

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Удосконалення системи моніторингу транспорту  
шляхом використання додаткового обладнання»**

Виконав: студент групи Ат-61

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”

(шифр і назва)

Андрій СТРУК

\_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

Керівник: Олег СУКАЧ

\_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025



УДК 656.075

Струк Андрій Романович. Удосконалення системи моніторингу транспорту шляхом використання додаткового обладнання. Кваліфікаційна робота. Львів: Львівський НУВМБ ім. Степана ГЖИЦЬКОГО, 2025. 82 с.

Табл. 8; рис. 14; бібліогр. джерел 31.

У роботі вирішено практичне завдання підвищення надійності контролю температури у автомобілі-рефрижераторі шляхом удосконалення системи моніторингу на базі GPS-трекера Teltonika FMB125 із використанням двох додаткових цифрових датчиків температури 1-Wire. Показано, що перехід від одноточкового до двоточкового вимірювання дозволяє врахувати просторову неоднорідність температурного поля у фургоні, особливо в зоні задніх дверей, де найчастіше виникають порушення холодового ланцюга.

Економічні розрахунки на прикладі конкретного автомобіля-рефрижератора показали, що за капітальних витрат на рівні близько 30 000 грн річний економічний ефект від зменшення втрат від псування продукції та скорочення штрафних санкцій може сягати приблизно 80 000 грн. Орієнтовний строк окупності удосконаленої системи становить менше пів року, після чого вона забезпечує стійкий економічний результат, підвищуючи конкурентоспроможність перевізника.

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	4
ВСТУП .....	6
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТУ ТА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В РЕФРИЖЕРАТОРАХ.....</b>	<b>10</b>
1.1 Супутникові навігаційні системи та платформи моніторингу транспорту .....	10
1.2 Конструкція й функції GPS-трекерів для автомобільного транспорту .....	14
1.3 Існуючі рішення для контролю температури в автомобілях- рефрижераторах.....	17
1.4. Вимоги нормативних документів до температурних режимів перевезень .....	21
1.4 Стан питання та проблеми існуючих систем моніторингу.....	26
Висновки .....	29
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ .....</b>	<b>30</b>
2.1 Фізичні принципи вимірювання температури термісторами та цифровими сенсорами.....	30
2.2 Аналітичні залежності напруги та цифрового коду від температури, похибки і чутливість .....	33
2.3 Вплив довжини лінії, ємності кабелю та топології шини 1-Wire на точність вимірювань .....	35
Висновки .....	40
<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ .....</b>	<b>41</b>
3.1 Вимоги до вдосконаленої системи моніторингу .....	41
3.2 Вибір базового GPS-трекера та програмної платформи .....	42
3.3 Схема підключення 1-Wire-датчиків до трекера .....	44

3.4 Налаштування параметрів трекера для роботи з кількома датчиками температури .....	49
Висновки .....	52
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ .....</b>	
4.1 Методика калібрування й тарування 1-Wire-датчиків .....	54
4.2 Коригування показів температурних датчиків у системі Wialon.....	59
4.3 Перевірка показів температурних датчиків у системі Wialon.....	63
Висновки .....	66
<b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ електрообладнання.....</b>	
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час робіт на транспорті .	67
5.2 Вимоги з охорони праці при монтажі електрообладнання на автомобілях .....	68
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях під час перевезень швидкопсувних вантажів .....	70
Висновки .....	71
<b>РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	
6.1 Економічне та екологічне обґрунтування ефективності заходів .....	72
6.2 Розрахунок зменшення втрат .....	73
6.3 Оцінка строку окупності запропонованого рішення .....	75
Висновки .....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

## ВСТУП

Розвиток сучасної логістики та ринку перевезень швидкопсувних вантажів вимагає від автотранспортних підприємств не лише своєчасної доставки продукції, а й суворого дотримання температурних режимів на всіх етапах транспортування. Порушення встановлених температурних умов у кузові автомобіля-рефрижератора призводить до погіршення органолептичних властивостей харчових продуктів, зменшення строків їх зберігання, виникнення мікробіологічних ризиків і, як наслідок, до прямих економічних втрат перевізника та замовника. У цих умовах особливої ваги набуває питання підвищення ефективності контролю температури під час перевезень [11].

Традиційно контроль за станом холодильного обладнання та температурою в кузові здійснювався локально, переважно самим водієм за показами штатних приладів [13]. Такий підхід не забезпечує прозорості процесу перевезення для диспетчерських служб, не дозволяє віддалено зафіксувати момент виходу температури за допустимі межі та своєчасно вжити коригувальні заходи. Крім того, інформація про температурний режим нерідко зберігається лише в пам'яті автономного реєстратора або взагалі не архівується, що ускладнює доведення належних умов транспортування у випадку претензій з боку контролюючих органів.

Активне впровадження супутникових систем моніторингу транспорту відкрило можливість комплексного контролю параметрів руху транспортних засобів у реальному часі. Сучасні GPS-трекери, окрім визначення координат, здатні збирати дані від зовнішніх датчиків, передавати їх на сервер та інтегрувати з аналітичними модулями. Це створює передумови для поєднання позиційного моніторингу з багатоточковим вимірюванням температури та відстеженням відхилень від нормативних значень [7].

Важливим напрямом розвитку таких систем є використання додаткових цифрових датчиків температури з інтерфейсом 1-Wire. Вони відзначаються порівняно низькою вартістю, можливістю підключення декількох вимірювальних точок до однієї лінії зв'язку, задовільною точністю та

сумісністю з широким спектром існуючих GPS-трекерів. Завдяки цьому можна отримати інформацію про розподіл температури в різних зонах кузова і виявляти локальні ділянки з підвищеним ризиком перегріву чи переохолодження вантажу. У найпростішому випадку ефективність перевезення з погляду дотримання режиму можна охарактеризувати середнім відхиленням фактичної температури в кузові від допустимого діапазону. Чим менше це відхилення і чим рідше температура виходить за встановлені межі, тим надійніше забезпечується збереження якості продукції.

Попри наявність на ринку різноманітних технічних рішень для моніторингу транспорту, у значної частини автопарків застосовуються спрощені конфігурації: один датчик температури, відсутність резервування вимірювань, мінімальний обсяг архіву даних, обмежені можливості сповіщень. Такий підхід не дозволяє виявити неоднорідність температурного поля в кузові, а також не дає змоги виконати повноцінний аналіз порушень режиму в динаміці. У результаті навіть при використанні рефрижераторної техніки ризику псування вантажу залишаються значними.

Актуальним є завдання удосконалення існуючих систем моніторингу транспорту шляхом використання додаткового температурного обладнання на базі 1-Wire-датчиків, інтегрованих у склад GPS-трекерів. Таке удосконалення має підвищити інформативність контролю, забезпечити більш точну оцінку температурного режиму в різних зонах кузова та створити умови для зменшення кількості випадків виходу температури за допустимі межі під час перевезення заморожених та охолоджених продуктів.

**Метою роботи** є підвищення ефективності системи моніторингу транспорту при перевезенні швидкопсувних вантажів шляхом удосконалення системи контролю температури в автомобілях-рефрижераторах.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі основні завдання:

проаналізувати сучасні супутникові системи моніторингу транспорту, типові

конструкції GPS-трекерів та існуючі рішення для контролю температури в автомобілях-рефрижераторах, а також виявити їхні переваги та недоліки; дослідити фізичні та електротехнічні основи роботи цифрових датчиків температури з інтерфейсом 1-Wire, визначити їх основні метрологічні характеристики та чинники; розробити апаратно-програмне рішення удосконаленої системи моніторингу та вибір раціональних місць їх встановлення в кузові рефрижератора; обґрунтувати методику монтажу, калібрування та тарування датчиків температури, що дозволить зменшити систематичні та випадкові похибки вимірювання температури повітря в кузові. провести експериментальні дослідження роботи удосконаленої системи моніторингу в реальних умовах, виконати економічну оцінку ефективності впровадження удосконаленого рішення з урахуванням витрат на додаткове обладнання.

**Об'єктом дослідження** у даній роботі є система моніторингу автомобіля-рефрижератора, що включає GPS-трекер, телематичну платформу, датчики температури та програмні засоби аналізу даних. Предметом дослідження є процес вимірювання та контролю температури в кузові автомобіля-рефрижератора за допомогою додаткових 1-Wire-датчиків, інтегрованих у склад існуючої системи моніторингу транспорту.

**Методи дослідження** передбачають використання положень теорії вимірювань, електротехніки та електроніки, основи побудови телематичних систем, методи системного аналізу та проектування, а також методи експериментальних досліджень і статистичної обробки результатів. У роботі застосовуються аналітичні розрахунки, комп'ютерне моделювання окремих режимів, аналіз реальних або модельних даних моніторингу, а також техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження запропонованого рішення.

Практична цінність дослідження полягає у можливості безпосереднього впровадження удосконаленої системи моніторингу температури в автомобілях-рефрижераторах на базі GPS-трекера у діяльність



автотранспортних підприємств, що здійснюють перевезення швидкопсувних вантажів. Запропоноване рішення не потребує суттєвого переобладнання транспортного засобу, оскільки використовує стандартні інтерфейси сучасних трекерів та доступні за вартістю датчики температури.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТУ ТА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В РЕФРИЖЕРАТОРАХ

### 1.1 Супутникові навігаційні системи та платформи моніторингу транспорту

Функціонування сучасних систем моніторингу транспортних засобів ґрунтується на використанні глобальних супутникових навігаційних систем, які забезпечують визначення координат у реальному часі. Для перевезень швидкопсувних вантажів такі системи мають принципове значення, оскільки створюють основу для інтегрованого контролю місцезнаходження автомобіля, швидкості руху, тривалості стоянок, режимів роботи холодильного обладнання та температурних умов перевезення. Надійність і точність визначення координат безпосередньо впливають на якість аналітики та можливість відстежувати температурні показники у зв'язку з конкретними ч

а На практиці в автомобільному транспорті застосовують приймачі, які працюють одночасно з декількома навігаційними системами. Головними серед них є GPS, ГЛОНАСС, Galileo та BeiDou. Кожна система має власну орбітальну конфігурацію, типи передаваних сигналів і рівень точності, що впливає на якість позиціонування [11].

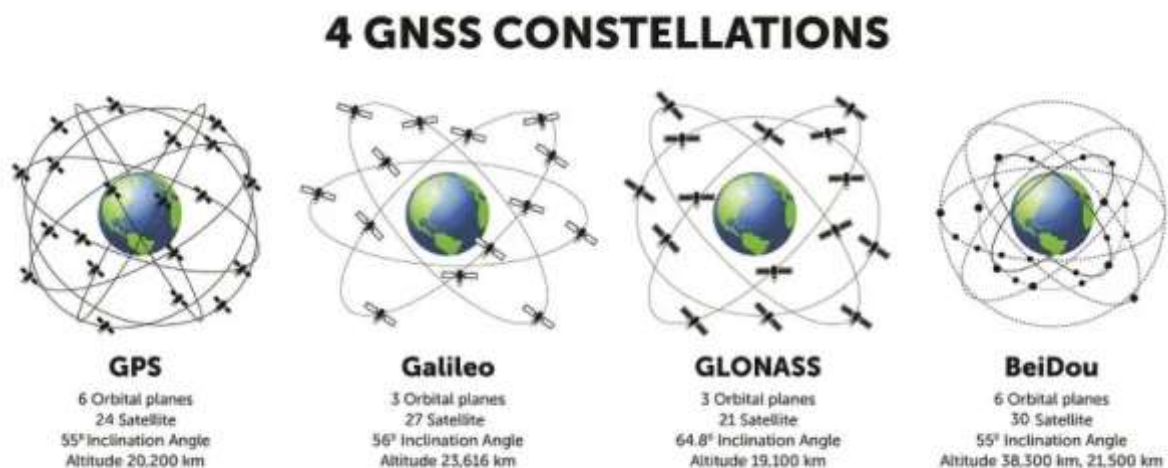


Рисунок 1.1 - Супутникові навігаційні системи

р

ш

р

у

Американська система GPS є найбільш розповсюдженою. Вона складається з супутників, що рухаються на середній навколоземній орбіті та передають навігаційні сигнали у декількох діапазонах. Базовим є кодовий сигнал, який використовується у цивільних застосуваннях. Він забезпечує точність визначення координат на рівні від трьох до десяти метрів за нормальних умов приймання. Система Galileo, що перебуває під контролем Європейського Союзу, використовує подібну орбітальну конфігурацію та сигнали цивільного призначення підвищеної точності. При одночасному прийманні сигналів GPS та Galileo координати визначаються стабільніше, а час встановлення позиції скорочується.

Китайська система BeiDou має широкую мережу супутників і забезпечує високий рівень доступності сигналу в усьому світі, що є корисним для міжнародних транспортних перевізників.

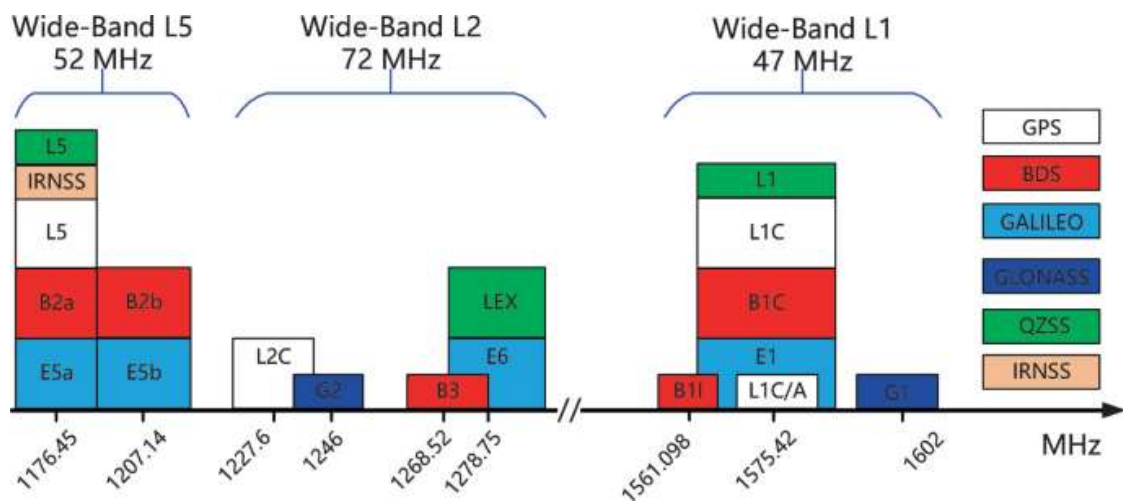


Рисунок 1.2 - Характеристики навігаційних сигналів L1, L2 та L5

GPS-трекери, що застосовуються у системах моніторингу транспорту, працюють переважно з цивільними навігаційними сигналами у діапазонах L1 та L5. Ці сигнали передаються на певних частотах, мають визначену смугу, структуру коду та рівень потужності, що впливає на якість позиціонування і стійкість приймання у реальних умовах експлуатації.

Основним робочим сигналом для більшості GPS-трекерів є L1 C/A. Його частота передавання становить приблизно 1575,42 МГц. Цей сигнал містить

код цивільного доступу та навігаційне повідомлення, яке включає дані про час, стан супутника, орієнтацію орбіти та допоміжну інформацію. Смуга зайнятості сигналу у діапазоні L1 забезпечує необхідну швидкість оброблення даних навігаційним приймачем. Номінальна потужність сигналу, що надходить на антену приймача, має дуже низький рівень - приблизно мінус 160 децибел-ват, тому трекери оснащують високочутливими приймальними модулями та малoshумними підсилювачами.

Другим типовим сигналом, який підтримують сучасні комбіновані навігаційні приймачі, є L5. Він передається на частоті приблизно 1176,45 МГц. Сигнал L5 характеризується більш широкою смугою та покращеними параметрами завадостійкості. Завдяки цьому визначення координат стає точнішим, а час встановлення позиції скорочується. Наявність двочастотного приймання у трекера дозволяє компенсувати іоносферні помилки, оскільки ці помилки залежать від частоти. У результаті навігаційні вимірювання стають достовірнішими, що позитивно позначається на точності маршруту, часу

п

р

и

Таблиця 1.1 - Характеристики навігаційних сигналів L1, L2 та L5

б	Параметр	L1 C/A	L2C	L5
у	Центральна частота	1575,42 МГц	1227,60 МГц	1176,45 МГц
г	Тип модуляції	BPSK(1)	BPSK(1) і BPSK(0,5)	QPSK
я	Ширина смуги	1 МГц	1 МГц	10 МГц
г	Тип коду	C/A (цивільний)	C/A, модернізований цивільний код	Сигнал підвищеної точності
а	Швидкість навігаційного повідомлення	50 біт/с	50 біт/с	1000 біт/с
з	Завадостійкість	середня	середня	висока
а				

г

а

л

ь

Навігаційні сигнали мають визначену структуру коду, яка дозволяє розпізнати конкретний супутник, синхронізувати приймач із навігаційною системою та виділити корисну інформацію із шумового фону. Для сигналу L1 C/A використовується псевдовипадковий код, який повторюється кожен мілісекунду. Це забезпечує швидку ідентифікацію супутника та синхронізацію приймача. Сигнал L5 має іншу структуру, що включає компоненти даних та компоненти пілотного каналу, які підвищують достовірність навігаційної інформації.

Важливою характеристикою навігаційних сигналів є їх стійкість до багатопрореневості, яка виникає при відбитті радіохвиль від будівель, великих транспортних засобів та інших об'єктів. Сигнал L5 завдяки ширшій смузі має кращу здатність відокремлювати прямий сигнал від відбитих компонентів. Це особливо важливо для міських умов та районів з великою кількістю металевих поверхонь, де значні відбиття можуть суттєво погіршувати точність визначення координат. У таких умовах використання комбінованого приймання сигналів L1 і L5 дозволяє стабілізувати позиціонування і отримувати безперервний потік достовірних даних. Нижче наведено узагальнені технічні характеристики найбільш важливих цивільних навігаційних сигналів, що використовуються або можуть використовуватися у сучасних GPS-трекерах.

Принцип визначення координат базується на вимірюванні часу, який проходить між передаванням сигналу супутником і його прийманням навігаційним приймачем. Відстань до кожного супутника обчислюється як добуток швидкості поширення радіосигналу та виміряного інтервалу часу. У спрощеному вигляді це можна подати як:

$$R = c \cdot \Delta t, \quad (1.1)$$

де  $R$  - відстань до супутника;

$c$  - швидкість поширення сигналу;

$\Delta t$  - різниця між часом передавання і приймання сигналу.

Для визначення просторового положення автомобіля потрібні сигнали щонайменше від чотирьох супутників, оскільки крім координат необхідно визначити поправку до годинника приймача.

У реальних умовах на точність координат впливають іоносферні та тропосферні затримки сигналу, багатопроменевість, завади та похибки синхронізації. Проте для транспортних задач типовий рівень точності, який складає від кількох до десяти метрів, є цілком прийнятним. Значно важливішим є не абсолютне значення координат, а стабільний і безперервний потік даних, що дозволяє аналізувати маршрут, тривалість простоїв, дотримання графіка доставки та умови перевезення.

