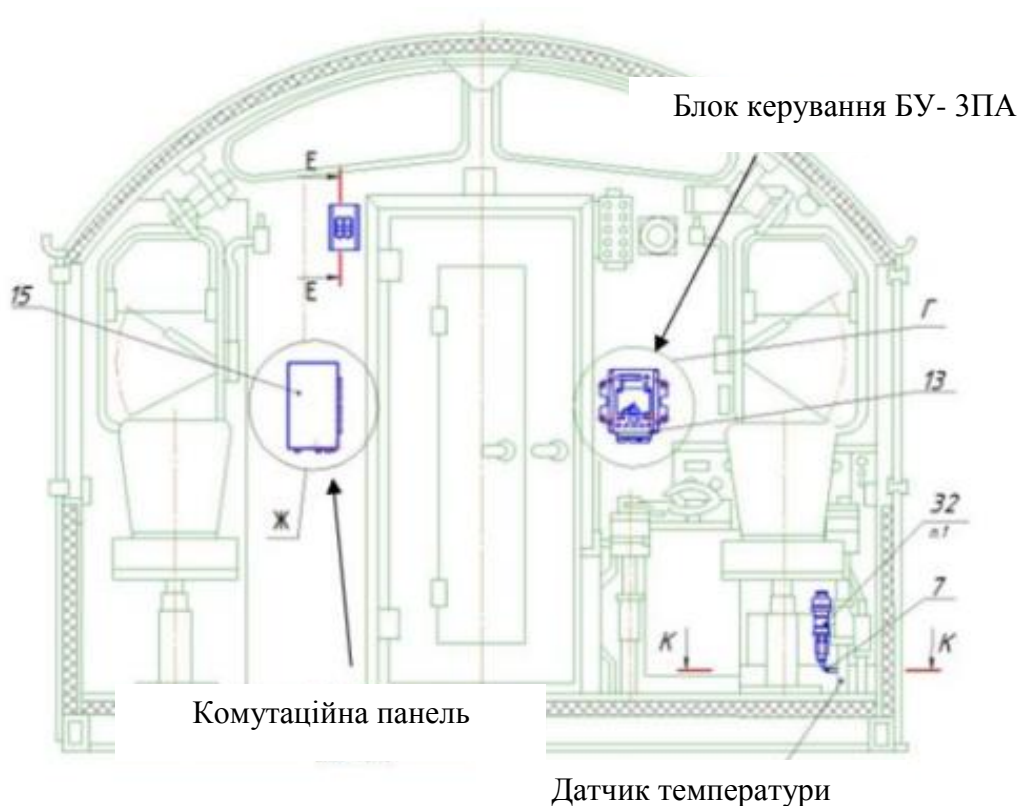


Рисунок 3.7 – Схема встановлення телеметричних датчиків палива у паливному баці

Процедура підготовки кожної наземної станції до роботи з космічним сегментом (паспортизація) включає:

- Оформлення дозволу на використання відповідних смуг радіочастот;
- Випробування земної станції (по першому та другому етапах);

- Оформлення протоколів випробувань та паспорта наземної станції.

Дозвіл на використання радіочастот та експлуатацію оформляється встановленим порядком (в уповноваженому органі).

Випробування наземних станцій проводяться поетапно з використанням відповідної методики.

#### *Перший етап випробувань.*

Автономні випробування радіобладнання проводяться операторами зв'язку та мовлення самостійно.

1. Метою першого етапу випробувань є перевірка параметрів наземної станції на відповідність даним, зазначеним заявником у заявці на надання послуг супутникового зв'язку.

2. Випробування на першому етапі проводяться власником наземної станції в автономному режимі без випромінювання НВЧ-потужності в напрямку геостаціонарної орбіти.

3. За результатами першого етапу випробувань в наземної станції складаються протоколи перевірки параметрів. У протоколах наводяться фактичні значення параметрів за результатами випробувань та значення, вказані заявником у заявці на надання послуг супутникового зв'язку.

4. За відповідністю фактичних значень параметрів випробуваної наземної станції їх заявленим значенням та наявності дозволу на експлуатацію диспетчерського пункту, сповіщають про свою готовність до другого етапу випробувань із додатком протоколів випробувань та копії дозволу на експлуатацію телекомунікаційного обладнання.

#### *Другий етап випробувань*

Метою другого етапу випробувань є перевірка за допомогою системи моніторингу зв'язку параметрів антени та високочастотних параметрів випробуваної наземної станції під час роботи з космічним сегментом.

1. Випробування на другому етапі проводяться після отримання від користувача повідомлення за п. 3 наведеного нижче. Випробування проводяться в відповідно до програми випробувань.

2. Інформацію та порядок проведення випробувань заздалегідь доводить до відома користувача.

3. Оперативне керівництво проведенням випробувань здійснює відділ моніторингу зв'язку (далі ВМЗ), для чого використовується канал службового зв'язку між ВМЗ та випробуваною станцією, організованою користувачем.

5. Канал службового зв'язку повинен функціонувати протягом усіх випробувань. При порушенні службового зв'язку випробування перериваються, а передавач земної станції негайно вимикається. Випробування можуть бути відновлено лише після відновлення службового зв'язку.

6. Кожен вихід наземної станції в режим випромінювання потужності направлення на геостаціонарну орбіту здійснюється тільки за командою оператора.

7. Перед виходом у режим випромінювання потужності у напрямку на геостаціонарну орбіту персонал наземної станції повинен переконатися в виконанні наступних умов:

- частота та вихідна потужність передавача відповідають необхідним значенням, попередньо узгодженим з оператором;
- побічні та позасмугові випромінювання на виході передавача нижче допустимого рівня.

8. Передавач наземної станції повинен включатись тільки на час безпосереднього проведення випробувань.

9. Результати вимірювань, проведених у ході другого етапу випробувань, користувач та оператор оформляють відповідними протоколами та направляють їх у диспетчерський пункт для подальшого аналізу та прийняття рішення про допуск до космічного сегменту. Результати аналізу повідомляє користувачеві у 3-денний термін після завершення другого етапу випробувань.

10. За результатами аналізу випробувань та подання користувачем паспорту наземної станції з перевіреними технічними параметрами оформляє дозвіл на допуск цієї станції до космічному сегменту, якщо встановлено її відповідність умовам договору та (або) вимогам, визначеним у розділі 3 для даного типу станції.

11. За невідповідності наземної станції умовам договору та (або) вимогам, визначеним у розділі 3 для цього типу станції, користувач вживає необхідних заходів для усунення виявлених невідповідностей або звертається до диспетчерського пункту з метою спільного визначення прийняттого рішення.

12. Після усунення користувачем невідповідностей, виявлених у ході випробувань, користувач звертається до диспетчера із пропозицією проведення повторних випробувань доопрацьованої наземної станції.

13. Після приведення у відповідність фактичних параметрів наземної станції з умовами договору та проведення у разі потреби повторних випробувань диспетчер оформляє дозвіл на допуск до наземної станції до космічного сегменту.

14. Наявність оформленого дозволу на допуск наземної станції до космічному сегменту є підставою для введення в експлуатацію супутникового каналу зв'язку з використанням цієї наземної станції.