Функціональні можливості сучасних систем моніторингу значно виходять за рамки звичайного відстеження координат. Окрім навігаційної інформації, трекер може передавати показники з датчиків температури, вологості, напруги бортової мережі, стану дверей, роботи холодильного агрегата або інших технологічних систем. Для контролю умов перевезення швидкопсувних продуктів важливою є можливість інтегрування цифрових температурних сенсорів, які дозволяють у реальному часі відстежувати температуру у кузові рефрижератора та зберігати дані в архіві.

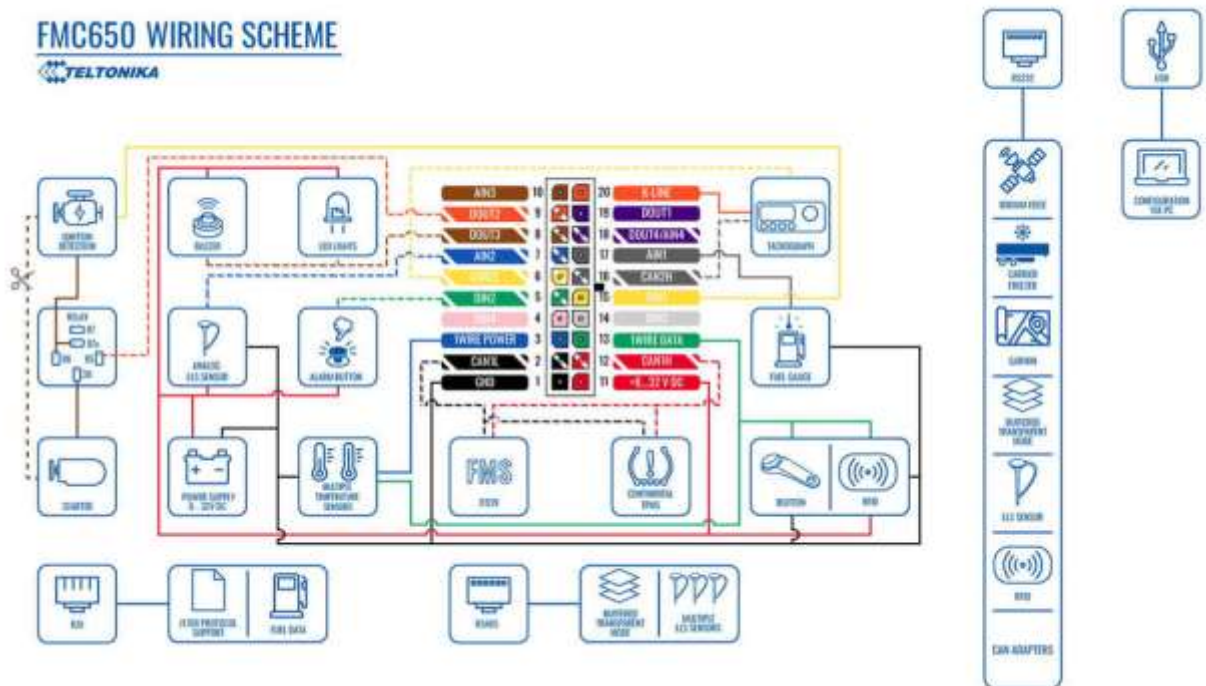
Телематичні платформи можуть не лише зберігати такі дані, а й автоматично формувати сповіщення при виході значень за допустимі межі. Диспетчер отримує повідомлення у разі, якщо температура в кузові перевищує або опускається нижче значення, встановленого у правилах перевезення конкретного типу продуктів.

## **1.2 Конструкція й функції GPS-трекерів для автомобільного транспорту**

GPS-трекери, що застосовуються у системах моніторингу автотранспорту, є спеціалізованими телематичними пристроями, призначеними для приймання навігаційних сигналів, збору додаткових параметрів та передавання їх на сервер програмної платформи. Конструкція

таких пристроїв передбачає поєднання навігаційного модуля, комунікаційного блока, блоку оброблення даних, енергетичної системи та набору інтерфейсів для під'єднання зовнішніх сенсорів. Від технічної досконалості цих елементів залежить точність визначення координат, стабільність роботи в умовах руху,

а



В Рисунок 1.3 – Функціональні характеристики GPS-трекерів  
і для автомобільного транспорту

с

У структурному відношенні ядром GPS-трекера є навігаційний приймач, який відповідає за оброблення сигналів супутникових систем. Приймач виконує функцію визначення координат, швидкості та курсу руху транспортного засобу. Для підвищення точності більшість сучасних трекерів використовує комбіновані навігаційні модулі, які підтримують одночасне приймання сигналів GPS, Galileo, ГЛОНАСС та BeiDou. Такий підхід забезпечує кращу стійкість до втрати сигналу, зменшує помилки, пов'язані з атмосферними затримками, та пришвидшує визначення місцезнаходження після ввімкнення трекера або відновлення зв'язку.

р

о

в

а

н

Робота навігаційного приймача неможлива без антени, яка є першим елементом приймального тракту. Антена GPS-трекера повинна мати достатню чутливість, оптимальну діаграму спрямованості та можливість працювати у широкому температурному діапазоні. Більшість промислових рішень використовує активні антени з вбудованим малошумним підсилювачем, що дозволяє компенсувати слабку потужність навігаційних сигналів та забезпечує стабільне приймання навіть за наявності сторонніх електромагнітних полів. Розміщення антени в автомобілі має враховувати умови екранування металевими елементами кузова, вплив нагрівання та вібрації, тому виробники передбачають різні типи конструкцій: внутрішні, зовнішні, гнучкі або зі шлейфом під монтаж під панель приладів.

Отримані навігаційні дані обробляються мікроконтролерним модулем, який виконує функції фільтрації, інтерполяції, перевірки достовірності та формування телематичних пакетів. На цьому етапі до даних можуть додаватися показники від зовнішніх датчиків, підключених через аналогові, цифрові або спеціалізовані інтерфейси. Для контролю температури у кузові застосовують цифрові 1-Wire-датчики, покази яких об'єднуються з навігаційними параметрами.

Комунікаційний блок GPS-трекера забезпечує передавання інформації на сервер програмної платформи. Для цього використовуються мобільні мережі стандартів 2G, 3G, 4G або NB-IoT. Модуль зв'язку автоматично встановлює з'єднання, формує пакети даних та передає їх у вигляді повідомлень з визначеним часовим інтервалом або при настанні певних подій, таких як різка зміна швидкості, тривала зупинка або вихід температури Треф за допустимі межі. Стабільність роботи комунікаційного блока визначає, наскільки безперервним буде потік інформації, що надходить до

и Крім навігаційного та комунікаційного блока, важливою складовою трекера є енергетичний модуль. Пристрій живиться від бортової мережі автомобіля та, як правило, має внутрішній акумулятор, який забезпечує роботу

е

т

ч



у разі відключення основного живлення. Це дозволяє зберігати контроль над транспортним засобом у випадках аварійних ситуацій, технічних несправностей чи навмисних втручань. Для стабільного живлення електронних компонентів використовуються перетворювачі напруги, що забезпечують необхідні рівні для навігаційного приймача, мікроконтролера та датчиків.

У конструкції GPS-трекера передбачені різноманітні інтерфейси для взаємодії із зовнішнім обладнанням. Окрім інтерфейсу 1-Wire для підключення цифрових датчиків температури, у трекерах можуть бути аналогові входи, цифрові входи, релейні виходи, інтерфейси RS-485, RS-232 або CAN. Завдяки цьому пристрій здатний не лише вимірювати температуру, а й контролювати стан дверей кузова, роботу холодильного агрегата, рівень пального, напругу у мережі або інші параметри. Така гнучкість дозволяє інтегрувати трекер у складні транспортні системи, формуючи комплексну модель роботи автомобіля та умов перевезення.

Програмна частина GPS-трекера виконує функції збирання, аналізу та фільтрації даних. Вона визначає інтервали передавання повідомлень, обробляє інформацію про рух, швидкість, курс, встановлює прив'язку значень до координат та часу. Алгоритми трекера здатні відсіювати очевидно некоректні дані, зменшувати похибки, пов'язані з вібраціями або короткочасними втратами сигналу.

### **1.3 Існуючі рішення для контролю температури в автомобілях-рефрижераторах**

Контроль температурних режимів у транспортних засобах, що здійснюють перевезення швидкопсувних вантажів, є ключовим елементом забезпечення якості та безпечності продукції. Сучасні автомобілі-рефрижератори обладнуються різними технічними засобами контролю температури, які відрізняються принципом дії, точністю вимірювань,

способом фіксації даних та можливостями їхнього передавання. Загалом існуючі рішення можна поділити на автономні системи та інтегровані

е Автономні вимірювальні пристрої є найпростішим засобом контролю температури у фургоні. Вони представлені у вигляді електронних термометрів або реєстраторів, що працюють незалежно від системи автомобіля та не мають функції передавання даних. Значення температури фіксуються у внутрішній пам'яті приладу і можуть бути зчитані лише після завершення транспортування. Такий підхід забезпечує мінімальну базову вимогу контролю, проте має суттєві недоліки. Оператор не може оцінити температурний режим у режимі реального часу, а також не може втрутитися у випадку перегріву або переохолодження продукції. Крім того, дані не прив'язані до часу та маршруту з високою точністю, що зменшує їхню інформативність під час аналізу.

к Інший клас обладнання становлять штатні температурні датчики рефрижераторної установки. Вони входять до складу холодильного агрегата і безпосередньо контролюють температуру повітря біля випарника та в певних контрольних точках кузова. Ці пристрої забезпечують роботу системи холодильного обладнання, підтримуючи задану температуру шляхом регулювання продуктивності компресора та циркуляції холодоагенту. Вони дозволяють оцінювати основні параметри роботи рефрижератора, проте їхня функціональність обмежена. Такі датчики не забезпечують зовнішнього віддаленого контролю, не мають можливості підключення до телематичних платформ та не гарантують багатоточкового вимірювання. Оскільки температурне поле всередині кузова є неоднорідним, наявність лише одного або двох штатних датчиків не дає повної інформації щодо фактичних умов у різних зонах фургона.

п

р Таблиця 1.2 - Температурні датчики, що застосовуються в системах

м

ц

ю

].

Тип датчика	Принцип дії та інтерфейс	Діапазон вимірювання, °C	Типова похибка	Зовнішній вигляд
Цифровий датчик DS18B20 (1-Wire, в герметичній гільзі)	Напівпровідниковий цифровий датчик температури з інтерфейсом 1-Wire;	-55 до +125	±0,5 в діапазоні -10...+85	
Цифровий датчик температури Teltonika	Спеціалізований цифровий сенсор для роботи з GPS-трекерами Teltonika; фактично аналог DS18B20 у захищеному корпусі з кабелем	-40 до +125	±0,5...±1,0	
Аналоговий NTC-термістор у складі штатного датчика рефрижератора	Зміна опору напівпровідникового елемента залежно від температури; сигнал знімається як напруга на подільнику	-40 до +70	±0,5...±2,0	
Аналоговий датчик температури з виходом 4–20 мА (промисловий зонд)	Перетворює виміряну температуру у струмовий сигнал 4–20 мА; стійкий до падіння напруги та перешкод	-50 до +150	±0,5...±1,0	
Цифровий Bluetooth-датчик температури та вологості (BLE-маяк)	Вимірює температуру й вологість, передає дані по радіоканалу Bluetooth Low Energy	-20...-40 до +60...+70 (залежно від моделі)	±0,5...±1,0	
Реєстратор температури з внутрішньою пам'яттю (логер)	Вбудований датчик (аналоговий або цифровий) з мікроконтролером, який періодично записує значення температури у пам'ять	-30 до +70	±0,5...±1,0	

Для підвищення рівня контролю у сучасних логістичних системах широко застосовуються реєстратори температури з можливістю зберігання даних у цифровому вигляді. Такі пристрої мають більший обсяг пам'яті та здатні записувати температурні значення через задані інтервали часу. Контрольні значення можуть оцінюватися після завершення перевезення або під час проміжних перевірок. Перевагою цих пристроїв є вищий рівень точності та стабільності вимірювань, проте недоліком залишається відсутність оперативності та неможливість впливати на ситуацію під час транспортного процесу.

У більш складних телематичних рішеннях температуру контролюють за допомогою цифрових датчиків, інтегрованих у систему GPS-моніторингу. Найбільш поширеним у цій категорії є використання цифрових сенсорів температури, що працюють за протоколом 1-Wire. Такі датчики можуть бути встановлені у декількох зонах кузова, що дозволяє отримати не лише точкові вимірювання, але й оцінити просторовий розподіл температури.

Останніми роками широке застосування отримали безпроводні датчики температури, що працюють за технологією Bluetooth Low Energy. Вони дозволяють здійснювати вимірювання без прокладання кабельних ліній, що зменшує складність монтажу і полегшує технічне обслуговування. Проте ці пристрої мають певні обмеження, зокрема залежність від дальності та завадостійкості радіоканалу. У металевих кузовах рефрижераторів сигнал може суттєво ослаблюватися, тому для забезпечення стабільного контролю часто необхідна установка декількох ретрансляційних точок.

Окрему групу складають комбіновані системи контролю, що об'єднують температурні датчики, контролери дверей, сенсори вологості та реєстратори режимів роботи холодильного агрегата. У таких системах збір даних виконується централізовано, а інформація передається до єдиної телематичної платформи. Це дозволяє здійснювати глибокий аналіз взаємозв'язків між температурними умовами, режимами руху та подіями, що відбуваються у кузові транспортного засобу.

Незважаючи на широкий спектр існуючих рішень, значна частина транспортних підприємств і досі використовує мінімальні конфігурації, що включають один датчик температури та базовий GPS-трекер. Такий підхід істотно обмежує можливості аналізу, оскільки не враховує неоднорідність температурного поля та не дає змоги оперативно локалізувати проблемні зони. Крім того, відсутність архіву або низька частота фіксації значень температури зменшують достовірність оцінки умов перевезення, особливо у випадках виникнення спірних ситуацій із замовниками або контролюючими органами.

#### **1.4. Вимоги нормативних документів до температурних режимів перевезень**

Нормативно-правова база, яка регламентує транспортування швидкопсувних продуктів у контрольованих температурних умовах, сформована на поєднанні міжнародних угод та національних вимог. Центральним документом у цій сфері є Угода про міжнародні перевезення швидкопсувних продуктів і спеціальні транспортні засоби, призначені для таких перевезень (АТР). Угоду було підписано у 1970 році в Женеві, а чинності вона набула у 1976 році. Вона визначає технічні вимоги до транспортних засобів, процедури випробувань, класифікацію рефрижераторів і допустимі температурні режими для різних категорій продукції. Угода АТР регулярно оновлюється, а її вимоги є обов'язковими для всіх країн-учасниць, включно з

к Однією з основних вимог АТР є відповідність транспортних засобів певному класу ізотермічного та холодильного обладнання. Транспортні засоби класифікуються за здатністю підтримувати різні температурні рівні. Для класу FRC, який використовується для транспортування заморожених продуктів, встановлена вимога забезпечувати температуру не вище мінус двадцяти градусів у стандартних умовах зовнішнього середовища. Для охолодженої продукції використовуються класи з менш жорсткими вимогами, які повинні

,

я

к

підтримувати температуру від нуля до плюс семи градусів залежно від типу вантажу.

Температурні режими для різних груп швидкопсувних продуктів визначаються їхніми фізико-хімічними властивостями та вимогами до збереження мікробіологічної безпечності. Заморожені продукти транспортуються при температурі не вище  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує стабільність їхньої структури та стримує мікробіологічні процеси. Для окремих груп допускається короточасне підвищення температури до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , однак середнє значення повинно залишатися в межах нормативу.

Охолоджене м'ясо перевозять при температурі близькій до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Допустимий діапазон становить від  $-1$  до  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що дозволяє сповільнити мікрофлору без заморожування тканин. Для охолодженої риби встановлено один із найнижчих діапазонів серед незаморожених продуктів – від  $-1$  до  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , оскільки навіть незначне перевищення цієї межі прискорює процеси псування.

Молочні продукти транспортуються при температурі від  $0$  до  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Такий діапазон забезпечує мікробіологічну стабільність сировини та готової продукції, зменшуючи швидкість ферментативних реакцій. Для кулінарних і гастрономічних виробів рекомендований діапазон від  $0$  до  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що дозволяє зберігати їхню безпечність протягом усього логістичного циклу.

Овочі та фрукти мають більш варіативні вимоги, залежно від виду та стадії стиглості. Для більшості продукції оптимальною є температура від  $+2$  до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Окремі групи, наприклад банани, потребують температури близько  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , щоб уникнути холодового ушкодження.

Для морозива встановлено найжорсткіші вимоги серед продуктів холодового ланцюга. Температура під час транспортування повинна бути не вище  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Підвищення навіть на кілька градусів може призвести до часткового підтаювання, руйнування структури та погіршення якості продукту, тому дотримання цього нормативу є критично важливим для збереження товарного вигляду та безпечності.

Рефрижераторні фургони, що застосовуються для транспортування швидкопсувних продуктів, класифікуються за типом конструкції, характером теплоізоляції та здатністю підтримувати певний температурний режим. Вимоги до їхньої класифікації встановлені Угодою АТР і відображені у відповідних національних стандартах. Основним критерієм поділу є теплоізоляційні властивості кузова та потужність холодильного агрегата, що забезпечує підтримання нормативної температури незалежно від зовнішніх умов.

Перший рівень класифікації передбачає поділ фургонів за їхньою конструкцією. Ізотермічний фургон являє собою транспортний засіб із теплоізолюваними стінками, підлогою та стелею, але без активної холодильної установки. Він здатний зберігати температуру вантажу протягом обмеженого часу при мінімальних теплових втручаннях, тому застосовується переважно для внутрішніх або короткочасних перевезень. На базі ізотермічного фургона виконуються дві основні модифікації: охолоджуваний та рефрижераторний фургони. Охолоджуваний фургон обладнаний установкою, яка подає охолоджене повітря або лід, але представляє собою пасивну систему, залежну від зовнішнього охолоджувального середовища. На відміну від нього, рефрижераторний фургон оснащений активною холодильною установкою, здатною генерувати холод незалежно від зовнішніх умов, забезпечуючи стабільний температурний режим протягом усього маршруту.

Угода АТР класифікує транспортні засоби, призначені для перевезення швидкопсувних вантажів, за типом теплоізоляції та можливостями підтримання заданого температурного режиму. Класифікація поділяється на дві основні групи: ізотермічні транспортні засоби (класи INA, INB) та транспортні засоби з активним холодильним обладнанням (класи FRA, FRB, FNA, FNB, FRC, FRF). Такий поділ дозволяє точно визначити технічні вимоги

т

а

с

ф

Ізотермічні транспортні засоби представлені класами INA та INB. Клас INA передбачає наявність стандартної теплоізоляції кузова, здатної зменшувати теплові втрати порівняно зі звичайним вантажним кузовом. Проте такі транспортні засоби не можуть підтримувати температуру нижчу за температуру завантаження продукту. Вони застосовуються на коротких відстанях, коли температура вантажу вже стабілізована у межах, допустимих нормативами. Клас INB вирізняється посиленою теплоізоляцією, що забезпечує кращі теплотехнічні властивості. INB може утримувати внутрішню температуру довше, ніж INA, особливо за умов впливу високої зовнішньої температури, однак також не має активної системи охолодження. Обидва класи використовуються переважно як базові кузова, на основі яких встановлюються холодильні агрегати для отримання більш високих класів.

Активні холодильні транспортні засоби класифікуються відповідно до здатності підтримувати різні температурні режими. Клас FRA є транспортним засобом з нормальним рівнем теплоізоляції та холодильним агрегатом, що здатний знижувати і підтримувати температуру в позитивному діапазоні. Типові значення температури для FRA становлять до +7 °C. Такі транспортні засоби застосовуються для перевезення овочів, фруктів та інших продуктів, що потребують помірного охолодження.

Клас FRB характеризується посиленою теплоізоляцією кузова, що дозволяє підтримувати більш стабільний температурний режим в умовах змін зовнішньої температури. FRB також забезпечує температуру до +7 °C, проте здатний тримати її значно довше і з меншим впливом зовнішніх факторів. Такий клас використовується для продукції, яка є чутливішою до теплових коливань, але не потребує значних негативних температур.

Рефрижераторні класи FNA та FNB відрізняються від FRA і FRB здатністю підтримувати нижчі температури. Клас FNA призначений для підтримання температури до +2 °C та застосовується для охолоджених продуктів, таких як м'ясо або молочна продукція. У цьому класі холодильний агрегат працює у позитивному діапазоні температур, а теплоізоляція є



стандартною. Клас FNB забезпечує той самий температурний режим від 0 до +2 °С, однак має посилену теплоізоляцію, що дозволяє підтримувати необхідну температуру за складніших зовнішніх умов, наприклад за високої температури навколишнього повітря або при тривалих зупинках.

Найсуворішим класом холодильної техніки є FRC. Він забезпечує підтримання температури не вище –20 °С за зовнішньої температури до +30 °С. У цьому класі допускається короткочасне підвищення температури до –15 °С, однак середнє значення повинно залишатися на рівні –20 °С. Кузови FRC мають максимально посилену теплоізоляцію, а холодильні агрегати – високі показники холодильної потужності. FRC застосовується для транспортування заморожених та глибокозаморожених продуктів, зокрема м'яса, риби, овочевих сумішей та морозива.

Окрему категорію становить клас FRF, який є багаторежимним рефрижератором. У таких транспортних засобах можуть одночасно підтримуватися різні температурні зони, наприклад від 0 до +2 °С у передній частині та до –20 °С у задній. Це досягається за допомогою перегородок, окремих випарників та незалежних контурів циркуляції повітря. FRF застосовується для змішаних вантажів, коли потрібно одночасно транспортувати охолоджену й заморожену продукцію у межах одного кузова.

Важливим аспектом є процедура сертифікації та періодичних випробувань транспортних засобів. АТР визначає порядок перевірки теплотехнічних характеристик ізотермічних кузовів та потужності холодильних агрегатів. Під час випробувань оцінюється, наскільки ефективно транспортний засіб підтримує заданий температурний режим у стандартних умовах навколишнього середовища. Для цього виконується вимірювання теплопровідності стінок кузова, оцінка рівномірності циркуляції повітря, перевірка роботи холодильного обладнання при різних навантаженнях. Після успішного проходження таких випробувань транспортний засіб отримує сертифікат відповідності класу (наприклад, FRC), який є чинним протягом

шести років при первинній сертифікації та трьох років при повторних перевірках.

Національне законодавство доповнює положення АТР з урахуванням санітарних та ветеринарних вимог, встановлюючи додаткові вимоги до перевезення харчових вантажів. Українські нормативні акти визначають обов'язковість наявності документально підтвердженого контролю температури на всіх етапах транспортування, включаючи проміжні зупинки, завантаження й розвантаження. Okремо підкреслюється важливість наявності приладів, здатних здійснювати безперервний контроль температури з фіксацією часу та можливістю зберігання даних. У випадку перевезень на далекі дистанції ці вимоги стають критичними для збереження якості продукції та виконання стандартів безпечності харчових продуктів.

У регламентах наголошується також на раціональному розміщенні температурних датчиків для забезпечення належного контролю умов перевезення. Датчики повинні бути розташовані у зонах, де найімовірніше виникають відхилення температури, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні порушення. Особлива увага приділяється вимогам до точності датчиків, оскільки лише прилад із низькою похибкою може забезпечити достовірність температурних значень, що використовуються для контролю відповідності перевезення нормативам

#### **1.4 Стан питання та проблеми існуючих систем моніторингу**

Системи моніторингу транспорту, що застосовуються у сфері перевезення швидкопсувних вантажів, пройшли значну еволюцію, однак на практиці їхні можливості не завжди повною мірою покривають вимоги холодового ланцюга. Більшість сучасних рішень забезпечує контроль місця розташування транспортного засобу, фіксацію швидкості руху, побудову маршруту та контроль за роботою основних агрегатів автомобіля. У системах, що працюють із рефрижераторними фургонами, додатково реалізовано

можливість вимірювання температури, однак цей контроль нерідко має обмежений характер.

Поширені на практиці GPS-трекери забезпечують отримання температури лише з одного датчика, встановленого у визначеній точці кузова. Такий підхід спрощує монтаж обладнання, однак не дозволяє оцінити реальний температурний стан у вантажному відсіку, де температура може відрізнятись на декілька градусів залежно від відстані до випарника, характеру завантаження або зовнішніх впливів. Внаслідок цього водій і оператор системи отримують усереднену або локальну температуру, яка не відображає фактичного стану вантажу. Це створює ризики недотримання вимог холодового ланцюга навіть у випадках, коли система моніторингу не повідомляє про порушення.

Ще однією проблемою є неоднорідність характеристик самих температурних сенсорів. Датчики, які часто застосовуються у складі бюджетних систем моніторингу, мають досить високу похибку, що може досягати  $\pm 1$  °C, а іноді й більше залежно від умов експлуатації. Для ряду продуктів, зокрема риби, молочної продукції або готових страв, навіть таке відхилення може бути критичним. До того ж, чутливість датчика значною мірою залежить від якості монтажу, відсутності термічного екранування, правильної ізоляції місця встановлення та наявності належної вентиляції повітря навколо сенсора.

Істотним недоліком є також обмеження щодо збору та збереження даних у хмарних системах моніторингу. У багатьох рішеннях інтервал передавання даних складає від однієї до п'яти хвилин. За різких змін температури в середині кузова цього часу може бути достатньо, щоб вантаж зазнав небажаного прогрівання, при цьому система не завжди фіксує сам момент відхилення. Проблема посилюється тим, що при тимчасових втратах зв'язку з сервером система може пропускати окремі значення температури, які теоретично могли перевищувати допустимий діапазон.

Наявність лише одного датчика не дозволяє проводити навіть просту оцінку розподілу температури у фургоні, тому у випадку складного завантаження або частого відчинення дверей виникає ризик локального перегріву, невидимого для засобів контролю. У ряді випадків оператори змушені орієнтуватися на інформацію від самого холодильного агрегату, хоча його працю оцінюють через стан випарника, а не температуру в зоні розташування продукту. Такий підхід не відповідає вимогам АТР та національних стандартів, які орієнтуються саме на умови, що забезпечують збереження вантажу.

Ще однією проблемою є недостатня здатність систем моніторингу інтерпретувати температурні дані у динаміці. Більшість платформ не аналізує швидкість змінювання температури, хоча саме цей показник дозволяє передбачити можливість порушення температурного режиму. Наприклад, при швидкому підвищенні температури Треф система повинна видавати попереджувальний сигнал ще до того, як температура досягне критичної межі. Бюджетні системи такої функції не підтримують, що обмежує можливості оперативного реагування.

До загальних проблем також належить низька якість монтажу та відсутність стандартизованої методики встановлення датчиків. Нерідко датчик монтується близько до стінки кузова, на лініях повітряного потоку або у безпосередній близькості до випарника. У таких випадках вимірювана температура не відповідає середній температурі у фургоні, що може формувати помилкове враження про дотримання нормативів. Встановлення датчиків без екранування від теплового впливу може призвести до фіксації температури стінки кузова, а не температури повітря.

У сучасних системах також бракує механізмів документального підтвердження температурного режиму в юридично значущому форматі. Хоча більшість платформ має можливість збереження графіків та журналів вимірювань, не всі з них відповідають вимогам до архівування і

недоторканності даних. У разі спорів щодо якості продукції така інформація може бути неповною або недостатньою.

## **Висновки**

1. Сучасні навігаційні системи GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou забезпечують високу точність позиціонування, а телематичні платформи здатні об'єднувати навігаційні дані з параметрами роботи автомобіля та холодильного агрегата. Це формує технологічне підґрунтя для реалізації повноцінного управління процесами доставки швидкопсувних продуктів.

2. Аналіз конструкції та функцій GPS-трекерів показав, що сучасні моделі мають значний набір комунікаційних і вимірювальних можливостей, включаючи роботу з цифровими шинами 1-Wire. Однак загальні характеристики таких пристроїв свідчать, що їхні можливості часто обмежуються підтримкою одного температурного каналу або датчика з невисокою точністю, що не дозволяє забезпечити повноцінний контроль у багатозонному середовищі фургона.

3. Огляд існуючих рішень для контролю температури продемонстрував, що на ринку представлено широкий спектр цифрових сенсорів, від простих термісторів до високоточних цифрових датчиків. Хоча цифрові рішення 1-Wire забезпечують кращу стабільність і точність, їх застосування у телематичних системах часто обмежується апаратною підтримкою.

4. Вивчення нормативної бази АТР та національних санітарних стандартів виявило чіткі температурні вимоги для різних груп продуктів і строгі критерії щодо класів ізоляції рефрижераторів. Підтримання температурних меж від +2 °С для охолоджених продуктів до -20 °С для заморожених є критично важливим для забезпечення безпеки харчових продуктів. Норми також визначають порядок сертифікації транспортних засобів та обов'язковість документального підтвердження температурних умов під час перевезення.

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ

### 2.1 Фізичні принципи вимірювання температури термісторами та цифровими сенсорами

Вимірювання температури у системах моніторингу рефрижераторного транспорту ґрунтується на використанні фізичних властивостей матеріалів, які змінюються під дією температури. У телематичному обладнанні широко застосовуються як термісторні сенсори, так і цифрові датчики, що формують вимірювальну інформацію у цифровій формі. Принцип їхньої роботи базується на різних фізичних закономірностях, однак обидва типи мають спільну функцію – забезпечити стабільне, точне та швидке отримання температурних даних.

Термісторні датчики є найбільш поширеним типом аналогових температурних сенсорів у низьковольтних та побутових вимірювальних системах. Основою їхньої роботи є залежність електричного опору напівпровідникового матеріалу від температури. У термісторах із негативним температурним коефіцієнтом опору опір зменшується зі зростанням температури. Така залежність є нелінійною та описується апроксимаційною формулою:

$$R = R_0 \cdot \exp(B/T), \quad (2.1)$$

де  $R$  – опір термістора за певної температури  $T$ ,  $R_0$  – опір при еталонній температурі,  $B$  – матеріальний параметр. Нелінійність залежності вимагає використання корекційних алгоритмів або калібрувальних таблиць у складі вимірювальної системи. Перевагою термісторів є висока чутливість у вузькому діапазоні температур, однак вони можуть мати значну похибку у разі зміни довжини кабелю або впливу паразитних опорів.

Цифрові температурні сенсори, зокрема ті, що працюють за стандартом 1-Wire, використовують інший фізичний принцип. Вимірювання базується на використанні біполярних або CMOS-структур, у яких параметри напівпровідникового переходу змінюються з температурою. Після

вимірювання аналоговий сигнал оцифровується інтегральним перетворювачем у складі мікросхеми. Цифровий принцип формування сигналу дозволяє суттєво зменшити вплив зовнішніх факторів, таких як опір лінії, електромагнітні перешкоди або зміна напруги живлення. Саме тому цифрові датчики забезпечують стабільність і повторюваність вимірювань навіть за складних умов експлуатації, характерних для транспортних засобів.

Однією з важливих особливостей цифрових датчиків є можливість передавання вимірюваної температури у вигляді цифрового коду з визначеною роздільною здатністю. Це усуває необхідність використання додаткових перетворювачів та калібрувальних ланцюгів у GPS-трекерах, що підвищує точність отриманих значень. Типовими є цифрові сенсори, здатні вимірювати температуру з дискретністю  $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C}$  та похибкою в межах  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  у робочому діапазоні. Ці показники є достатніми для застосування у холододових ланцюгах, де температурні зміни можуть впливати на якість продукції.

Принципова відмінність між термісторами та цифровими сенсорами полягає у способі обробки та передавання даних. У термісторних сенсорах вимірюється аналоговий сигнал, який далі повинен бути підсилений, лінеаризований та перетворений у цифровий формат за допомогою АЦП трекера. У цифрових сенсорах весь цикл – від вимірювання до формування результату – відбувається всередині компонента, що мінімізує вплив зовнішніх факторів. Завдяки цьому цифрові сенсори, особливо 1-Wire, краще підходять для використання у системах GPS-моніторингу, де довжина кабелю може досягати кількох метрів, а наявність перешкод є типовою.

Характерною особливістю цифрових датчиків є можливість адресного доступу до кожного сенсора у складі однієї шини. Це створює технічну основу для організації багатоточкового контролю температури у рефрижераторних фургонах, що є неможливим у випадку звичайних термісторних сенсорів без використання додаткових схем мультиплексування. Завдяки вказаним особливостям цифрові сенсори, побудовані на стандарті 1-Wire, стали базовим елементом сучасних систем моніторингу температури. У наступному

підпункті буде розглянуто їхню електротехнічну будову, технічні характеристики та особливості інтеграції у GPS-трекери.

Датчики температури, що працюють за стандартом 1-Wire, використовуються у транспортних системах моніторингу завдяки поєднанню цифрового принципу вимірювання, високої стабільності параметрів та можливості адресної роботи в межах однієї лінії зв'язку. Найпоширенішим представником цього класу є цифровий сенсор DS18B20, який став базовою моделлю для більшості GPS-трекерів з підтримкою 1-Wire. Його конструкція та електротехнічні особливості визначили архітектуру численних аналогів, зокрема DS18S20, MAX31820 та промислових модифікацій на основі сумісних мікросхем.

Принципова особливість датчиків 1-Wire полягає у використанні однопровідної цифрової шини, яка поєднує функції живлення, синхронізації та передавання даних. Таке рішення дозволяє використовувати для підключення тільки один сигнальний провід і загальну «землю». У спрощеному режимі живлення паразитний варіант дозволяє подавати живлення по тій самій лінії, що і дані, що робить систему мінімалістичною й зручною для монтажу у транспортних засобах. Висока електрична стійкість такої архітектури забезпечується за рахунок часових протоколів, у яких кожна передана бітова комбінація має формально визначену тривалість.

Електротехнічні параметри DS18B20 визначають його придатність для роботи у складних умовах рефрижераторних фургонів. Номінальна напруга живлення становить від 3,0 до 5,5 В, що дозволяє жити сенсор безпосередньо від електричних схем GPS-трекера. Струм споживання не перевищує декількох міліампер, а у режимі паразитного живлення зменшується до мінімуму, що є важливою перевагою за великої кількості датчиків у системі. Робочий діапазон температур становить від  $-55$  до  $+125$  °С, що повністю покриває потреби рефрижераторного транспорту, де температури коливаються у межах від  $-30$  до  $+10$  °С.



Роздільна здатність вимірювання у DS18B20 становить від 9 до 12 біт. Це відповідає дискретності від 0,5 до 0,0625 °C. Режим роздільної здатності задається програмно, що дозволяє балансувати між швидкістю вимірювання та точністю. При максимальній роздільній здатності час конверсії може досягати 750 мс, тоді як у режимі 9 біт час перетворення значно менший. Похибка вимірювання не перевищує  $\pm 0,5$  °C у діапазоні  $-10 \dots +85$  °C та трохи збільшується на межах діапазону.

Цифрові моделі, сумісні з DS18B20, зберігають загальні електротехнічні властивості, але можуть мати відмінності у стабільності, часових характеристиках і вимогах до паразитного живлення. Сенсори серії DS18S20 є попередниками сучасних моделей та мають фіксовану роздільну здатність 9 біт, що зменшує точність, але прискорює вимірювання. Моделі MAX31820 вирізняються низьким власним енергоспоживанням та посиленою захищеністю до електромагнітних завад, що підвищує стабільність роботи у транспортних умовах. Промислові аналоги у герметичних корпусах із нержавіючої сталі здатні витримувати механічні вібрації та дію агресивних речовин, що суттєво подовжує їхній термін служби у рефрижераторних фургонах.

## **2.2 Аналітичні залежності напруги та цифрового коду від температури, похибки і чутливості**

Температурні сенсори, що застосовуються у системах моніторингу рефрижераторного транспорту, формують інформацію про температуру на основі фізичних залежностей між температурою та електричними параметрами вимірювального елемента. У термісторах вимірювальною величиною є опір, тоді як цифрові датчики, зокрема 1-Wire-сенсори, формують цифровий код, пропорційний температурі. Аналіз аналітичних залежностей дає змогу оцінити точність, чутливість та стабільність вимірювань у реальних умовах.

У термісторах із негативним температурним коефіцієнтом опору залежність між опором  $R$  і температурою  $T$  апроксимується експоненціальним виразом:

$$R = R_0 \cdot \exp[B \cdot (1/T - 1/T_0)], \quad (2.2)$$

де  $R_0$  – опір при еталонній температурі  $T_0$ , а  $B$  – параметр матеріалу. У вимірювальних системах термістор включають у подільник напруги, тому напруга на ньому визначається формулою:

$$U = U_{\text{п}} \cdot R / (R + R_{\text{к}}), \quad (2.3)$$

де  $U_{\text{п}}$  – напруга живлення,

$R_{\text{к}}$  – додатковий резистор.

Підставлення залежності  $R(T)$  у формулу для  $U(T)$  дає нелінійну функцію, яку на практиці лінеаризують поблизу робочої температури  $T_{\text{роб}}$ .

Лінеаризована форма записується як:

$$U(T) = U(T_{\text{роб}}) + S_{\text{UT}} \cdot (T - T_{\text{роб}}), \quad (2.4)$$

де  $S_{\text{UT}} = dU/dT$  – чутливість у робочій точці. Випадкова похибка вимірювання температури, що відповідає похибці вимірювання напруги  $\Delta U$ , становить:  $\Delta T = \Delta U / S_{\text{UT}}$ .

Оскільки масштаби  $U(T)$  у термісторних схемах значною мірою залежать від довжини кабелю, паразитних опорів і ємностей, ці системи вимагають додаткових алгоритмів компенсації похибок і ретельного калібрування.

У цифрових температурах 1-Wire використовується лінійна залежність між цифровим кодом  $N$  та температурою, що задається рівнянням:

$$T_{\text{дат}} = k_1 \cdot N + k_2, \quad (2.5)$$

де  $k_1$  відповідає дискретності вимірювання.

Для DS18B20 значення  $k_1$  дорівнює  $0,0625$  °C, що забезпечує чутливість:

$$S_{\text{NT}} = 0,0625 \text{ °C/крок}. \quad (2.6)$$

Квантаційна похибка цифрового перетворення становить  $\Delta T_{\text{кв}} = \pm 0,03125$  °C, тобто майже на порядок менше за власну паспортну похибку  $\pm 0,5$  °C. Отже, цифровий інтерфейс забезпечує високу стабільність і

повторюваність вимірювань, практично незалежних від довжини кабелю, які є критично важливими для контролю температури у рефрижераторних кузовах.