15. У разі переведення наземних станцій, для яких оформлені дозволи на допуск до космічного сегменту на роботу через транспондери інших КС, які мають кросполяризаційне ущільнення, ці наземні станції в обов'язковому порядку проходять процедуру перевірки на відповідність вимогам щодо кросполяризаційної розв'язки.

Автономні випробування складових частин телекомуніційної системи на типовому ТРС устаткування було перевірено відповідно до програми та методикою випробувань, описаною вище.

У таблиці 3.6 наведено загальні відомості про приймаючу рухому станцію супутникового зв'язку серії Raysat ER - 7000.

Таблиця 3.6 - Характеристики приймаючої рухомої станції супутникового зв'язку серії Raysat ER - 7000

Найменування	Характеристики
Назва станції	«Приймально-передавальна рухома станція супутникового зв'язку серії Raysat ER - 7000»
Країна	Україна
Тип кріплення і тип антени	Тип кріплення: Металева опора Тип антени: Рухома станція супутникового зв'язку Raysat ER – 7000
Частотний діапазон	Rx: 10.95-12.75 GHz Tx: 13.75-14.5 GHz
Споживана потужність	150 W
Продуктивність антени	Кут: 0°-90° Азимут відслідковування: 150°/s
Супутниковий модем (термінал)	SkyEdge II Pro RM
Модель контролера супутникової антени	E-7000

На рис. 3.8 показана структурна схема системи залізничної телеметрії, котра містить три вертикальних рівні ієрархії:

- 1) джерела інформації;
- 2) обробка даних у реальному часі, зв'язок і оперативна пам'ять даних;
- 3) обмін даними й архівування.

У лівому стовпчику А зображені технічні і програмні засоби, пов'язані з базою даних залізничного шляху, у центральному В показано, відповідно, базовий елемент з елементами візуалізації, моніторингу системи і прогнозу руху, у правому стовпчику С наведена база даних зовнішньої радіонавігаційної системи.

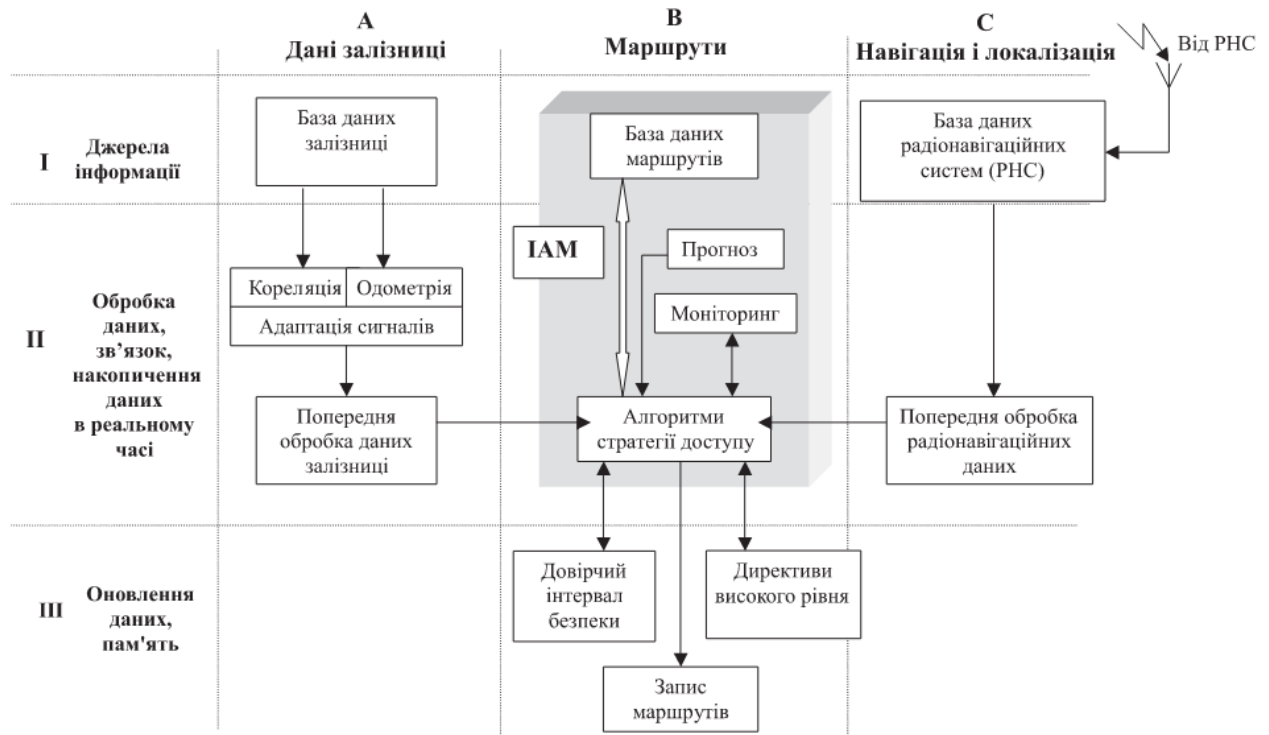


Рисунок 3.8 – Структурна схема системи телеметричного контролю руху рухомого тягового складу

### 3.3 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які діють під час збору та передачі телеметричних даних у супутникових системах моніторингу залізничного транспорту

Небезпечний фактор – виробничий фактор, дія якого на працюючого в певних умовах приводить до травм чи іншого раптового різкого погіршення здоров'я.

Шкідливий фактор – виробничий фактор, дія якого на працюючого в певних умовах приводить до захворювання чи зниження працездатності.

Для аналізу небезпечних факторів необхідно визначити суть та джерело їх виникнення.

Небезпека ураження електричним струмом має дуже велике значення. Це насамперед пов'язано із наслідками, що виникають.

Електричний струм при протіканні через тіло людини спричиняє на організм дуже негативний вплив і є особливо небезпечним фактором, що може призвести до травматизму або летального випадку.

При „пробиванні” струму на корпус обладнання, ураженню підлягає насамперед виробничий персонал. У зв'язку з можливістю підвищеної вологості та запиленості повітря робочої зони, небезпека є досить високою.

Звук або шум виникає при механічних коливаннях в твердому, рідкому або газоподібному середовищі. Шумом є різноманітні звуки, що заважають нормальній діяльності людини. Рух звукової хвилі в повітрі супроводжується періодичним збільшенням та зменшенням тиску. Періодичне підвищення тиску в повітрі відносно атмосферного називають звуковим тиском, що є одним з критеріїв оцінки шуму.

Довготривала дія шуму на організм людини викликає негативні для здоров'я зміни. Об'єктивно дія шуму проявляється в підвищенні частоти пульсу, дихання та у зниженні працездатності.

Основою нормування шуму є обмеження звукового навантаження, що діє на людину в процесі робочої зміни.

Шум, як правило, є результатом вібрації. Тому спостерігається одночасна дія цих чинників.

Дія вібрації призводить до погіршення здоров'я, знижує працездатність.

Під час збору та передачі телеметричних даних у супутникових системах моніторингу залізничного транспорту виникають низько- та високочастотні вібрації.