У системах із кількома датчиками значення температури можуть бути усереднені для зменшення випадкової складової похибки. Середня температура у тридатчиковій схемі розраховується за формулою:

$$T_{\text{ср}} = (T_1 + T_2 + T_3) / 3. \quad (2.7)$$

Для випадкової похибки  $\sigma$  одного датчика статистична похибка середнього дорівнює  $\sigma_{\text{ср}} = \sigma / \sqrt{3}$ , що підвищує достовірність оцінки температури в кузові. Додатково контроль різниці між датчиками дозволяє виявляти неоднорідність температурного поля:

$$\Delta T_{\text{max}} = \max(|T_1 - T_2|, |T_1 - T_3|, |T_2 - T_3|). \quad (2.8)$$

Динаміка зміни температури  $T_{\text{реф}}$  може бути описана лінійною моделлю:

$$T_{\text{реф}} = b_0 + b_1 \cdot t, \quad (2.9)$$

де  $b_1$  – швидкість зміни температури. У випадку загрози виходу з нормативного діапазону час досягнення межі оцінюють як

$$t_{\text{крит}} = (T_{\text{доп}} - T_{\text{пот}}) / b_1. \quad (2.10)$$

Це створює можливість прогнозного контролю температури, що відсутній у простіших системах.

### **2.3 Вплив довжини лінії, ємності кабелю та топології шини 1-Wire на точність вимірювань**

Шина 1-Wire у системах телематичного моніторингу працює у складних умовах, де довжина кабелю може досягати десятків метрів, а кількість підключених датчиків – збільшуватися до декількох одиниць. Основними факторами, що визначають якість цифрового обміну, є сумарна ємність шини, опір лінії, топологія підключення та швидкість обміну.

Сумарна ємність шини  $C_{\text{ш}}$  визначається ємністю кабелю та входів датчиків:

$$C_{\text{ш}} = C_0 + c_{\text{каб}} \cdot l + C_{\text{дат}} \cdot n_{\text{дат}}, \quad (2.11)$$

де скаб – ємність кабелю на 1 м,

l – довжина лінії,

пдат – кількість датчиків.

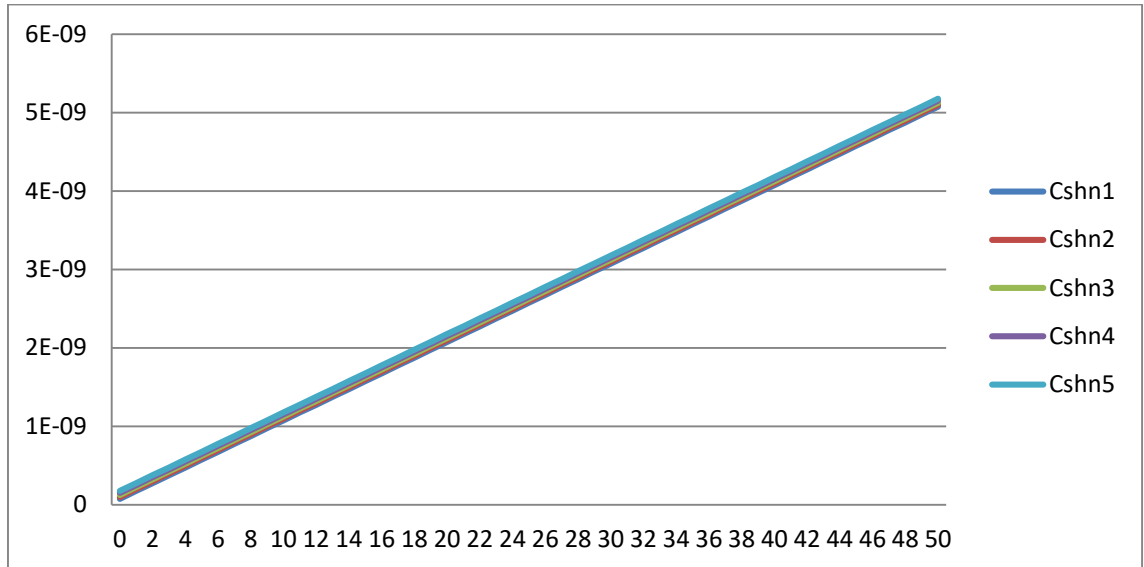


Рисунок 2.1 - Сумарна ємність шини залежно від довжини кабелю

Оскільки зарядження шини до логічної «1» відбувається через підтягувальний резистор  $R_{\text{підт}}$ , час відновлення напруги оцінюється рівнянням:  $t_{\text{зар}} = 3 \cdot R_{\text{підт}} \cdot C_{\text{ш}}$ . Для коректної роботи 1-Wire необхідно виконання умови:  $t_{\text{зар}} < k \cdot t_{\text{вік}}$ , де  $t_{\text{вік}}$  – мінімальна тривалість таймінгу протоколу,  $k$  – запас по часу (0,3...0,5). Провівши відповідні підстановки отримаємо залежність (рис. 2.2)

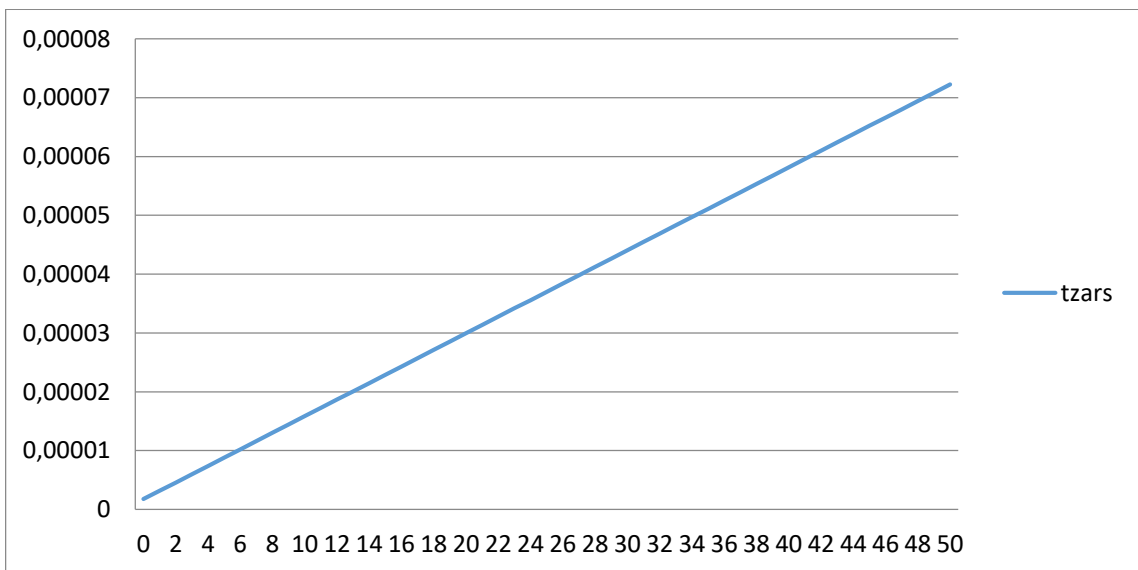


Рисунок 2.2 - Час відновлення напруги

На графіку видно, що час заряджання лінії тзар зростає майже лінійно зі збільшенням довжини кабелю. Це пояснюється пропорційним збільшенням сумарної ємності шини Сш. Оскільки  $t_{зар} = 3 \cdot R_{підт} \cdot C_{ш}$ , збільшення Сш при рості довжини кабелю неминуче призводить до повільнішого фронту імпульсу.

У практичній системі моніторингу це означає, що при великих довжинах (>30–40 м) час заряджання може наближатися до граничних значень таймінгу 1-Wire, що створює ризик спотворення логічних рівнів. Чим довша магістраль, тим більша ймовірність появи хибних бітів і необхідність повторного опитування датчиків.

Звідси визначається максимально допустима ємність шини:

$$C_{шмакс} = (k \cdot t_{вік}) / (3 \cdot R_{підт}). \quad (2.12)$$

Максимально допустима довжина кабелю при заданій кількості датчиків:

$$l_{макс} = (C_{шмакс} - C_0 - C_{дат} \cdot n_{дат}) / c_{каб}. \quad (2.13)$$

Аналогічно максимальна кількість датчиків при заданій довжині кабелю:

$$n_{датмакс} = (C_{шмакс} - C_0 - c_{каб} \cdot l) / C_{дат}. \quad (2.14)$$

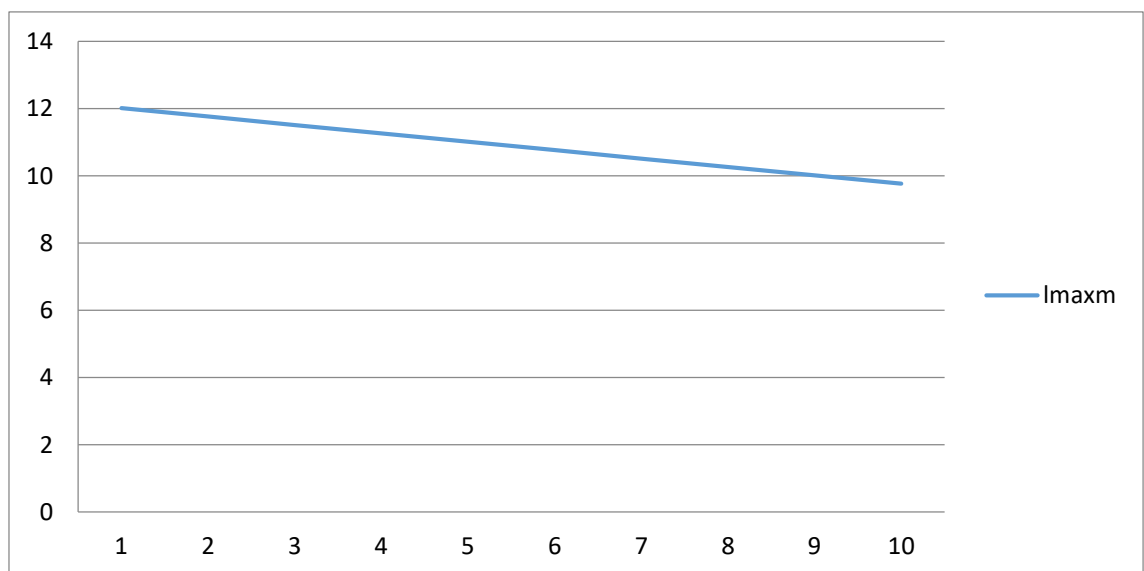


Рисунок 2.3 - Максимальна кількість датчиків при заданій довжині кабелю

На другому графіку показано зміну Сш при різній кількості датчиків пдат. Кожен датчик додає власну ємність, тому навіть за коротких ліній помітно збільшення Сш із зростанням пдат. Графік демонструє дві важливі закономірності:

– при фіксованій довжині кабелю збільшення кількості датчиків призводить до суттєвого зростання Сш.

– при великій довжині кабелю різниця між Сш для різної кількості датчиків ще більше зростає.

Це означає, що одночасне збільшення довжини кабелю та числа сенсорів особливо критичне - система швидше досягає Сшмакс, після чого коректний обмін стає нестабільним.

З цих залежностей випливає, що збільшення довжини кабелю або кількості датчиків приводить до зростання ємності Сш і збільшення сталих часу. Це уповільнює наростання імпульсів, спричинює спотворення фронтів та затримки сигналу. У разі наближення до граничних значень протокол може не встигати стабілізувати рівні напруги, що викликає помилки зчитування, пропуски бітів або втрату відповіді датчика.

Топологія шини також має суттєвий вплив. Лінійна магістраль із короткими відгалуженнями є оптимальною, оскільки зменшує відбиття та артефакти сигналу, де сигнал розбивається та відбивається назад, формуючи осциляції, збільшення часу встановлення рівнів і хибні імпульси у зчитуванні.



Рисунок 2.4 - Точність вимірювань у датчиках 1-Wire відносно довжини кабельної лінії

У цій залежності відображено модель зростання шуму  $\Delta U$  через збільшення ємності Сш та паразитних ефектів кабелю. Ця модель показує, що  $\Delta T$  зростає зі збільшенням довжини лінії навіть у цифрових датчиках. Адже на дуже довгих кабелях зростає час фронту і кількість повторних опитувань, що викликає коливання вимірюваної температури та збільшується рівень цифрового шуму.

Хоча цифровий інтерфейс набагато стійкіший за аналоговий, він також має обмеження, які добре видно на графіку. На практиці зростання  $\Delta T$  може сягати значень  $\pm 0,3 \dots 0,5$  °С при довжині понад 40 м, що співставно з власною похибкою датчика.

Точність та стабільність вимірювань у цифрових датчиках 1-Wire тісно пов'язані з електричними характеристиками кабельної лінії. Використання наведених аналітичних залежностей для оцінки  $S_{шмакс}$ ,  $I_{макс}$  та  $p_{датмакс}$  дозволяє забезпечити надійну роботу системи, правильно спроектувати топологію шини й уникнути помилок, що виникають через затримку та спотворення сигналу.

## Висновки

1. Аналіз залежностей підтверджує, що шина 1-Wire є чутливою до росту ємності, яка визначається довжиною кабелю та кількістю датчиків. Перевищення допустимих значень призводить до погіршення фронтів імпульсів, збільшення похибки  $\Delta T$ , появи помилок зчитування та потенційних відмов системи. Усі графіки узгоджуються між собою та відображають фундаментальні електричні властивості шини 1-Wire, що необхідно враховувати під час проектування удосконаленої системи моніторингу температури рефрижераторного транспорту..



## РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

### 3.1 Вимоги до вдосконаленої системи моніторингу

Ефективність контролю температури у рефрижераторному транспорті визначається здатністю системи моніторингу забезпечувати оперативне, точне та надійне вимірювання параметрів холодового ланцюга під час перевезення вантажів. Вдосконалена система має відповідати комплексним вимогам, які охоплюють функціональні можливості, метрологічні характеристики та експлуатаційні параметри. Ці вимоги формуються з урахуванням сучасних нормативних документів, технічних особливостей рефрижераторного обладнання та специфіки телематичних протоколів.

Функціональні вимоги визначають основні задачі, що має виконувати система моніторингу у процесі транспортування. Ключовою функцією є вимірювання температури в кількох контрольних точках кузова з використанням декількох датчиків, що дозволяє отримувати інформацію про просторову неоднорідність температурного поля. Значення температури  $T_1$ ,  $T_2$  і  $T_3$  повинні передаватися на сервер у режимі реального часу із можливістю розрахунку середнього значення:  $T_{\text{ср}} = (T_1 + T_2 + T_3) / 3$  та аналізу локальних відхилень. Система повинна забезпечувати фіксацію моментів виходу температури  $T_{\text{реф}}$  за допустимі межі, реєстрацію тривалості порушень та формування повідомлень про критичні режими. Окрім цього, необхідною є інтеграція з супутниковими навігаційними системами, що дозволяє поєднувати дані температури з даними про маршрут, швидкість руху та часові мітки. Важливою функцією також є можливість роботи з історичними даними, архівування температурних значень та відтворення температурних графіків для конкретних поїздок.

Метрологічні вимоги визначають рівень точності, стабільності та відтворюваності результатів вимірювання. Для забезпечення відповідності нормам АТР та національних стандартів система повинна гарантувати похибку не більше  $\pm 0,5$  °C у робочому температурному діапазоні. Датчики

повинні демонструвати високу чутливість та стабільність при зміні умов довкілля. У разі використання моделі температурного зміни.

Метрологічна надійність також вимагає проведення початкової калібрування кожного датчика та періодичної перевірки точності у процесі експлуатації. Окремо визначаються вимоги до стійкості вимірювальних каналів у довгих кабельних лініях. З огляду на залежність похибки від ємності шини, яка може зростати зі збільшенням довжини кабелю, система повинна забезпечувати стабільну роботу при довжині лінії до 20–30 м та заданій

і Експлуатаційні вимоги охоплюють надійність, стійкість до механічних, температурних та електромагнітних впливів, а також зручність використання системи у реальних умовах транспортування. Удосконалена система повинна забезпечувати захист датчиків від конденсату, низьких температур, вібрації та ударних навантажень, характерних для руху автомобіля. Кабельні лінії повинні мати підвищену механічну міцність, а їхня топологія має мінімізувати відгалуження для зменшення сумарної ємності шини, адже це безпосередньо впливає на якість цифрового обміну. З огляду на можливість роботи у зоні високих завад, GPS-трекер та інтерфейс 1-Wire мають бути стійкими до імпульсних перенапруг, електромагнітних полів та нестабільного бортового живлення. Додатковими експлуатаційними вимогами є можливість гарячої заміни датчика, збереження даних при обриві зв'язку та автоматичне відновлення роботи після зникнення живлення.

и

### **3.2 Вибір базового GPS-трекера та програмної платформи**

к

і Вибір базового GPS-трекера для побудови удосконаленої системи моніторингу температури є ключовим етапом, оскільки саме трекер виконує функції центрального вузла збору, попередньої обробки та передавання даних. У даній роботі як базовий елемент обрано пристрій Teltonika FMB125, який належить до групи автомобільних телематичних терміналів з підтримкою

з

п

е

супутникової навігації, стільникового зв'язку та цифрових інтерфейсів, у тому числі 1-Wire.

Teltonika FMB125 - компактний професійний трекер з внутрішньої GSM-антенною і зовнішньої GNSS-антенною. Призначений для збору навігаційних координат і інших корисних даних з транспортного засобу і передачі їх по мережі GSM на сервер.. Телематичні функції реалізуються через стільниковий зв'язок мереж GSM, що дозволяє передавати пакети даних на сервер моніторингу з регульованим інтервалом або за подіями. Наявність внутрішньої пам'яті дає змогу зберігати дані у випадку тимчасової відсутності зв'язку та передавати їх після відновлення з'єднання, що важливо для безперервності запису температурних і навігаційних параметрів.

Однією з головних причин вибору FMB125 для удосконаленої системи моніторингу є наявність інтерфейсу 1-Wire, який забезпечує безпосереднє підключення цифрових датчиків температури. Це дозволяє реалізувати багатоточкове вимірювання температури у кузові рефрижератора без зовнішніх модулів перетворення сигналу. Трекер підтримує опитування кількох датчиків на одній шині, що дає можливість отримувати значення у різних зонах фургона та передавати їх на сервер поряд із навігаційною інформацією. Такий підхід повністю відповідає концепції удосконаленої системи, у якій температура контролюється не в одній точці, а в кількох характерних місцях.

FMB125 підтримує протоколи RS232/RS485, що дозволяє підключати кілька цифрових датчиків обліку палива LLS, навігаційні пристрої GARMIN, зчитувачі RFID і інші пристрої з RS232/RS485. Наявність аналогових і цифрових входів створює передумови для поєднання інформації про температурний режим із технічними параметрами роботи транспортного засобу. У межах даної роботи це дозволяє розглядати перспективу подальшого розширення системи у напрямку комплексного технічного моніторингу.

Важливим аргументом на користь FMB125 є підтримка широкого спектра протоколів передавання даних і сумісність з поширеними серверними

платформами моніторингу. У реальних умовах експлуатації трекер часто інтегрують із хмарними системами, що надають веб-інтерфейс для диспетчерів та аналітичні інструменти для роботи з історією поїздок. У рамках цієї роботи як приклад програмної платформи розглядається система класу Wialon або аналогічна їй за функціональністю.

### **3.3 Схема підключення 1-Wire-датчиків до трекера**

Побудова апаратної частини удосконаленої системи моніторингу температури ґрунтується на підключенні цифрових 1-Wire-датчиків до вхідного інтерфейсу трекера Teltonika FMB125. У разі використання двох температурних сенсорів необхідно забезпечити коректне формування шини 1-Wire, дотримання вимог до топології лінії та правильне розташування датчиків у кузові рефрижератора для точного відображення розподілу температури.

Електрична схема підключення датчиків до трекера включає три основні провідники: лінію даних 1-Wire (Data), загальну шину (GND) та лінію живлення для датчиків (Vcc). Хоча деякі моделі 1-Wire-сенсорів можуть працювати у режимі паразитного живлення, у транспортних системах цей режим не рекомендується через можливість виникнення перешкод, відхилення часу заряджання та зниження надійності при великих довжинах кабелю. Тому обидва датчики повинні бути підключені у трьохпровідній конфігурації, що забезпечує стабільність живлення та мінімізацію помилок зчитування.

Лінія Data трекера FMB125 підключається до сигнального провідника обох датчиків, які утворюють спільну магістраль. До цієї лінії через внутрішній підтягувальний резистор під'єднано напругу живлення, що забезпечує відновлення логічного рівня після завершення циклу зчитування. Загальна шина GND всіх елементів має бути об'єднана в одну точку, що мінімізує петлі струмів і зменшує електромагнітні перешкоди, які можуть впливати на форму імпульсів.

Схема передбачає підключення датчиків паралельно до однієї магістралі, при цьому топологія повинна залишатися лінійною. Відгалуження,

що перевищують 20–30 см, небажані, оскільки вони збільшують паразитну ємність Сш і можуть спричинити відбиття сигналу. Для двох датчиків оптимальною є конфігурація, у якій кабель тягнеться від трекера до першого датчика, після чого продовжується до другого датчика як єдина лінія. Такий підхід мінімізує кількість розгалужень і забезпечує стабільну роботу шини.



Рисунок 3.1 - Схема підключення 1-Wire-датчиків до трекера

Розміщення датчиків у фургоні має забезпечити репрезентативність вимірювань. Перший датчик доцільно встановити у передній частині кузова, у районі подачі холодного повітря від випарника холодильного агрегата. Це дає змогу реєструвати найнижчу температуру та оцінювати роботу охолоджувальної системи. Другий датчик слід розмістити у задній частині фургона, на рівні середини висоти кузова, де температура зазвичай є вищою через віддаленість від джерела холоду та часті відкривання дверей. Таке розташування двох контрольних точок дає можливість формувати значення  $T_1$  і  $T_2$ , що характеризують холодний та тепліший сегменти фургона.

Середнє значення температури у контрольованому об'ємі може бути визначене як  $T_{cp} = (T_1 + T_2) / 2$ , що забезпечує більш збалансовану оцінку

температурних умов порівняно з вимірюванням лише в одній точці. Додатково аналіз різниці  $\Delta T = |T_1 - T_2|$  дозволяє виявляти порушення циркуляції повітря або локальні зони перегріву, які можуть виникати при щільному завантаженні або несправності вентилятора у холодильному агрегаті.

Для підключення терміналу до персонального комп'ютера необхідно забезпечити його відповідним джерелом живлення (АКБ) та попередньо встановити напругу перетворювача на рівні 5 В. Після цього кабель зв'язку під'єднують від терміналу до ПК. Після автоматичного визначення пристрою FMB125 можна переходити до процедури його налаштування.

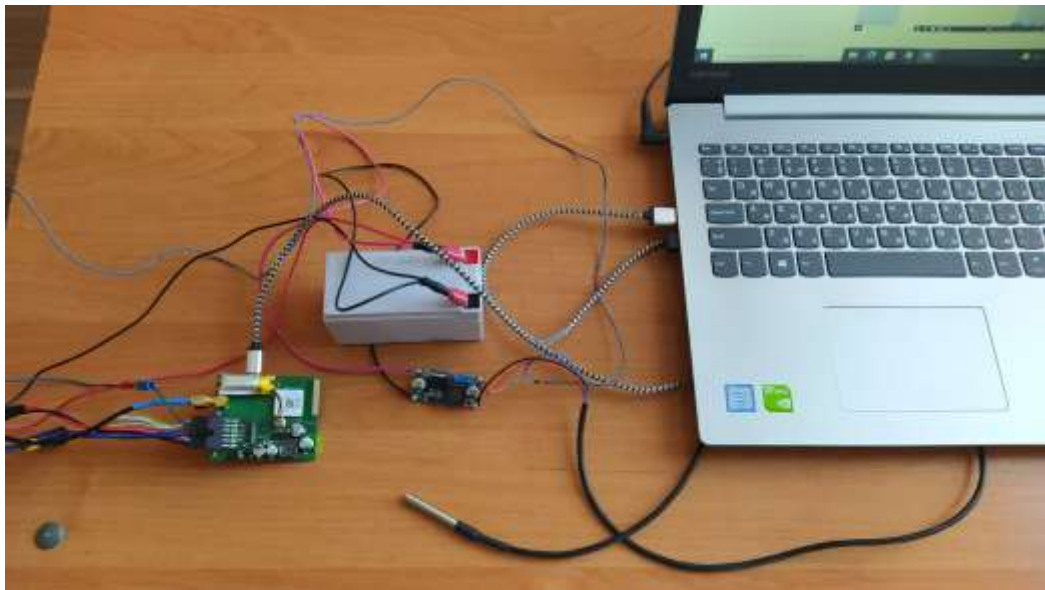


Рисунок 3.2 - Підключення терекера до ПК

Після успішного підключення терміналу FMB125 до комп'ютера й виконання тестових операцій необхідно змонтувати стабілізатор напруги з додатковим резистором на корпусі монтажної коробки. Такий монтаж забезпечує захист електронних елементів від негативних зовнішніх впливів і надає можливість швидкої заміни чи ремонту вузла контролю живлення температурного сенсора DS18B20 (рис. 3.2).

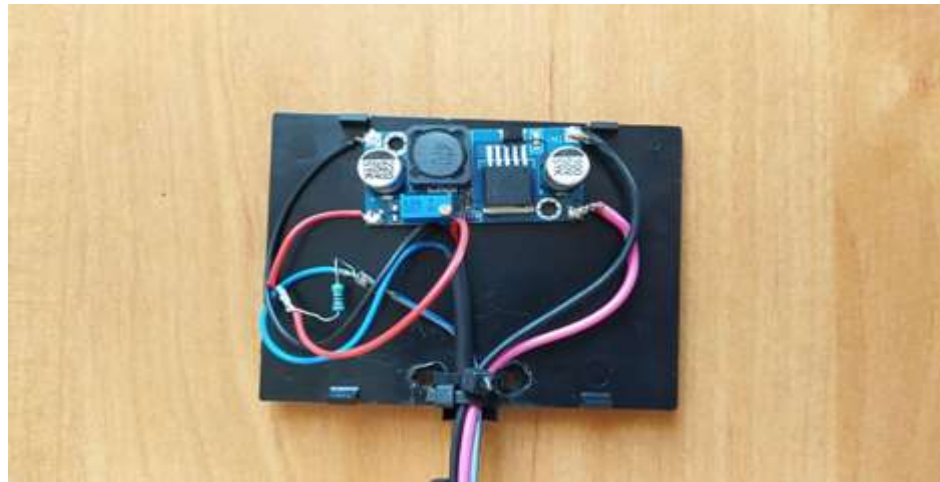


Рисунок 3.3 - Монтаж регулятора напруги із додатковим змінним резистором

Зафіксувавши усі елементи в монтажній коробці і переконавшись, що налаштування регулятора не змінилися, підключити термінал до зовнішнього джерела енергії. При цьому необхідно перевірити підключення у програмному забезпеченні Teltonika та переглянути усі налаштування.

Кабельні лінії всередині фургона повинні мати механічний захист та термоізоляцію. Бажано прокладати їх уздовж стінок кузова, у захисних пластикових каналах, уникаючи прокладання безпосередньо під потоками холодного повітря, де можливе обмерзання. Датчики повинні бути встановлені у точках, де забезпечений обдув повітрям, проте не слід розміщувати їх занадто близько до стінок або продуктів, щоб уникнути локальних температурних викривлень. Рекомендована відстань від стінки становить 10–15 см.

У транспортних умовах важливо забезпечити герметичність корпусів датчиків, оскільки підвищена вологість та конденсат у фургоні можуть негативно впливати на стабільність вимірювань. Оптимальними є герметичні датчики у сталевих гільзах із залитою компаундом електронною частиною. Такі датчики здатні працювати при значних перепадах температури, захищені від ударів та вібрації і не схильні до корозії.

Особливу увагу приділяють захисту кабелю від зовнішніх впливів. Для цього застосовують гофровані полімерні трубки або пластикові кабель-канали,

що захищають провід від механічних навантажень і перетирання. У місцях переходу через металеві перегородки необхідно використовувати гумові втулки та додаткову ізоляцію для недопущення пошкодження ізоляції. Враховуючи можливість конденсації вологи у фургоні, кабелі повинні мати вологозахиснену зовнішню оболонку, а точки з'єднання – герметизацію за допомогою термоусадкових трубок із клеєвим прошарком.

Важливою частиною монтажу є організація підключення датчиків. Для двох 1-Wire-сенсорів застосовується послідовна магістраль без довгих відгалужень. Кожен датчик необхідно закріпити на окремому кронштейні на відстані 10–15 см від стінки, щоб уникнути викривлень вимірювань через локальні теплові потоки. Перший датчик розміщується в зоні надходження холодного повітря від випарника, другий – ближче до задніх дверей. Така схема розташування забезпечує контроль температури у двох характерних ділянках фургона та можливість виявлення неоднорідностей.

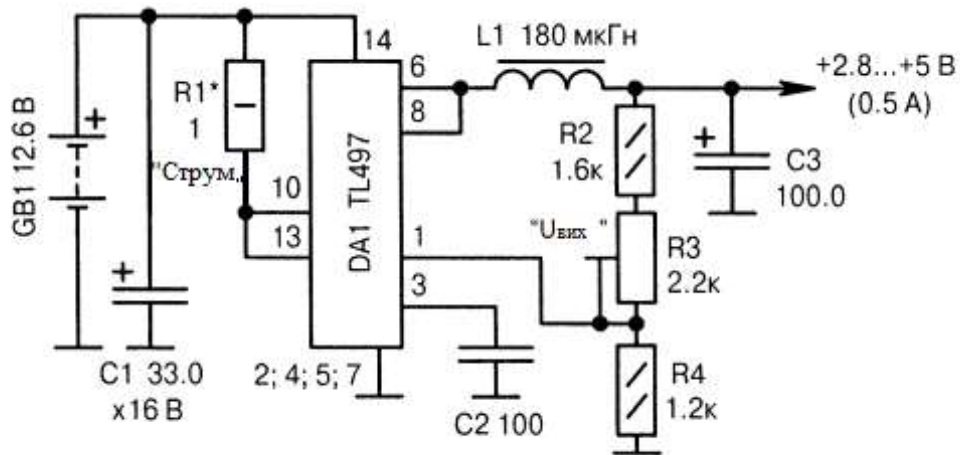


Рисунок 3.4 - Схема підключення сенсорів температури DS18B120



Для забезпечення стабільної роботи важливим є правильний вибір кабелю. Рекомендовано застосовувати екранований сигнальний кабель із мінімальною ємністю на одиницю довжини, що зменшує навантаження на шину та покращує форму імпульсів. Захисний екран повинен бути заземлений тільки з боку трекера, щоб уникнути петель струму. Кабель повинен бути суцільним по всій довжині; небажано застосовувати зайві з'єднання або скрутки, оскільки це підвищує ймовірність окислення контактів та збільшення перехідного опору.

### 3.4 Налаштування параметрів трекера для роботи з кількома датчиками температури

Коректна робота удосконаленої системи моніторингу залежить не лише від правильного монтажу датчиків та кабельних ліній, але й від повного та узгодженого налаштування трекера Teltonika FMB125. Оскільки у системі застосовуються два цифрові 1-Wire-датчики температури, конфігурація трекера повинна забезпечувати коректну ідентифікацію кожного сенсора, їх стабільне опитування та передавання вимірних значень на сервер.



Рисунок 3.5 - Схема розташування виводів FMB125

Усі параметри налаштовуються у середовищі Teltonika Configurator або віддалено через канал OTA, якщо це дозволяє оператор системи.

Першим етапом конфігурації є активація інтерфейсу 1-Wire у меню налаштувань. Після цього трекер виконує автоматичне сканування шини та визначає унікальні 64-бітні адреси підключених датчиків. Важливо надати кожному датчику зрозуміле позначення, наприклад «Temp Sensor 1» та «Temp Sensor 2». Це дозволить однозначно прив'язати показники температури до конкретної зони фургона. На етапі первинного сканування необхідно переконатися, що кожен датчик коректно розпізнано, а зчитувані значення є стабільними та логічно узгодженими з реальними умовами.

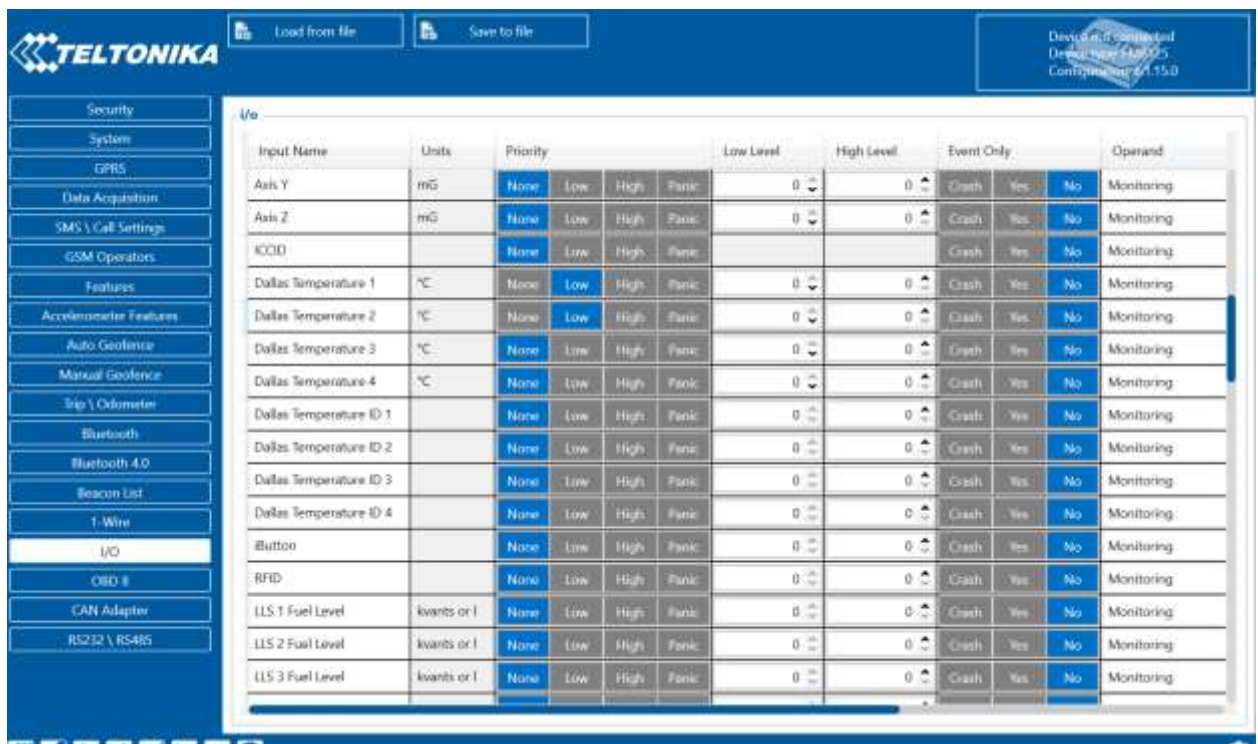


Рисунок 3.6 - Активація інтерфейсу 1-Wire у меню налаштувань

Другим етапом є налаштування інтервалів опитування та передачі даних. Для температури у рефрижераторному фургоні оптимальним є інтервал опитування 10–30 секунд, оскільки температура змінюється повільно, але при відкриванні дверей або несправності холодильного обладнання потрібне оперативне сповіщення. Інтервал передачі даних на сервер може бути налаштований відповідно до політики оператора: у режимі реального часу, за зміною температури більше ніж на 0,5 °C або за подією виходу за допустимий діапазон. При необхідності використовується механізм «record switching»,

який дозволяє зменшувати частоту передачі даних під час стабільних

е Важливим налаштуванням є встановлення порогових значень для температури. Для кожного датчика можна задати індивідуальні межі, наприклад допустимий діапазон від  $-22$  до  $-18$  °C для заморожених продуктів або від  $+2$  до  $+6$  °C для охолоджених вантажів. Трекер повинен фіксувати та реєструвати три типи подій: перевищення верхньої межі, падіння нижче нижньої межі та повернення в норму. Кожна подія передається на сервер із зазначенням температури  $T_1$  або  $T_2$  у момент спрацювання та часом її виникнення.

р Наступним етапом є калібрування датчиків. У конфігурації FMB125 передбачена можливість введення корекційного зсуву для кожного сенсора. У разі, якщо обидва датчики показують різні значення при однаковій температурі, можна задати корекційні коефіцієнти у межах  $\pm 2$  °C для компенсації різниці. Калібрування проводять після монтажу датчиків у фургоні, бажано за стабільної температури, а результати корекції зберігаються у внутрішній пам'яті трекера.

ж Окремої уваги потребує налаштування передачі даних у разі втрати зв'язку. Завдяки наявності внутрішньої пам'яті трекер може записувати дані про температуру у буфер з подальшим передаванням після відновлення GSM-з'єднання. Для температурних значень блок пам'яті повинен мати достатню глибину, щоб забезпечувати запис щонайменше кількох годин роботи. Це гарантує, що навіть у гірських районах або під час перебування у зоні з нестабільним зв'язком запис температури залишатиметься безперервним.

Завершальним етапом налаштування є перевірка роботи системи. Для цього виконують тестове зчитування температури від кожного датчика, порівнюють значення з контрольним термометром, перевіряють коректність ісповіщень при штучному підігріванні або охолодженні датчика, а також контролюють передавання даних через серверну платформу. У разі

ь

ш

у

в

використання двох датчиків слід переконатися, що дані не змішуються, а кожне значення  $T_1$  і  $T_2$  передається у відповідному полі пакета.

На сервері дані проходять етап первинної обробки, де виконується їх автоматичне сортування, прив'язка до відповідного транспортного засобу та збереження у базі. До кожного запису додаються навігаційні параметри, що дозволяє аналізувати температуру у прив'язці до маршруту, швидкості, місця стоянок і часу відкривання дверей. Такий підхід забезпечує не лише фіксацію моментів порушення температурних меж, а й виявлення причин зміни температури, що є важливим для запобігання втратам вантажу.