Таблиця 3.7. - Перелік небезпечних та шкідливих факторів

н/п	Назва та визначення фактору	Небезпечний/шкідливий, можливі наслідки	Рівень або спосіб дії	Припустима норма	Запобіжні пристосування (тех. заходи, орг. Засоби)

	2	3	4	5	6
	Фактор шуму. Шум – це сукупність звуків різної інтенсивності і частоти, які викликають подразнювальну і шкідливу дію на організм людини	Впливає на продуктивність праці робітників, послаблює увагу, викликає втрату слуху, подразнює нервову систему	-змінюється кров'яний тиск;змінюється робота шлунково-кишкового тракту; -призводить до часткової або повної втрати слуху	Рівень шуму не більше 80 дБ	звукоізоляція; акустична обробка приміщень; навушники, шоломи, вкладиші
	Фактор забруднення повітря. Пил, пара, газ – це дрібні частинки твердої або рідкої речовини, які знаходяться у повітрі у зваженому стані	Шкідлива дія газу може проявлятися у вигляді механічних пошкоджень шкіри, слизової оболонки, дихальних шляхів, очей, легенів	пневмоконіозів; пошкодження шкіри; проблеми зі зором	ГДК не більше 6 мг/м <sup>3</sup>	Витяжна система; респіратори.
	Електробезпечний фактор– Виникнення електродуги між людиною і обладнанням понад 1000В	Можливі опіки, електротравми, смерть.	Може викликати термічну, електричну, біологічну дію.	Правила технічної експлуатації та вимог при експлуатації електрообладнання	Застосування напруги 36В. Захисне заземлення за нулення, самовиключення.
	Фактор вібрації. Вібрація – сукупність механічних коливань, найпростішим з яких є гармонійне коливання	Суттєво впливає на функціональний стан центральної нервової системи і на слуховий апарат, зміни в суглобах	порушення чутливості шкіри; втрата міцності кровоносних судин; чутливість нервових волокон; окостеніння сухожиль	Рівень вібрації не більше 92 дБ	встановлення віброплощадки на масивний фундамент; спеціальні рукавиці та прокладки; гумові віброопори

### **3.4 Технічні засоби що передбачаються для зменшення або усунення дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів**

Безпека виробничого обладнання забезпечується правильним вибором принципів його дії, кінематичних схем, конструктивних рішень, параметрів робочих процесів, використання різноманітних засобів захисту.

Аналіз конструкцій та технічних показників роботи перерахованого обладнання свідчить, що при його експлуатації виникає ряд небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Це перш за все:

- небезпека враження обслуговуючого персоналу електричним струмом;
- шум від роботи обладнання;
- вібрації від роботи обладнання;
- низькочастотне та високочастотне випромінювання;
- та інші, менш важливі для здоров'я працівників.

Розрізняють прямий контакт людини зі струмоведучими частинами й непрямий. Прямий контакт виникає, як правило, у результаті порушення правил техніки безпеки й експлуатації електроустановок, а непрямий - при пробі ізоляції на корпус устаткування. Замикання на корпус - випадкове електричне з'єднання струмоведучої частини з металевими неструмоведучими частинами електроустановки. Замикання на землю - випадкове електричне з'єднання струмоведучої частини із землею або неструмоведучими провідними конструкціями або предметами, не ізольованими від землі.

Струм через тіло людини проходить у тому випадку, коли людина одночасно торкається двох точок, між якими існує напруга. Величина вражаючого струму залежить від того, яких частин електроустановки торкається людина.

Ураження електричним струмом може відбуватися в наступних умовах:

- двохполюсне дотик до струмоведучих частин;
- однополюсний дотик до струмоведучих частин;

– дотик до заземлених не струмоведучих частин, які знаходяться під напругою.

При двохполюсному дотику до струмоведучих частин людина одночасно торкається частинами тіла (наприклад, руками) струмоведучих частин устаткування. При однополюсному дотику, внаслідок наявності провідності між фазами мережі й землею наявності, ланцюг струму через тіло людини в мережі з ізольованою нейтраллю замикається через землю.

Якщо людина перебуває поблизу заземлення, по якому в землю стікає струм або поблизу місця випадкового замикання на землю, то частина цього струму може відгалужуватися й проходити через ноги людини. Різниця потенціалів між ступнями ніг на відстані кроку в зоні розтікання струму називається кроковою напругою. Напруга кроку визначається як напруга між двома точками ґрунту в зоні розтікання струму, що перебувають одна від іншої на відстані кроку, на які одночасно опираються ступні крокуючої людини. Крокова напруга тим більше, ніж ближче до заземлення перебуває людина, і чим більше довжина його кроку.

Тому для безпечної його експлуатації потрібно передбачити високий ступінь електробезпеки. Електробезпека забезпечується самою конструкцією електрообладнання, а також організаційними і технічними заходами захисту. Вимоги електробезпеки до конструкції виробничого обладнання для виготовлення виробів відповідають вказаним в Правилах улаштування електроустановки (ПУЕ), та в стандартах і технічних інструкціях на аналогічні машини.

Вібрація серед всіх видів механічних впливів для технічних об'єктів найбільш небезпечна. Знакозмінні напруження, викликані вібрацією, сприяють накопиченню пошкоджень в матеріалах, появі тріщин та руйнуванню. Найчастіше і досить швидко руйнування об'єкта настає при вібраційних впливах за умов резонансу. Вібрації викликають також й відмови машин, приладів.

За способом передачі на тіло людини вібрацію поділяють на загальну, яка передається через опорні поверхні на тіло людини, та локальну, котра пере-

дається через руки людини. Вібрація викликає порушення фізіологічного та функціонального стану людини. Стійкі шкідливі фізіологічні зміни називають вібраційною хворобою. Симптоми вібраційної хвороби проявляються у вигляді головного болю, виникають судоми, підвищується чутливість до охолодження, з'являється безсоння. При вібраційній хворобі виникають патологічні зміни спинного мозку, серцево-судинної системи.

Для послаблення впливу шкідливих речовин на організм людини, для визначення ступеня забрудненості довкілля та впливу на рослинні та тваринні організми, проведення екологічних експертиз стану навколишнього середовища або в усьому світі користуються таким поняттям, як якість природного середовища. Нормативи якості виражаються у гранично допустимих концентраціях (ГДК) шкідливих речовин (полютантів), гранично допустимих викидах (ГДВ), тимчасово погоджених викидах (ТПВ).

Мета нормативів якості – забезпечити науково обґрунтоване поєднання екологічних і економічних інтересів як основи суспільного прогресу. В основі нормативів якості лежать три показники: медичний, технологічний, науково-технічний. Медичний показник установлює граничний рівень загрози здоров'ю людини. Технологічний показник оцінює рівень встановлених меж техногенного впливу на людину і середовище існування.

Науково-технічний показник оцінює можливість науково-технічних засобів контролювати дотримання меж впливу за всіма необхідними характеристиками.

Для визначення максимальної разової ГДК використовуються високочутливі тести, за допомогою яких виявляють мінімальні впливи забруднювачів на здоров'я людини у разі короткочасних контактів (виміри біопотенціалів головного мозку, реакція ока тощо).

Основними засобами захисту людини від дії шкідливих речовин є гігієнічне нормування їх вмісту у різних середовищах, а також різні методи очищення.

Розробка заходів по боротьбі із шкідливими факторами повинна починатись на стадії проектування установки.

Зменшення шуму може виконуватись безпосередньо в джерелі його виникнення, а також на шляху його розповсюдження. Зменшення шуму в джерелі виникнення є найбільш ефективним та економічним.