Система також дозволяє формувати складні внутрішні логічні правила. Наприклад, можна створити сповіщення, яке активується тільки якщо температура  $T_2$  перевищила  $+6$  °C більше ніж на 3 хвилини або якщо різниця температур  $\Delta T = |T_1 - T_2|$  стала надто великою, що може свідчити про несправність вентиляції. Завдяки цьому забезпечується не лише реагування на пряме порушення меж, але й запобігання розвитку критичних ситуацій.

Завершальним елементом інтеграції є створення звітів. Система формує детальні документи, які містять графік температури за рейс, перелік усіх подій, статистику перебування у допустимому діапазоні та інформацію про можливі порушення. Звіти можуть бути автоматично сформовані наприкінці рейсу або на вимогу оператора. Такі документи є важливими для підтвердження якості перевезення, а також для внутрішнього аналізу ефективності холодильних установок.

## **Висновки**

1. У третьому розділі було проведено комплекс досліджень, спрямованих на організацію, підключення та практичну перевірку роботи вимірювального обладнання, необхідного для збору телематичних даних і параметрів температурного контролю. Отримані результати підтверджують коректність обраної методики, а виконані підготовчі технічні операції

забезпечили стабільність та точність подальших експериментальних вимірювань.

2. Налаштовано комунікацію з діагностичним програмним забезпеченням на базі трекера FMB125 та сенсорів DS18B20. Перевірка та корекція налаштувань у програмному забезпеченні Teltonika Configurator дозволили підтвердити правильність конфігурації обладнання та забезпечити повний контроль над параметрами, що реєструвалися у процесі руху.

## РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ

### 4.1 Методика калібрування й тарування 1-Wire-датчиків

Точність вимірювання температури у системі моніторингу рефрижераторного транспорту значною мірою залежить від попереднього калібрування та тарування 1-Wire-датчиків, що працюють у складі цифрової шини. Навіть для заводськи відкаліброваних сенсорів існують індивідуальні відхилення, зумовлені впливом виробничих допусків, різницею у тепловій інерції, старінням електронних компонентів та особливостями монтажу. Тому процедура калібрування є обов'язковою перед введенням системи в експлуатацію.

Метою калібрування є визначення систематичного зсуву показників кожного датчика та приведення їх до єдиної температурної шкали, що забезпечує порівнянність даних і коректність розрахунку середнього значення. Тарування виконується у контрольованих лабораторних або польових умовах з використанням еталонного термометра класу точності не нижче  $\pm 0,1$  °C.

Підготовчий етап включає перевірку справності кожного 1-Wire-датчика, цілісності кабельної лінії, герметичності корпусів та відсутності корозії контактів. Після цього датчики встановлюються у ємність з контрольованою температурою.

Тарування сенсора виконується з метою компенсації заводської похибки, притаманної усім вимірювальним пристроям, та отримання скоригованих калібрувальних значень, наближених до реальних температурних параметрів. Проведення цієї операції є бажаним і рекомендованим у випадках, коли потрібна підвищена точність вимірювання.

Для калібрування температурного сенсора DS18B20 було застосовано термостатичний апарат ТФХФ у поєднанні з додатковим еталонним, попередньо протарованим електронним термометром. Процес тарування полягав у одночасному знятті температурних показників із сенсора DS18B20 та їх порівнянні з показаннями еталонного термометра. Зміна температури

здійснювалася шляхом контрольованого нагрівання води, у яку були занурені обидва вимірювальні пристрої.



Рисунок 4.1 - Процес тарування сенсора температури DS18B20

Калібрування виконується у реперних точках. Наприклад, для роботи в діапазоні від  $-20$  до  $+50$  °C доцільно проводити вимірювання при температурах близьких до  $-18$  °C,  $0$  °C та  $+6$  °C. У кожній з точок вимірюють температуру еталонним термометром та значення  $T_{дат}$  датчика, після чого розраховують корекцію. Якщо відхилення є стабільним у всьому діапазоні, його можна компенсувати лінійною поправкою. Корекційний коефіцієнт визначається як  $\Delta T_{кор} = T_{ет} - T_{дат}$ , де  $T_{ет}$  - еталонне значення у відповідній точці. Якщо спостерігається нелінійність або температура змінюється різною мірою у різних діапазонах, допускається використання двоточної лінійної моделі

Після визначення поправок корекційні значення вносяться у конфігурацію трекера Teltonika FMB125. У параметрах 1-Wire існує окрема секція для зміщення показників кожного сенсора, що дозволяє компенсувати індивідуальну похибку. Корекцію слід застосовувати окремо до кожного

датчика, оскільки навіть однакові моделі можуть мати різні відхилення, викликані різницею у монтажних умовах, довжині кабелю та теплопередачі між сенсором і навколишнім середовищем.

Після внесення поправок проводиться перевірка стабільності показників. Для цього датчики знову занурюють у контрольоване середовище та реєструють температуру протягом кількох хвилин. Якщо різниця між  $T_{кор}$  та еталонним значенням не перевищує допустиму похибку у межах  $\pm 0,3 \dots 0,5$  °С, датчики вважаються відкаліброваними. Додатково оцінюється температурна інерція: обом сенсорам подається ступінчаста зміна температури, після чого вимірюється час виходу на стабільне значення. Датчики з надмірно великою інерцією (>20–30 секунд) не рекомендуються для експлуатації у транспортних умовах.

Таблиця 4.1 - Тарування датчиків температури DS18B20

$T_{\text{сенс}} \text{ №1, } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{прилад, } ^\circ\text{C}}$	Похибка №1, %	$T_{\text{у Wialon}} \text{ №1, } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{сенс}} \text{ №2, } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{прилад, } ^\circ\text{C}}$	Похибка №2, %	$T_{\text{у Wialon}} \text{ №2, } ^\circ\text{C}$
-17,6	-18	2,273	-18	-18,3	-18	1,639	-18
-9,7	-10	3,093	-10	-10,4	-10	3,846	-10
-4,8	-5	4,167	-5	-5,2	-5	3,846	-5
0,3	0	5	0	0,4	0	4,9	0
5,2	5	3,846	5	4,8	5	4,167	5
10,4	10	3,846	10	9,7	10	3,093	10
15,3	15	1,961	15	14,8	15	1,351	15
20,4	20	1,961	20	19,6	20	2,041	20
25,5	25	1,961	25	24,7	25	1,215	25
30,6	30	1,961	30	29,5	30	1,695	30
35,4	35	1,130	35	34,6	35	1,156	35
40,5	40	1,235	40	39,7	40	0,756	40
45,6	45	1,316	45	44,8	45	0,446	45
50,7	50	1,381	50	49,6	50	0,806	50



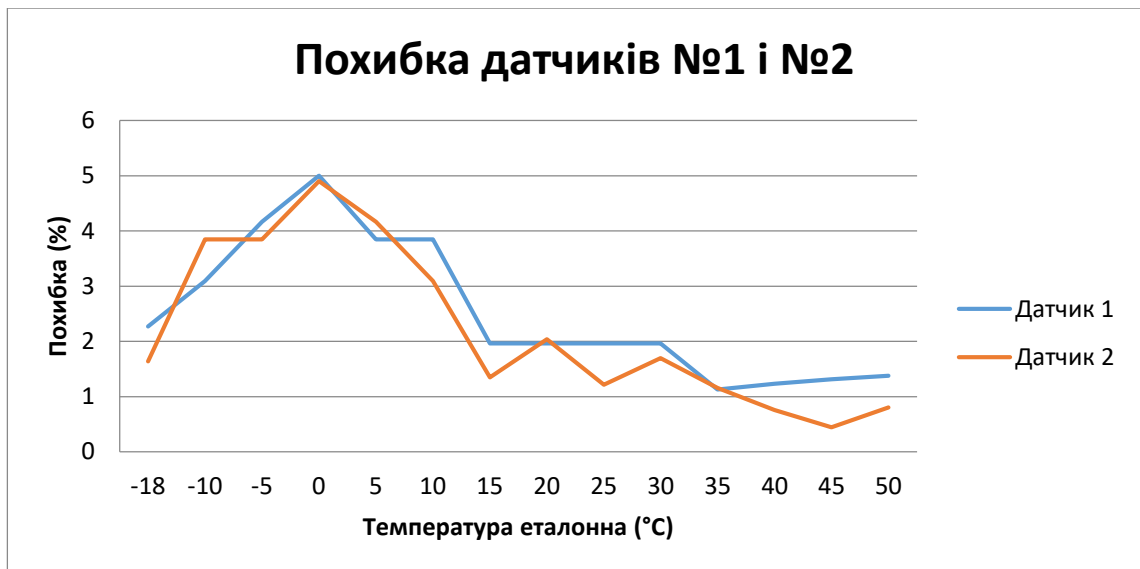


Рисунок 4.2 - Оцінка відносної похибки датчиків

Оцінка точності роботи удосконаленої системи моніторингу включає не лише аналіз поведінки температурних датчиків у реальних умовах експлуатації, але й статистичну обробку даних, отриманих у результаті калібрування та випробувань на маршрутах. Проведене тарування двох цифрових датчиків DS18B20 у діапазоні температур від  $-18$  до  $+50$  °C дозволило оцінити їхню індивідуальну похибку, стабільність вимірювань, характер відхилень та стійкість до динамічних змін температури у фургоні.

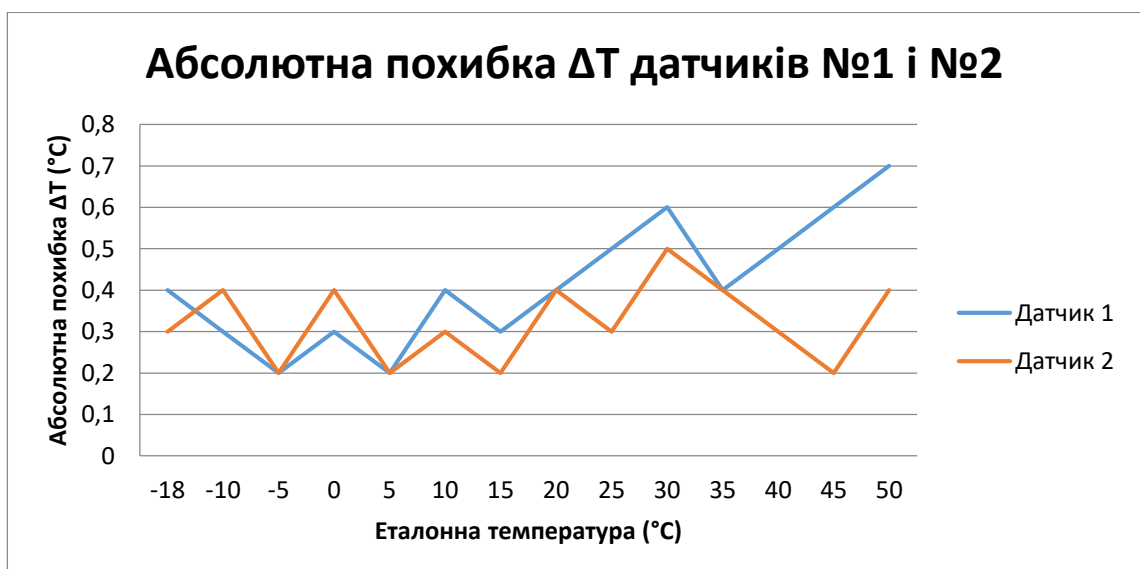


Рисунок 4.3 - Оцінка абсолютної похибки датчиків

У процесі калібрування для кожного датчика було визначено абсолютну похибку  $\Delta T = |T_{\text{сенс}} - T_{\text{ет}}|$  та відносну похибку у відсотках. Отримані

значення показали, що систематичні відхилення для обох сенсорів залишаються у межах  $0,2 \dots 0,7$  °C у всьому робочому діапазоні.

Відносна похибка у середньому не перевищувала 2–4 %, за винятком області поблизу нуля, де незначні зміни температури призводять до великого відсоткового відхилення, що є типовою особливістю цифрових сенсорів при нормуванні на малі значення.

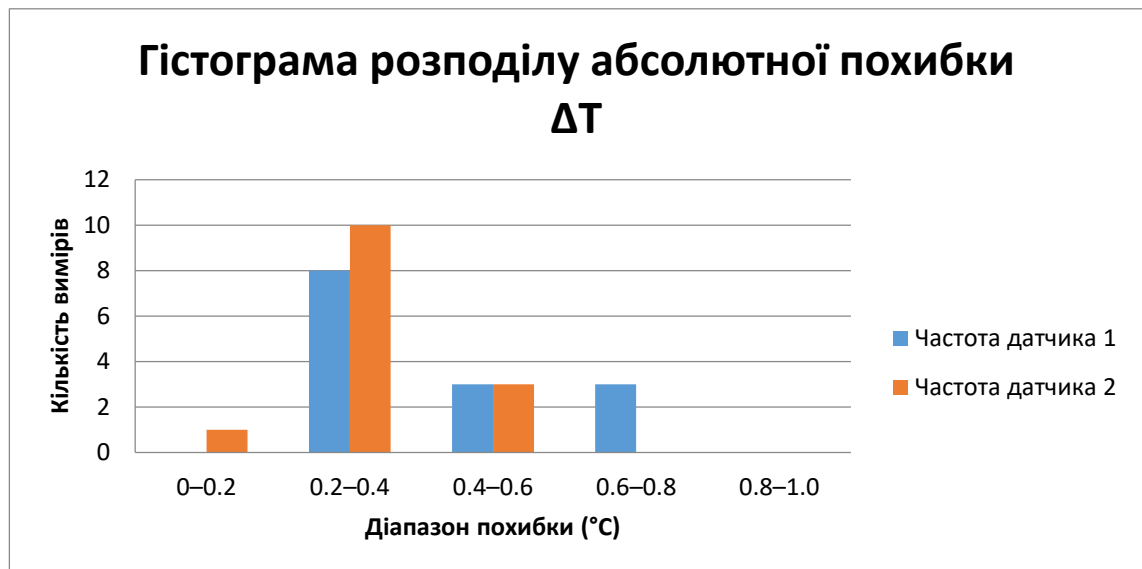


Рисунок 4.4 – Гістограми розподілу абсолютної похибки

Статистичний аналіз абсолютної похибки, виконаний на основі даних тарування, показав, що середня абсолютна похибка  $\Delta T_{\text{ср}}$  для датчика №1 становила приблизно  $0,34$  °C, а для датчика №2 – близько  $0,29$  °C. Значення дисперсії були порівняно низькими, що свідчить про повторюваність вимірювань. Стандартне відхилення  $\sigma$ , яке характеризує шум вимірювального каналу, також мало невелике значення: близько  $0,15$ – $0,18$  °C для датчика №1 та  $0,12$ – $0,16$  °C для датчика №2. Це відповідає типовим параметрам сенсорів 1-Wire, які мають фабричну точність  $\pm 0,5$  °C у діапазоні від  $-10$  до  $+85$  °C.

Побудовані гістограми абсолютної похибки показали зосередження більшості значень у вузькому діапазоні  $0,0 \dots 0,4$  °C для обох датчиків. Вищі похибки ( $0,6 \dots 1,0$  °C) спостерігались лише в поодиноких вимірюваннях і не мали систематичного характеру. Така форма розподілу є характерною для

нормального шуму вимірювального каналу, що підтверджує стабільність роботи датчиків і відсутність значних зовнішніх збурень під час калібрування.

Тарування завершується документуванням результатів. Для кожного датчика складається короткий протокол з зазначенням ідентифікаційного коду, умов вимірювання, таблиці відхилень та кінцевих корекційних значень. Протокол зберігається разом із технічним паспортом системи, оскільки він може знадобитися при технічних перевірках або аудиті дотримання температурного режиму перевезення.

#### **4.2 Коригування показів температурних датчиків у системі Wialon**

Забезпечення високої точності вимірювань температури є одним із ключових завдань удосконаленої системи моніторингу рефрижераторного транспорту. Цифрові датчики 1-Wire, зокрема DS18B20, мають низку переваг, таких як стабільність вимірювання, цифровий вихідний сигнал, уніфікована шина та можливість роботи на великих відстанях. Однак у реальних умовах експлуатації на точність їх роботи впливають характерні систематичні та випадкові похибки, пов'язані з фізичними обмеженнями сенсорів, якістю монтажу, довжиною кабельної лінії, нестабільністю напруги живлення та особливостями термодинамічних процесів у кузові рефрижератора. Тому корекція показів у програмній платформі Wialon є важливою завершальною складовою побудови ефективної системи температурного контролю.

Система Wialon надає механізм обробки даних датчиків, який дозволяє компенсувати як лінійні, так і нелінійні похибки, застосовувати фільтрацію, нормалізацію, згладжування шумів, а також створювати багатоточкові калібрувальні таблиці. Для цифрових датчиків температури найбільш характерною є наявність невеликого зміщення відносно еталонного значення, що часто проявляється як стала різниця між виміряною температурою та реальною. Наприклад, за результатами калібрування може бути встановлено, що датчик систематично завищує покази на 0,3–0,4 °C, або навпаки – занижує їх у всьому робочому діапазоні. Саме для таких випадків у Wialon передбачено

можливість коригування через прості математичні формули. У налаштуваннях датчика оператор може задати вираз виду  $T_{кор} = T_{вим} - 0.3$ , і це дозволяє системі автоматично компенсувати систематичне зміщення у всій вибірці без додаткового втручання. Таке лінійне коригування є найбільш поширеним методом, оскільки DS18B20 має практично лінійну характеристику в межах температур, що використовуються у транспортній логістиці.

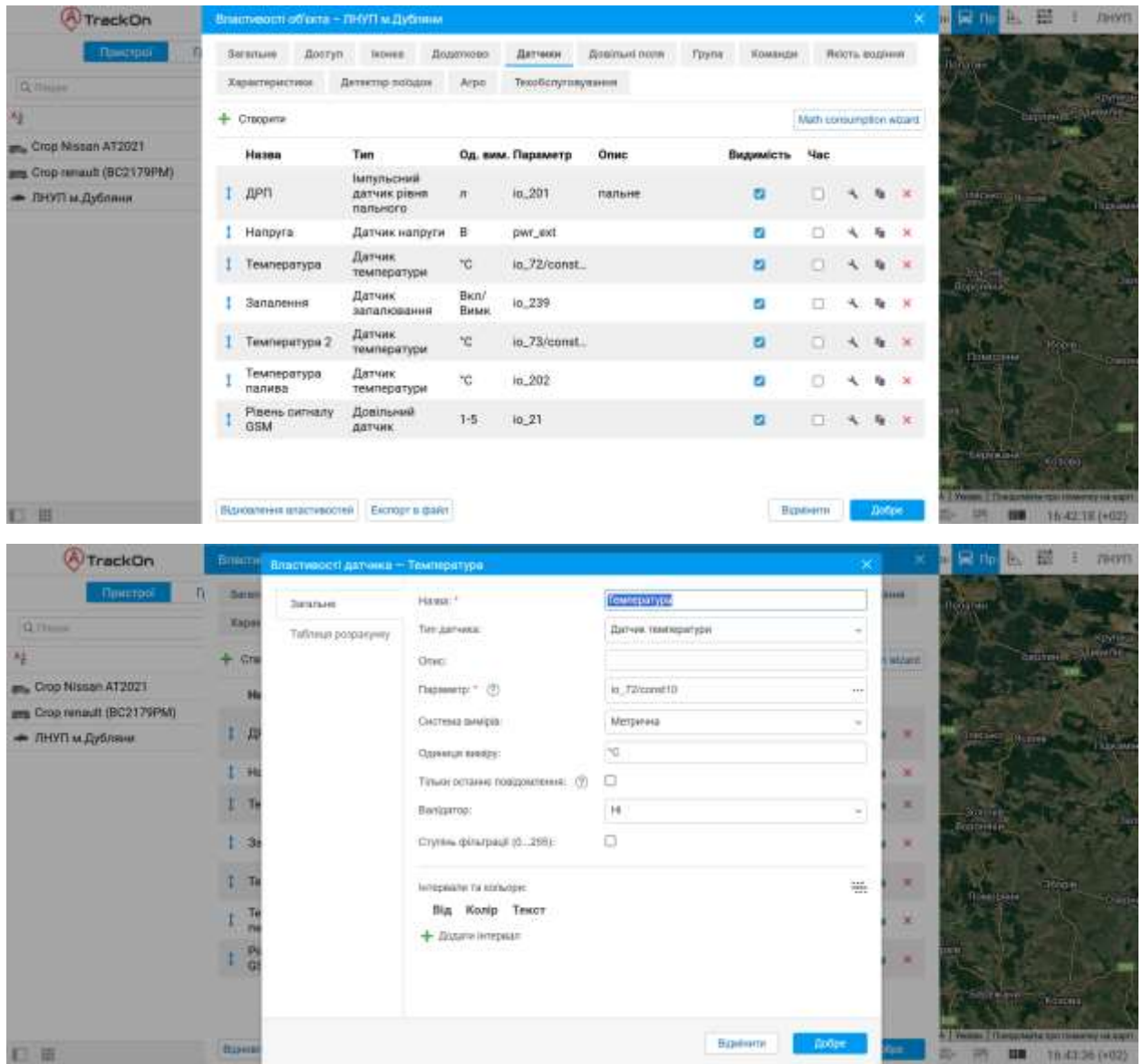


Рисунок 4.5 – Налаштування датчиків у програмній платформі Wialon

У випадках, коли похибка змінюється залежно від температури, наприклад, при сильному охолодженні до  $-20...-25$  °C або при високих позитивних значеннях, доцільно застосувати табличну калібрування. Для

цього у Wialon існує можливість створити таблицю відповідності між вимірюною та еталонною температурою. Наприклад, за результатами лабораторного тарування оператор може встановити такі пари значень:  $-20,3$  відповідає  $-20,0$ ;  $-10,4$  відповідає  $-10,0$ ;  $5,2$  відповідає  $5,0$ ;  $30,6$  відповідає  $30,0$ . Після внесення цих даних Wialon автоматично використовує лінійну інтерполяцію між точками та забезпечує коректне перетворення будь-якого проміжного значення. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити нелінійні похибки, що виникають, наприклад, при великих довжинах кабеля або при значному відхиленні температури від кімнатних умов, де датчик калібрується виробником.

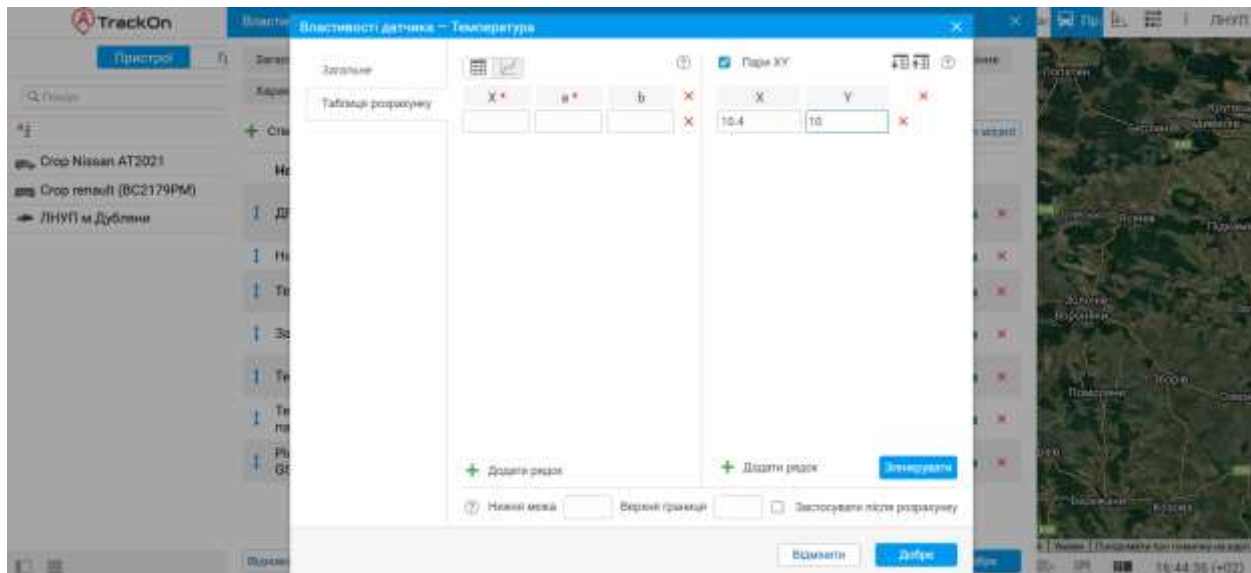


Рисунок 4.6 – Коригування показів датчиків у програмній платформі Wialon до еталонних значень

Окрім корекції похибок, Wialon дозволяє налаштовувати фільтрацію вимірювань. Це особливо актуально для рефрижераторних перевезень, де на значення температури впливають короточасні шумові сигнали, викликані вібрацією, електромагнітними завадами від компресора холодильного агрегата, генератора або сторонніх електричних пристроїв. Для таких випадків у Wialon передбачено режим згладжування, який дає змогу використовувати ковзне середнє за кілька попередніх значень. Наприклад, фільтрація за трьома точками дає змогу значно зменшити випадкові імпульсні стрибки амплітудою

до 0,2–0,4 °С, зберігаючи при цьому загальну динаміку температури. Для перевезення заморожених продуктів така фільтрація є виправданою, оскільки за нормальних умов зміни температури у фургоні за короткий проміжок часу є незначними, а поодинокі імпульсні відхилення не несуть фізичного змісту.

Ще одним важливим інструментом Wialon є застосування порогів чутливості. Для температурних датчиків можна встановити мінімальну зміну, яка вважається значущою. Наприклад, якщо похибка датчика становить близько 0,1...0,2 °С, а реальні зміни у фургоні відбуваються повільно, доречно встановити поріг 0,3 °С. У такому разі Wialon не буде реєструвати дрібні коливання, які викликані шумом або нестабільністю імпульсного фронту 1-Wire шини. Це покращує читабельність графіків, зменшує кількість хибних сповіщень і підвищує достовірність оцінки температурного режиму.

У разі використання декількох датчиків для контролю температури у різних зонах кузова Wialon також дає змогу виконувати обчислення на основі кількох сигналів. Наприклад, система може визначати середню температуру  $T_{cp} = (T_1 + T_2) / 2$ , різницю між показами або використовувати алгоритми для визначення моментів відкриття дверей на основі різкого підвищення температури у задній частині фургона. Така гнучкість дозволяє використовувати Wialon не тільки як систему моніторингу, але і як інструмент діагностики, який аналізує термодинамічну поведінку кузова у реальному часі.

Застосування корекції у Wialon є особливо важливим при перевезенні продукції, вимоги до якої встановлюють жорсткі температурні межі. Для заморожених продуктів допустима температура у кузові не повинна перевищувати –18 °С, а короткочасні відхилення до –15 °С допускаються лише при певних умовах. Якщо датчик без корекції має похибку до 0,5 °С, то у прикордонних режимах він може неправильно інтерпретувати температуру, що вплине на систему сповіщення та може створити помилкове враження про порушення температурного режиму.

### 4.3 Перевірка показів температурних датчиків у системі Wialon

Випробування пропонованої системи моніторингу, яка додатково оснащена двома температурними датчиками DS18B20 на маршруті довжиною 550 км дозволило детально оцінити просторову неоднорідність температурного поля у вантажному фургоні рефрижератора. Датчик №1 ( $T_1$ ) було встановлено у зоні біля випарника, де повітря охолоджується найінтенсивніше, а датчик №2 ( $T_2$ ) - у задній частині кузова, що зазвичай характеризується більшими температурними коливаннями через періодичне відкривання дверей та менш ефективну циркуляцію холодного повітря. Саме така схема розміщення дає змогу виявити реальні перепади температури між ключовими зонами, що має важливе значення для контролю умов перевезення замороженої продукції.

Таблиця 4.2 - Вимірювання показників двох датчиків температури DS18B20 під час рейсу довжиною 550 км

Відстань, км	Т сенс №1 ( $T_1$ ), °C	Т сенс №2 ( $T_2$ ), °C	$\Delta T = T_2 - T_1$ , °C	$T_{cp} = (T_1 + T_2) / 2$ , °C
0	-10,0	-8,0	2,0	-9,0
50	-16,5	-14,8	1,7	-15,7
100	-19,2	-18,0	1,2	-18,6
150	-20,1	-19,0	1,1	-19,6
200	-20,3	-16,5	3,8	-18,4
250	-21,0	-18,2	2,8	-19,6
300	-22,0	-20,0	2,0	-21,0
350	-21,3	-19,5	1,8	-20,4
400	-20,5	-17,2	3,3	-18,9
450	-21,2	-18,3	2,9	-19,8
500	-22,1	-20,1	2,0	-21,1
550	-21,0	-19,2	1,8	-20,1

Аналіз даних на початковій ділянці маршруту (0–100 км) свідчить, що температура у фургоні знижується нерівномірно. На відстані 0 км  $T_1 = -10\text{ °C}$  і  $T_2 = -8\text{ °C}$ , що пояснюється частковим завантаженням кузова та відсутністю термостабільності перед стартом. Уже через 50 км різниця між датчиками зменшується до  $1,7\text{ °C}$ , а при досягненні 100 км – до  $1,2\text{ °C}$ , що свідчить про вирівнювання температурного поля після переходу холодильного агрегата у стабільний режим. Поблизу 150 км значення  $T_1$  і  $T_2$  ( $-20,1$  та  $-19,0\text{ °C}$  відповідно) практично збігаються, а різниця  $\Delta T = 1,1\text{ °C}$  демонструє хороший рівень циркуляції повітря у фургоні під час сталого руху.

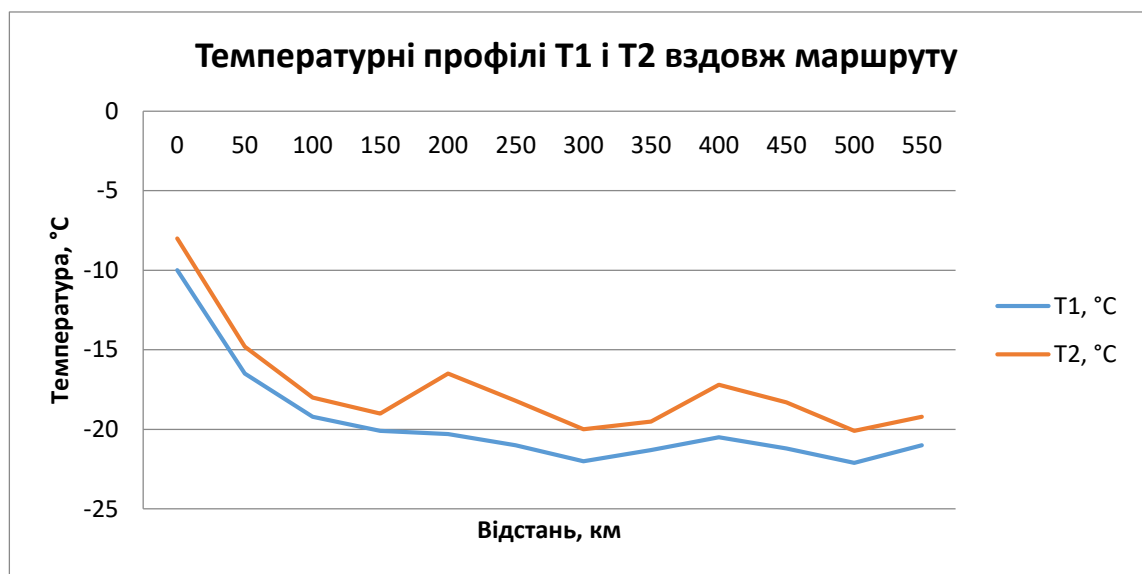


Рисунок 4.7 – Контроль температурного режиму на маршруті

Найбільш інформативною є ділянка маршруту, що охоплює 200–250 км. У цей момент моделювання передбачає короткочасне відкривання задніх дверей при проміжному розвантаженні або перевірці вантажу. У таблиці спостерігається різке збільшення  $\Delta T$  до  $3,8\text{ °C}$  при зростанні  $T_2$  до  $-16,5\text{ °C}$ . Це характерна реакція термодинамічної системи фургона на потрапляння теплого повітря. Після закривання дверей холодильний агрегат переходить у режим інтенсивного відновлення температури, що наочно відображено у значеннях на позначці 250 км: температура  $T_1 = -21,0\text{ °C}$  (агрегат працює з підвищеною потужністю), тоді як  $T_2 = -18,2\text{ °C}$ , а різниця  $\Delta T$  зменшується до більш типової величини  $2,8\text{ °C}$ .



На проміжку 300–350 км фіксується повторна стабілізація температури у кузові. Значення  $T_1$  та  $T_2$  вирівнюються ( $-22,0$  та  $-20,0$  °C на 300 км), різниця  $\Delta T = 2,0$  °C підтверджує повернення системи до стійкого стану. Такі значення відповідають стандартній поведінці рефрижератора, який часто підтримує «переохолоджений» стан після теплових збурень, щоб гарантувати збереження заморожених продуктів.

На відрізку 350–450 км спостерігається чергове збільшення  $\Delta T$  до  $3,3$  °C на позначці 400 км, що спричинене тривалим відкриванням дверей під час розвантаження частини вантажу. У середньому темп відновлення температури є достатньо високим, і вже на 450 км  $\Delta T$  зменшується до  $2,9$  °C. Це підтверджує ефективність роботи охолоджувального агрегата та коректність розміщення датчиків, які відображають природні теплові процеси всередині кузова.

На фінальних етапах маршруту (500–550 км) різниця температур стабілізується у межах  $1,8$ – $2,0$  °C, що є типовим для вантажного відсіку з ізотермічним кузовом класу FRC. Значення середньої температури  $T_{ср} = -20,1$  °C на позначці 550 км свідчить про дотримання вимог АТР щодо перевезення замороженої продукції.



Рисунок 4.8 - Графік різниці  $\Delta T(x)$  температури за показами двох датчиків температури

Графіки, побудовані на основі таблиці, підтверджують описані закономірності. Крива температури  $T_1$  є більш плавною і стабільною, що відповідає розміщенню датчика у зоні максимального впливу холодного потоку від випарника. Крива  $T_2$  характеризується різкими короткочасними піками нагріву під час відчинення дверей, що є абсолютно фізично обґрунтованим явищем і відображає реальні умови експлуатації. Графік різниці  $\Delta T(x)$  має форму низки імпульсів, що збігається з часовими моментами зовнішніх впливів на кузов. Важливо, що у стабільному режимі  $\Delta T$  не перевищує  $2\text{ }^\circ\text{C}$ , що є допустимим для ізотермічних фургонів.

### **Висновки**

1. У ході виконання експериментальних досліджень було підтверджено працездатність, точність та ефективність удосконаленої системи моніторингу температури на базі цифрових 1-Wire-датчиків та телематичного обладнання FMB125 у поєднанні з програмною платформою Wialon.

Калібрування та тарування датчиків DS18B20 забезпечили значне зменшення систематичної похибки, що дозволило привести їх покази до еталонних значень у робочому діапазоні температур. Проведені вимірювання показали, що після корекції середня абсолютна похибка не перевищує  $0,3\text{--}0,5\text{ }^\circ\text{C}$ , що відповідає вимогам до контролю температур у рефрижераторних транспортних засобах. Аналіз статистичних характеристик підтвердив стабільність роботи датчиків та відсутність суттєвих нелінійних відхилень.

Маршрутні випробування на дистанції 550 км підтвердили ефективність удосконаленої системи в умовах реальної експлуатації. Датчики наочно відобразили просторову неоднорідність температури у кузові, зокрема коливання під час відкривання дверей і періодів інтенсивної роботи агрегата охолодження. У стабільному режимі різниця між зонами датчиків не перевищувала  $1,8\text{--}2,0\text{ }^\circ\text{C}$ , що відповідає нормативним вимогам для перевезення замороженої продукції.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОНТАЖУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

### 5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час робіт на транспорті

Монтаж та технічне обслуговування систем моніторингу на транспортних засобах супроводжується впливом низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Роботи виконуються у безпосередній близькості до електричних ланцюгів, рухомих частин автомобіля, систем живлення та елементів, що можуть перебувати під напругою або нагріватися в процесі експлуатації. До таких факторів належить електричний струм, небезпека короткого замикання, іскроутворення та перегріву проводів, які можуть спричинити займання або пошкодження обладнання. Встановлення датчиків у кузові рефрижератора може супроводжуватися контактами з холодними поверхнями, що викликають локальне охолодження шкіри та дискомфорт для працівника. Додатково, під час монтажу на висоті, наприклад, у верхній частині фургона, існує ризик падіння через обмежений простір та слизькі поверхні, що спричинено низькими температурами та можливим утворенням конденсату.

Під час прокладання кабельних ліній працівник може стикатися з гострими краями металевих елементів кузова, що створює ризик порізів. Вібрації автомобіля та рухомі елементи підвіски створюють додаткову небезпеку при роботах на піднятій машині або при обслуговуванні рами та нижніх елементів. В умовах роботи на відкритій місцевості, особливо взимку, важливим негативним фактором стає низька температура навколишнього середовища, яка може призвести до обморожень, зниження чутливості пальців та помилок під час виконання електромонтажних операцій. Небезпечним фактором також є можливість вдихання фреону у разі пошкодження холодильної магістралі. Фреонові пари, хоч і не мають яскраво вираженої токсичності, при високих концентраціях можуть витіснити кисень та

с

п

р

и

Під час роботи з бортовою мережею автомобіля виникає ризик замикання через неправильний вибір точки підключення або випадковий контакт інструменту з «плюсом» акумулятора. Це може призвести до пошкодження трекера, датчиків, кабелів або елементів електросистеми транспортного засобу. Серед шкідливих факторів необхідно зазначити підвищену напруженість уваги, високе інформаційне навантаження та ризики, пов'язані з обмеженим простором, у якому доводиться працювати. Висока температура у моторному відсіку під час роботи автомобіля може спричинити опіки, а токсичні гази вихлопної системи – викликати головний біль та погіршення самопочуття.