Як вже було зазначено, особливо небезпечним фактором при роботі на даній установці є небезпека від ураження електричним струмом. Тому необхідно використати слідуєчі методи захисту:

- електрична ізоляція струмопровідних частин;
- огорожуючи пристрої;
- занулення;
- використання запобіжних пристроїв.

### 3.5 Висновки за розділом

В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи було здійснено детальний енергетичний розрахунок супутникового каналу зв'язку та комплексне дослідження параметрів лінії передачі телеметричних сигналів. На основі розрахунків потужностей випроміненого та прийнятого сигналів, коефіцієнтів підсилення антен, визначено запас енергетичної стійкості системи.

Отримані результати підтвердили, що супутниковий канал забезпечує гарантовану надійність і стабільність зв'язку навіть за умов змінного рівня перешкод та складного електромагнітного середовища експлуатації. Доведено, що використані методи забезпечують необхідні показники каналу при мінімальних енергетичних витратах.

Розроблено комплексні схемо-технічні рішення монтажу телеметричної системи моніторингу параметрів руху тягового рухомого складу. Обґрунтовано архітектуру системи з виділенням функціональних модулів збору, попередньої обробки, буферизації та передачі даних через супутниковий канал. Запропоновано структурну інтеграцію сенсорних вузлів із центральним модулем управління з урахуванням вимог до завадостійкості, вібростійкості, енергоефективності та можливості адаптації до різних типів рухомих об'єктів. Визначено оптимальні маршрути монтажу, інтерфейси обміну та принципи резервування для забезпечення безперервності роботи системи в умовах експлуатації залізничного транспорту.

Результати третього розділу засвідчують технічну доцільність і працездатність реалізації супутникового каналу зв'язку як базового елемента комплексної телеметричної системи моніторингу тягового рухомого складу.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено та обґрунтовано інноваційну телеметричну систему супутникового типу для забезпечення безперервного моніторингу технологічних параметрів тягового рухомого складу (ТРС) у реальному часі.

Суть запропонованої технології полягає у створенні високонадійного інформаційного каналу зв'язку, який забезпечує узгоджену взаємодію між реєстраторами параметрів дизельної апаратури та низькопрофільною супутниковою антеною з передаванням даних на сервери локомотивного депо та центральні системи управління залізничної інфраструктури.

Основний акцент роботи полягає у запропонованій концепції використання супутникових каналів зв'язку для оперативної реєстрації та передачі параметрів ТРС як у русі, так і на стоянці з гарантованою пропускнуою здатністю та мінімальною затримкою.

На відміну від традиційних GSM/GPRS-рішень, система забезпечує повну незалежність від зон покриття мобільних операторів, підвищену завадостійкість та безперебійність функціонування в широкому діапазоні кліматичних умов.

Практична значущість підтверджується суттєвим експлуатаційним ефектом від впровадження системи, а саме:

- зниження витрати палива до 5 %, мастильних матеріалів — до 3 %, теплотехнічних витрат — до 10 %;
- економія електроенергії на тягу до 15 % для кожного обладнаного локомотива;
- зменшення трудовитрат на облік та технічне обслуговування ТРС до 20 %;
- підвищення пропускнуої спроможності залізничних напрямків на 10–12 % за рахунок оперативного диспетчерського контролю.

Конкурентні переваги запропонованої системи підтверджуються досягненням коефіцієнта готовності понад 90 %, пропускну здатності каналів зв'язку на рівні сотень Мбіт/с та повною стійкістю до впливу погодних і динамічних факторів. Запропонована система також забезпечує можливість організації постійного аудіо- та відеозв'язку з локомотивом у режимі реального часу.

Результати проведеного дослідження підтверджують технологічну перевагу, ефективність та високу доцільність впровадження супутникової телеметричної системи у сферу сучасного залізничного транспорту. Представлене рішення може бути використане як основа для подальшої цифрової трансформації та реалізації концепції «розумної транспортної інфраструктури».

## СПИСОК ВИКОРИСТОНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Кузнецов О. В., Мартинов С. І. Супутникові системи зв'язку та телеметрії для транспортних застосувань: монографія. – Київ: Наукова думка, 2021. – 288 с.
- 2) Батурін Ю. М. Цифрові телеметричні системи в енергетичному та транспортному комплексах: навч. посіб. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 312 с.
- 3) Литовченко О. В., Пилипенко В. М. Телекомунікаційні мережі та системи передачі даних: підручник. – Київ : КНУ, 2020. – 420 с.
- 4) Satellite data transmission for railway and critical infrastructure monitoring. – Geneva: ITU-R, 2023. – (Recommendation ITU-R S.1523, S.1711, M.2085).
- 5) Next-Gen Low-Profile Phased Array Antennas for Mobility and Rail: technical report. – Paris: European Space Agency (ESA), 2023. – 86 p.
- 6) Railway Digitalization & Smart Mobility via Satellite Technologies. – Paris : International Union of Railways (UIC), 2022. – 102 p.
- 7) Ковальчук С. В. Автоматизовані системи керування рухомим складом залізничного транспорту: монографія. – Львів: ЛНТУ, 2020. – 278 с.
- 8) IEEE Std. 802.11p; ETSI EN 302 637; CCSDS 732. Standards for high-reliability telemetry in mobility applications. – New York: IEEE / ETSI / CCSDS, 2024. – 154 p.
- 9) Rappaport T. S. Wireless Communications: Principles and Practice. – 3rd ed. – Hoboken (NJ): Wiley, 2023. – 912 p.
- 10) Jain R., Hassan M. Satellite IoT and Telemetry for Intelligent Transport Systems. – Cham: Springer, 2022. – 244 p.
- 11) Лагунов А. В., Глушко О. М. Системи супутникового моніторингу та зв'язку у залізничних комплексах : монографія. – Дніпро: ДІТ, 2021. – 198 с.
- 12) Cyber-Resilient Satellite Communication for Critical Rail Infrastructure: analytical report. – Brussels: ENISA / EU Agency for Railways, 2024. – 75 p.

- 13) LEO Satellite Backbone for Real-Time Rail Telematics : white paper. – London: Thales Alenia Space, Inmarsat, OneWeb, 2024. – 54 p.
- 14) Czech Railways trials GSMR, Eastern European Wireless Comm. – Oct/Nov. 2004. – P. 541.
- 15) Болдирьов В. І. та ін. Комплекс супутникової навігації для забезпечення управління рухом поїздів. // Зб. праць 2ої міжнародної конференції "Планування глобальної радіонавігації". – "Навігація 97", 24–26 червня 1997, т. I. – С. 178–181.
- 16) Болквядзе Т. І., Шевченко О. В. Інтелектуальні системи моніторингу рухомих об'єктів на транспорті : монографія. – Одеса : ОНТУ, 2021. – 246 с.
- 17) European Union Agency for Railways. Digital Automatic Coupling and Real-Time Train Monitoring in Rail Freight Operations. – Brussels: ERA, 2023. – 112 p.
- 18) Шкрипник В. П., Яцун О. М. Технології супутникового зв'язку у критично важливих системах управління транспортом. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 164 с.
- 19) ETSI TR 103 919. Satellite communication services for smart mobility and rail IoT. – Sophia Antipolis: ETSI, 2023. – 68 p.
- 20) Rail Baltica Smart Infrastructure Architecture : white paper. – Vilnius: RB Rail AS, 2024. – 58 p.
- 21) Перепелиця С. П. Системи збору та аналізу телеметрії для локомотивів нового покоління: монографія. – Дніпро: НТУ «ДПТ», 2023. – 210 с.
- 22) CCSDS 732.1-B-3. TM Space Data Link Protocol – Blue Book. – Washington: Consultative Committee for Space Data Systems, 2020. – 146 p.
- 23) IEEE Std. 1471–2024. Recommended Practice for Architecture of Real-Time Distributed Systems. – New York: IEEE, 2024. – 88 p.
- 24) EN 50716:2023. Railway applications – Onboard multimedia and telematics systems – General architecture and communication requirements. – CEN, 2023. – 52 p.

# ДОДАТКИ

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій

**Оптимізація збору та передачі телеметричних  
даних у супутникових системах моніторингу  
залізничного транспорту**

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

Б. І. ГОЛОВЧАНСЬКИЙ

Керівник:  
д.т.н., проф.

В. В. КОСЕНКО

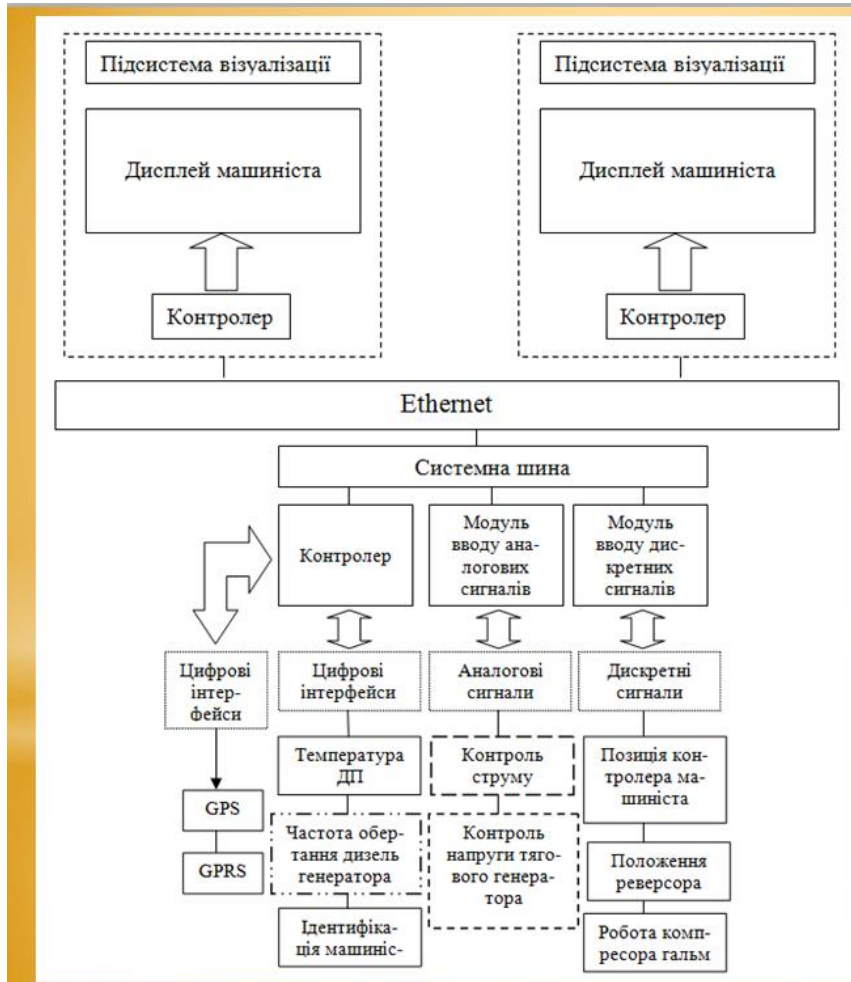
Полтава 2026

**Метою магістерської роботи є підвищення ефективності супутникових систем моніторингу залізничного транспорту шляхом оптимізації процесів збору й передачі телеметричних даних.**

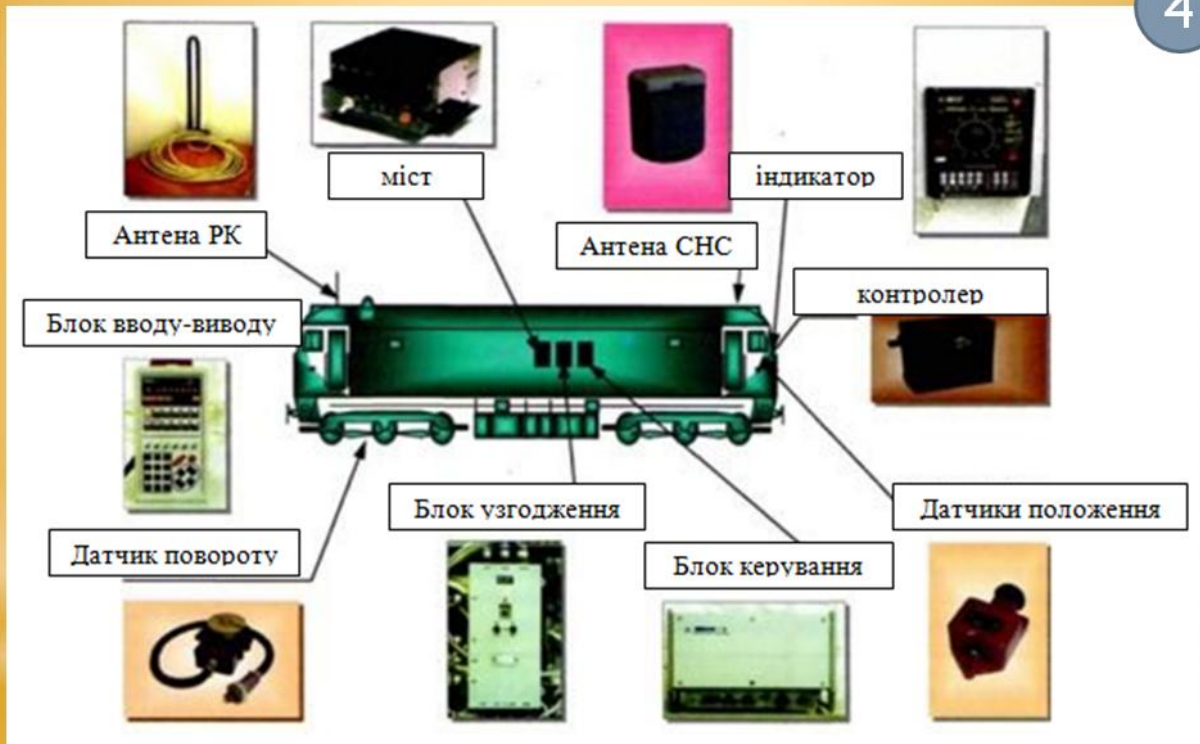
**Об'єктом дослідження є процеси передавання телеметричних даних у супутникових системах моніторингу залізничного транспорту.**

**Предметом дослідження є методи й алгоритми оптимізації збору, оброблення та передачі телеметричної інформації в умовах обмеженої пропускної здатності каналів зв'язку.**

**Новизна роботи полягає у вдосконаленні структури телеметричної системи з використанням адаптивних алгоритмів передавання даних, що дозволяють мінімізувати затримки, втрати інформації та енергоспоживання апаратних засобів.**



Структурна  
схема  
автоматизованої  
системи  
керування



Функціональна схема комплексного локомотивного пристрою безпеки



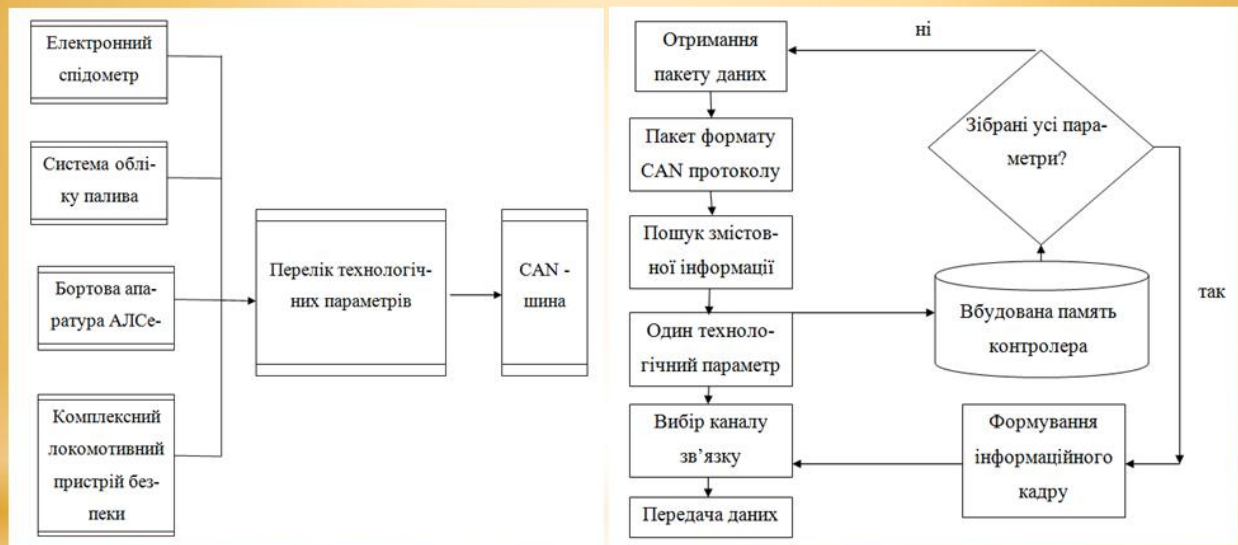
Комплект комутаційного захисного обладнання



Антенна система SkyWan

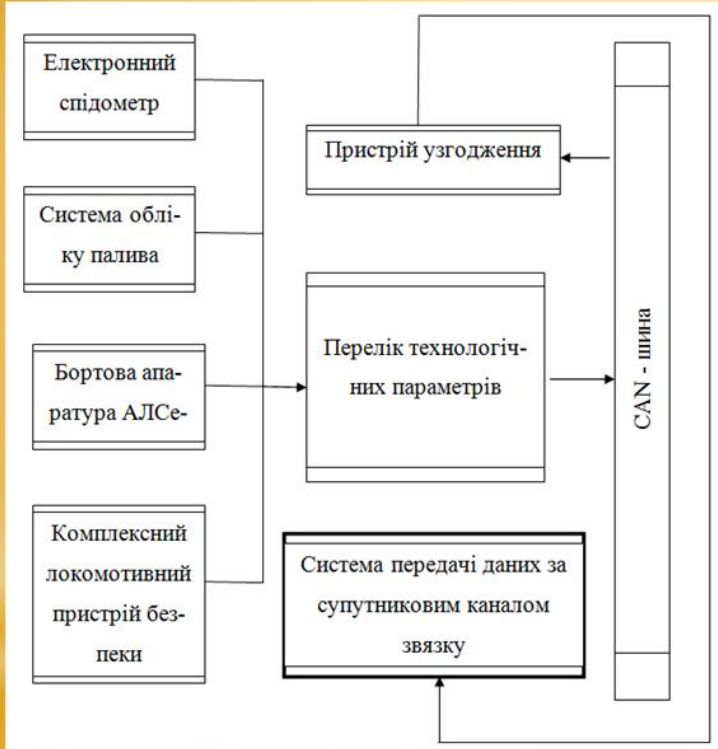


Антенна система RaySat



Структурна схема пристрою узгодження (CAN - контролера)

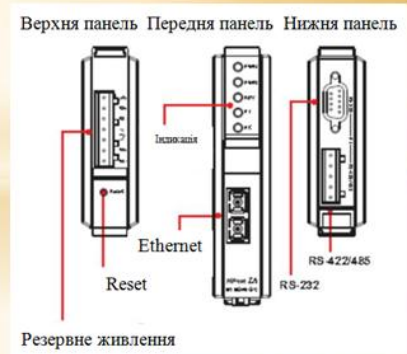
Алгоритм отримання технологічних параметрів тягового рухомого складу



Структурна схема передачі технологічних параметрів тягового рухомого складу засобами супутникового каналу зв'язку



Серверне обладнання серії NPort IA5150





МикроТік RouterBoard 2011UAS-R



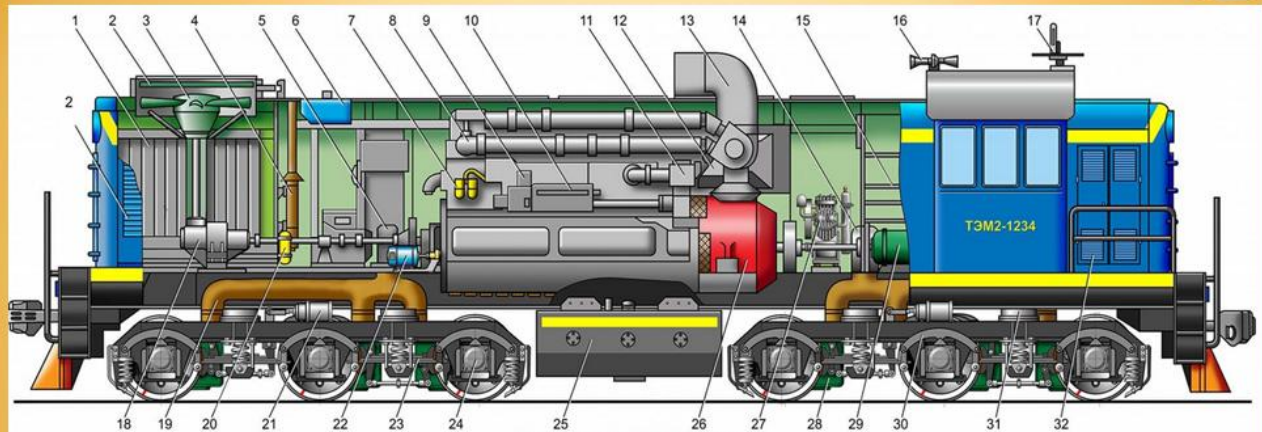
Супутниковий модем SkyEdge II Pro RMS-R



Термінал SkyEdge II Pro RMR

<b>Uplink</b>	
Station HPA (W)	3.88
Tx Gain (dB)	46.69
Antenna Transmit EIRP (dBW)	51.59
RR uplink Cent. Freq. (MHz)	14072.9968
Total attenuation (dB)	210.61
Free space loss (dB)	207.01
Gaseous attenuation (dB)	0.07
Rain attenuation (dB)	3.44
Power flux density (dBW/m <sup>2</sup> )	-114.21
Uplink gain correction (dB)	1.69
Satellite antenna ref gain (dBi)	32.77
C/I (dB)	24.18
Uplink C/N (dB)	20.59
<b>Downlink</b>	
RR downlink Cent. Freq. (MHz)	11022.9968
Total attenuation (dB)	204.92
Free space loss (dB)	204.84
Gaseous attenuation (dB)	0.09
Rain attenuation (dB)	0.0
Downlink gain correction (dB)	0.96
Downlink antenna ref gain (dBi)	31.23
Satellite EIRP at ref (dBW)	26.58
Satellite EIRP Rx ES (dBW)	27.54
C/I (dB)	54.89
Downlink C/N (dB)	6.05

Вихідні дані для енергетичного розрахунку прямого каналу рухомої антени RaySat-3 E-7000 на лінії «вниз»



#### ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тип дизель-генератора - ПДГ-1М;  
 Потужність дизеля - 882 кВт (1200 к.с.);  
 Запас дизельного палива - 5400 кг;  
 Запас піску - 2000 кг;

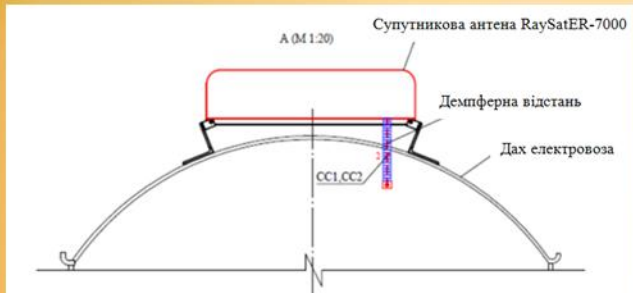
Конструкційна швидкість - 100 км/г;  
 Швидкість тривалого режиму - 11 км/г;  
 Сила тяги тривалого режиму - 200 кН;  
 Передаточне відношення редуктора - 15/68;

Осьова формула - 3<sub>o</sub> - 3<sub>o</sub>;  
 Колія - 1520 мм.;  
 Мінімальний радіус кривої - 80 м.;  
 Навантаження від осі на рейки - 20,4 т.;

Довжина по осям автосцепів - 16970 мм;  
 Висота від голівок рейок - 5010 мм;  
 Найбільша ширина - 3080 мм.;  
 Маса тепловоза - 123 т.;

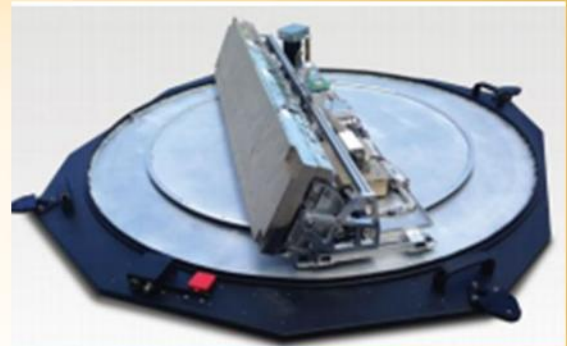
1 - масляні та водяні секції;	9 - регулятор частоти обертання колінчатого вала;	17 - антена радіостанції;	25 - паливний бак;
2 - жалюзі (верхні та бокові);	10 - паливні насоси високого тиску;	18 - редуктор привода вентилятора;	26 - тяговий генератор (ГП-300БУ2);
3 - вентилятор холодильної камери;	11 - насос системи охолодження;	19 - повітропровід охолодження ТЕД;	27 - компресор (КТ-6);
4 - масляні фільтри;	12 - очищувач повітря дизеля;	20 - підігрівач палива;	28 - тяговий електродвигун (ЗД-118А);
5 - вентилятор охолодження ТЕД I-III;	13 - турбокомпресор (ТК-30Н);	21 - гальмовий циліндр;	29 - двомашинний агрегат;
6 - бак системи охолодження;	14 - вентилятор охолодження ТЕД IV-VI;	22 - агрегат підкачування палива;	30 - балансір;
7 - фільтри тонкого очищення палива;	15 - камера з електричними апаратами;	23 - ресорне підвішування;	31 - опора кузова;
8 - чотирихтактний шестициліндровий дизель (ПД1М);	16 - звукові сигнали (свисток/тифон);	24 - сцепний буксовий вузол;	32 - відсік акумуляторних батарей (32ТН-450У2)

Технічні характеристики тягового електровоза ТЕМ2-1234 та пропозиції щодо встановлення комплексної телеметричної системи зв'язку

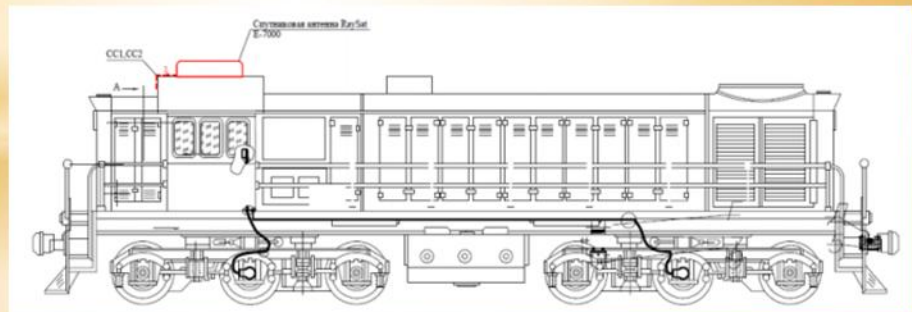


Принципи монтажу  
супутникової антени  
системи RaySatER-7000

Рухома двоспрямована  
антенна система RaySat  
ER - 7000



Установка антени  
RaySatER-7000 на  
дачу електровоза  
TEM2



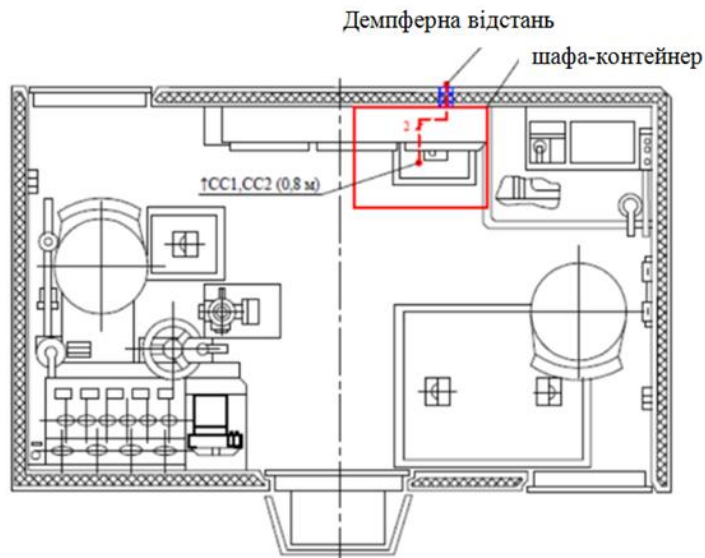
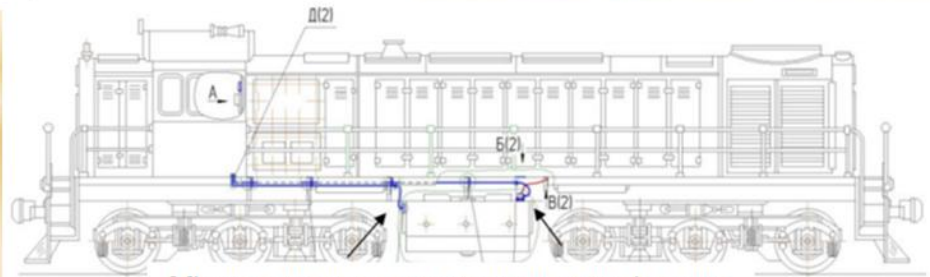


Схема кабіни машиніста (вид зверху) та встановлення обладнання всередині кабіни

Схема встановлення телеметричних датчиків палива: синім кольором показана кабельна прокладка для зв'язку датчиків із сполучною панеллю



Місця встановлення телеметричних датчиків палива на магістральному паливопроводі

Блок обліку палива БУТ -Р1

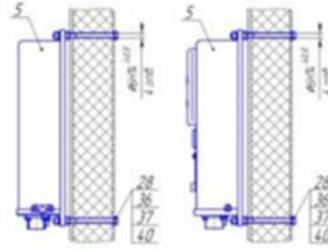
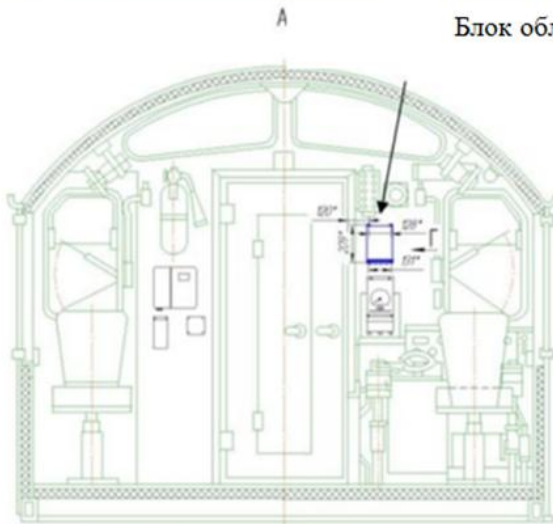
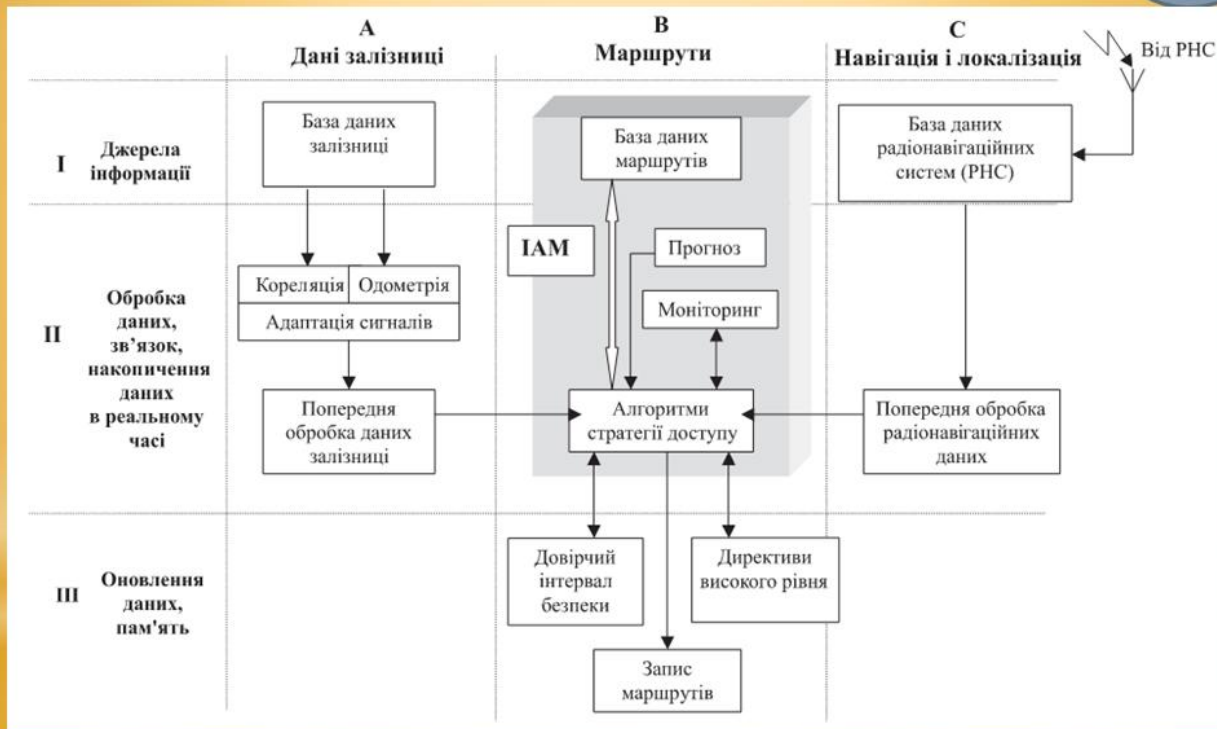


Схема встановлення телеметричних датчиків палива у паливному баці

Схема встановлення блоку обліку палива БУТ -Р1



Датчик температури



Структурна схема системи телеметричного контролю руху рухомого тягового складу

## Висновки

15

- \* Суть запропонованої технології полягає у створенні високонадійного інформаційного каналу зв'язку, який забезпечує узгоджену взаємодію між реєстраторами параметрів дизельної апаратури та низькопрофільною супутниковою антеною з передаванням даних на сервери локомотивного депо та центральні системи управління залізничної інфраструктури.
- \* Основний акцент роботи полягає у запропонованій концепції використання супутникових каналів зв'язку для оперативної реєстрації та передачі параметрів ТРС як у русі, так і на стоянці з гарантованою пропускнуою здатністю та мінімальною затримкою.
- \* На відміну від традиційних GSM/GPRS-рішень, система забезпечує повну незалежність від зон покриття мобільних операторів, підвищену завадостійкість та безперебійність функціонування в широкому діапазоні кліматичних умов.
- \* Практична значущість підтверджується суттєвим експлуатаційним ефектом від впровадження системи, а саме:
- \* зниження витрати палива до 5 %, мастильних матеріалів – до 3 %, теплотехнічних витрат – до 10 %;
- \* економія електроенергії на тягу до 15 % для кожного обладнаного локомотива;
- \* зменшення трудовитрат на облік та технічне обслуговування ТРС до 20 %;
- \* підвищення пропускнуєї спроможності залізничних напрямків на 10-12 % за рахунок оперативного диспетчерського контролю.
- \* Переваги запропонованої системи підтверджуються досягненням коефіцієнта готовності понад 90 %, пропускнуєї здатності каналів зв'язку на рівні сотень Мбіт/с та повною стійкістю до впливу погодних і динамічних факторів. Запропонована система також забезпечує можливість організації постійного аудіо- та відеозв'язку з локомотивом у режимі реального часу.