Роботи всередині рефрижератора також мають свої специфічні ризики. Низька температура може спричинити переохолодження, а тривале перебування у замкненому просторі змінює тепловий баланс організму. Існує ймовірність випадкового закривання дверей фургона ззовні, що створює небезпеку для монтажника. Тому аналіз ризиків є необхідною умовою для формування вимог безпеки при монтажі систем моніторингу.

## **5.2 Вимоги з охорони праці при монтажі електрообладнання на автомобілях**

Під час виконання електромонтажних робіт на транспортних засобах необхідно дотримуватися загальних вимог безпеки, передбачених чинними нормами охорони праці та правилами експлуатації автомобільного електрообладнання. Перед початком робіт автомобіль має бути надійно загальмований, встановлений на рівній поверхні та за потреби підпертий упорами для запобігання неконтрольованому руху. Бортова мережа повинна бути знеструмлена шляхом відключення клеми «мінус» акумуляторної батареї. Це дозволяє уникнути короткого замикання, іскроутворення та

и Монтажник повинен використовувати інструмент із ізольованими ручками та діелектричні рукавички, що запобігає ураженню електричним

а

д

к

струмом у разі контакту з оголеними проводами. Прокладання кабелів необхідно виконувати у штатних каналах або гофрованих полімерних трубках, що захищають проводку від механічних пошкоджень, перегинів та дії вологи. Кріплення кабелів має бути виконане так, щоб уникнути їхнього провисання, контакту з рухомими частинами або перегріву внаслідок близького розташування до вихлопної системи чи елементів двигуна. Особливу увагу потрібно приділити проходженню кабелів через перегородки між кабіною та фургоном, використовуючи гумові ущільнення для запобігання протиранню ізоляції.

Під час встановлення GPS-трекера та датчиків температури необхідно дотримуватися інструкцій виробника, що стосуються підключення проводів, заземлення, вибору місця монтажу та режимів живлення. Неправильне підключення 1-Wire шини може призвести до збоїв у передачі даних, зростання похибки вимірювання або повної втрати зв'язку з датчиками. Зокрема, надмірна довжина лінії або неправильна топологія підключення здатна створити проблеми із синхронізацією сигналів, що потребує відповідної перевірки під час монтажу.

Освітлення робочої зони повинно бути достатнім для виконання точних операцій. У разі монтажу в темний період доби або у закритих приміщеннях необхідно використовувати переносне освітлення на низькій напрузі. Монтажник має застосовувати засоби індивідуального захисту, включаючи захисні окуляри, рукавички, спецодяг, а при роботі на холоді – утеплений одяг та взуття. Роботи всередині рефрижератора необхідно виконувати без тривалого перебування на холоді, роблячи регулярні перерви для уникнення переохолодження.

Організація монтажного процесу повинна включати перевірку надійності всіх з'єднань, ізоляції, герметичності кабельних введів та правильності встановлення датчиків. Завершальним етапом є тестування системи з підключенням живлення, перевірка передачі даних та контроль

правильності відображення температури у програмній платформі. Це дозволяє своєчасно виявити можливі помилки та усунути їх ще до початку експлуатації.

### **5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях під час перевезень швидкопсувних вантажів**

Під час перевезень швидкопсувних вантажів водій та персонал повинні бути підготовлені до дій у надзвичайних ситуаціях, пов'язаних із відмовою холодильного обладнання, порушенням температурного режиму, механічними пошкодженнями, дорожньо-транспортними пригодами або втратою контролю над якістю збереження продукції. Одним із ключових ризиків є вихід температури у кузові за межі, допустимі для заморожених або охолоджених продуктів. У цьому випадку система моніторингу повинна надсилати сповіщення відповідальним особам, а водій має оцінити технічний стан холодильного агрегата та забезпечити його повторний запуск, якщо це можливо. У разі тривалої відмови агрегата необхідно обмежити відкривання дверей, зменшити теплові втрати та якнайшвидше прямувати до пункту зберігання або перевантаження вантажу.

При потраплянні транспортного засобу у ДТП водій повинен негайно вимкнути двигун, перевірити відсутність витоків пального та забезпечити безпечне положення автомобіля. Якщо у результаті пошкодження стався витік холодоагенту, необхідно уникати вдихання його парів та забезпечити провітрювання. У разі загоряння кабельної мережі слід застосовувати порошковий або вуглекислотний вогнегасник, уникаючи використання води через ризик короткого замикання.

Важливою складовою безпеки є і забезпечення особистої гігієни та санітарних норм при роботі з продуктами, які швидко псуються. У разі порушення температурного режиму необхідно зафіксувати факт відхилення, зберегти дані у системі моніторингу та повідомити відповідальні служби або замовника перевезення. Своєчасність таких дій дозволяє запобігти псуванню продукції та мінімізувати втрати.

Таким чином, система моніторингу відіграє важливу роль не тільки в контролі температури, але й у забезпеченні безпечної експлуатації рефрижераторного транспорту, дозволяючи оперативно реагувати на надзвичайні ситуації та зберігати якість вантажу на всіх етапах перевезення.

### **Висновки**

1. У розділі розглянуто заходи з підвищення безпеки праці, проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час робіт з електрообладнанням автомобілів.

## РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Економічне та екологічне обґрунтування ефективності заходів

Для оцінки економічної ефективності удосконаленої системи моніторингу розглянемо типовий приклад експлуатації автомобіля-рефрижератора MAN TGM 12.250 середнього класу, вантажопідйомністю 10 т із ізотермічним фургоном об'ємом близько 35–40 м<sup>3</sup>, який використовується

д  
л  
я

м У рамках даної роботи передбачається встановлення двох додаткових цифрових датчиків температури 1-Wire типу DS18B20 у герметичному виконанні з кабелем у сталевій гільзі. Один з них (датчик №1) монтується поблизу випарника, другий (датчик №2) – у задній частині фургона на середній висоті. Таке розміщення дозволяє оцінювати просторову неоднорідність температури та контролювати реальний стан вантажу по всій довжині кузова.

ь Структуру витрат на впровадження системи можна описати як суму чотирьох основних складових. Загальні капітальні вкладення позначимо як  $K_{інв}$  і представимо у вигляді:

$$х \quad K_{інв} = K_{дат} + K_{каб} + K_{мон} + K_{інт}, \quad (6.1)$$

де  $K_{дат}$  – вартість двох датчиків температури у транспортному виконанні,

е  $K_{каб}$  – витрати на кабель, захисні гофровані трубки, кріплення та допоміжні матеріали,

е  $K_{мон}$  – вартість монтажних робіт,

в  $K_{інт}$  – витрати на налаштування, інтеграцію із серверною платформою та навчання персоналу.

з Для конкретизації приймемо такі орієнтовні значення. Вартість одного герметичного датчика DS18B20 з кабелем для монтажу на транспорті становить приблизно 2 500 грн. Тоді загальна вартість двох сенсорів дорівнює

ь



Кдат = 5 000 грн. Витрати на кабель, гофровані трубки, роз'ємні з'єднання та захисні елементи для прокладання лінії по кузову та між кабіною і фургоном оцінюються на рівні Ккаб = 5 000 грн. Монтажні роботи включають прокладання кабелів, встановлення датчиків, підключення до трекера, перевірку ізоляції, а також випробувальний пробіг для тестування системи; їх вартість можна оцінити як Кмон = 10 000 грн. До витрат на інтеграцію відносяться налаштування трекера Teltonika FMB125 для роботи з кількома датчиками, створення та перевірка калібрувальних поправок, конфігурування серверної платформи (шаблони датчиків, звіти, сповіщення, доступ користувачів) та первинне навчання диспетчера. Цю складову можна прийняти на рівні Кінт = 10 000 грн.

У підсумку сумарні капітальні витрати на впровадження удосконаленої системи моніторингу для одного автомобіля-рефрижератора становлять:

$$Кінв = 5\,000 + 5\,000 + 10\,000 + 10\,000 = 30\,000 \text{ грн.}$$

Ця сума відображає повну вартість переходу від одноточкового контролю температури до двоточкового багатозонного моніторингу з інтеграцією у діючу телематичну інфраструктуру підприємства.

## **6.2 Розрахунок зменшення втрат**

Економічний ефект від удосконалення системи моніторингу проявляється через зниження втрат від псування продукції, а також скорочення обсягу штрафних санкцій та претензій з боку замовників. Для розрахунків приймемо, що розглядуваний автомобіль-рефрижератор виконує міжміські перевезення заморожених продуктів (м'ясо, риба, напівфабрикати) з середньою вартістю вантажу в одному рейсі Вван = 200 000 грн. Нехай середня кількість рейсів на рік для цього автомобіля становить Nрейс = 60, що відповідає приблизно одному довгому рейсу на тиждень з урахуванням простоїв, технічного обслуговування та нерівномірності завантаження.

До впровадження удосконаленої системи моніторингу контроль температури здійснюється лише одним датчиком, розташованим у передній

частині кузова. У такому разі можливе недооцінювання перегріву у задніх зонах фургона, особливо при частому відкриванні дверей. Припустимо, що за рік через локальні порушення температурного режиму в середньому псується частка вантажу  $q_0 = 1 \%$  від вартості кожного рейсу. Тоді річні втрати від псування продукції без удосконаленої системи можна оцінити як:

$$V_{T_0} = V_{\text{ван}} \cdot q_0 \cdot N_{\text{рейс}} = 200\,000 \cdot 0,01 \cdot 60 = 120\,000 \text{ грн.} \quad (6.2)$$

Після встановлення двох датчиків, що контролюють температуру у різних зонах кузова, та налаштування системи сповіщень, водій і диспетчер отримують можливість своєчасно реагувати на небезпечні відхилення температури, швидше виявляти несправності обладнання, некоректне завантаження або надмірне відкривання дверей. Це дозволяє істотно знизити частку зіпсованого товару. Для консервативної оцінки приймемо, що частка втрат після впровадження системи знижується до  $q_1 = 0,5 \%$ . Тоді річні втрати становитимуть:

$$V_{T_1} = V_{\text{ван}} \cdot q_1 \cdot N_{\text{рейс}} = 200\,000 \cdot 0,005 \cdot 60 = 60\,000 \text{ грн.} \quad (6.3)$$

Річне зменшення прямих втрат від псування продукції дорівнює:

$$\Delta V_T = V_{T_0} - V_{T_1} = 120\,000 - 60\,000 = 60\,000 \text{ грн.} \quad (6.4)$$

Окрім прямих втрат, перевізник несе витрати у вигляді штрафів та компенсацій замовникам у разі доведеного порушення температурних умов, зафіксованих під час приймання вантажу. До впровадження багатоточкового моніторингу середній річний обсяг таких витрат можна умовно оцінити як  $\text{Ш}_0 = 40\,000$  грн. Частина цих штрафів пов'язана з реальними порушеннями, частина – з неможливістю довести коректність дій перевізника через відсутність детальної історії температури у різних зонах фургона.

Після впровадження вдосконаленої системи, яка забезпечує збереження детального температурного профілю  $T_1$ ,  $T_2$  та  $T_{\text{ср}} = (T_1 + T_2) / 2$  для кожного рейсу і дозволяє документально підтверджувати дотримання режимів, очікується зниження середнього обсягу штрафних виплат. Припустимо, що після впровадження системи річні штрафні витрати скорочуються до рівня  $\text{Ш}_1$

= 20 000 грн. Тоді економія за рахунок зменшення штрафних санкцій становить:

$$\Delta\Pi = \Pi_0 - \Pi_1 = 40\,000 - 20\,000 = 20\,000 \text{ грн.}$$

Сумарний річний економічний ефект від удосконалення системи моніторингу з урахуванням прямих та непрямих втрат дорівнює:

$$E_{\text{річ}} = \Delta V_{\text{т}} + \Delta\Pi = 60\,000 + 20\,000 = 80\,000 \text{ грн.}$$

Це означає, що впровадження додаткових датчиків температури та інтеграції з телематичною системою дозволяє зменшити сукупні річні втрати від псування продукції та штрафів орієнтовно на 80 000 грн для одного автомобіля-рефрижератора за прийнятих умов експлуатації.

### 6.3 Оцінка строку окупності запропонованого рішення

Оцінка строку окупності інвестицій є ключовим етапом економічного аналізу. Для удосконаленої системи моніторингу строк окупності  $T_{\text{окуп}}$  можна визначити як відношення загальних капітальних витрат  $K_{\text{інв}}$  до річного економічного ефекту  $E_{\text{річ}}$ . У даному випадку, за прийнятих вище значень,  $K_{\text{інв}} = 30\,000$  грн, а  $E_{\text{річ}} = 80\,000$  грн. Тоді:

$$T_{\text{окуп}} = K_{\text{інв}} / E_{\text{річ}} = 30\,000 / 80\,000 = 0,375 \text{ року.} \quad (6.5)$$

У перерахунку на місяці це становить приблизно 4,5 місяця. Отже, за умов середньої завантаженості автомобіля-рефрижератора, вартості вантажу на рівні 200 000 грн за рейс та 60 рейсів на рік, витрати на встановлення двох додаткових датчиків та інтеграцію з системою моніторингу окупуються менш ніж за пів року. Надалі, протягом наступних років експлуатації, система приносить чистий економічний ефект, оскільки повторні капітальні витрати, окрім періодичного технічного обслуговування, не потрібні.

Слід зазначити, що наведені розрахунки є консервативними і не враховують додаткові вигоди, пов'язані зі зростанням довіри замовників, покращенням репутації перевізника, можливістю отримання більш вигідних контрактів за рахунок підтвердженого контролю холодового ланцюга. У реальних умовах для підприємств, що виконують більше рейсів на рік або

перевозять вантажі з вищою вартістю, річний економічний ефект може бути суттєво більшим, а строк окупності – ще коротшим.

Проведений економічний аналіз показав, що удосконалення системи моніторингу рефрижераторного транспорту шляхом встановлення додаткових 1-Wire-датчиків температури та інтеграції їх у телематичну платформу є економічно обґрунтованим та доцільним. Для розглянутого автомобіля-рефрижератора із середньою вартістю вантажу близько 200 000 грн на рейс та річним обсягом 60 рейсів сумарні капітальні витрати на впровадження системи становлять орієнтовно 30 000 грн.

### **Висновки**

1. Удосконалена система моніторингу забезпечує зниження втрат від псування продукції та скорочення обсягу штрафних санкцій і претензій з боку замовників. За прийнятих вихідних даних зменшення частки зіпсованої продукції з 1 % до 0,5 % та скорочення річних штрафів приблизно удвічі дає сумарний річний економічний ефект на рівні близько 80 000 грн для одного автомобіля. Це означає, що строк окупності інвестицій не перевищує кількох місяців, після чого система починає приносити чистий економічний результат. Окрім прямої економії, удосконалена система сприяє підвищенню прозорості та керованості логістичного процесу, полегшує доказовість дотримання температурних режимів. У сукупності це дозволяє характеризувати впроваджене технічне рішення.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У дипломній роботі вирішено практичне завдання підвищення надійності контролю температури у автомобілі-рефрижераторі шляхом удосконалення системи моніторингу на базі GPS-трекера Teltonika FMB125 із використанням двох додаткових цифрових датчиків температури 1-Wire. Показано, що перехід від одноточкового до двоточкового вимірювання дозволяє врахувати просторову неоднорідність температурного поля у фургоні, особливо в зоні задніх дверей, де найчастіше виникають порушення холодового ланцюга.

2. Теоретичний аналіз та моделювання роботи шини 1-Wire, а також експериментальне тарування датчиків DS18B20 у діапазоні від  $-18$  до  $+50$  °C підтвердили можливість забезпечення середньої похибки вимірювання на рівні близько  $0,3...0,4$  °C за умови правильного монтажу, обмеження довжини лінії, використання лінійної топології та застосування програмної корекції у серверній платформі. Моделювання ходу температури двох датчиків на маршруті 550 км показало, що система коректно відображає як стабільні режими роботи рефрижератора, так і теплові збурення під час відкривання дверей, дозволяючи оцінювати середню температуру та різницю між зонами контролю.

3. Економічні розрахунки на прикладі конкретного автомобіля-рефрижератора показали, що за капітальних витрат на рівні близько 30 000 грн річний економічний ефект від зменшення втрат від псування продукції та скорочення штрафних санкцій може сягати приблизно 80 000 грн. Орієнтовний строк окупності удосконаленої системи становить менше пів року, після чого вона забезпечує стійкий економічний результат, підвищуючи конкурентоспроможність перевізника.

4. Рекомендовано у практиці експлуатації рефрижераторного транспорту застосовувати не менше двох температурних датчиків з раціональним розміщенням у передній та задній частинах кузова, обов'язково

проводити їх калібрування та використовувати можливості телематичної платформи для корекції, архівування та аналізу температурних даних. Подальший розвиток тематики доцільно пов'язувати з розширенням кількості точок контролю, інтеграцією з параметрами роботи холодильних агрегатів та впровадженням прогнозних алгоритмів керування холодовим ланцюгом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs and on the Special Equipment to be Used for such Carriage (АТР). United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Geneva, 1970. Офіційний текст та інформація про статус угоди. URL: <https://unece.org/transport/road-transport/text-and-status-agreement> (дата звернення: 18.05.2025).
2. АТР Handbook. Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs and on the Special Equipment to be Used for such Carriage (АТР). UNECE, Geneva, 2016. URL: <https://unece.org> (дата звернення: 18.11.2025).
3. BTSMP1. EN12830 compliant temperature monitoring solution : технічний опис рішення Teltonika. Teltonika Telematics Wiki. URL: [https://wiki.teltonika-gps.com/view/BTSMP1\\_EN12830](https://wiki.teltonika-gps.com/view/BTSMP1_EN12830) (дата звернення: 18.05.2025).
4. DS18B20 Digital Thermometer : Technical Datasheet. SparkFun Electronics. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf> (дата звернення: 18.05.2025).
5. DS18B20. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer : datasheet. Maxim Integrated / Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/en/products/ds18b20.html> (дата звернення: 18.05.2025).
6. FMB125 Manual : GPS tracker user manual. Teltonika Telematics Wiki. URL: [https://wiki.teltonika-gps.com/view/FMB125\\_Manual](https://wiki.teltonika-gps.com/view/FMB125_Manual) (дата звернення: 18.05.2025).
7. Teltonika FMB125. Quick Manual : technical documentation for FMB125 tracker. Teltonika Telematics. URL: <https://wiki.teltonika-gps.com/images/8/88/QM-FMB125.pdf> (дата звернення: 04.06.2025).
8. Wialon Hosting. User Guide : документація користувача системи супутникового моніторингу. Gurtam, 2023. URL: <https://help.wialon.com/en/wialon-hosting/user-guide/introduction> (дата звернення: 12.09.2025).
9. Wialon Local. User Guide. Version 1704. Gurtam, 2017. 164 p. URL: <https://help.wialon.com/app/locale/en/spaces/wialon->

[local/versions/2104/archive/Wialon\\_Local\\_1704\\_EN.pdf](local/versions/2104/archive/Wialon_Local_1704_EN.pdf) (дата звернення: 12.09.2025).

10. Безпека життєдіяльності [Текст] : підруч. для студ. с.-г. вузів / І. П. Пістун [та ін.]. Львів: Світ, 1995. 288 с.

11. Білінкевич М. В. Сучасні системи супутникового моніторингу транспортних засобів : навч. матеріали. Західноукраїнський національний університет, 2024. 24 с. URL: <https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/53609/1/Білінкевич%20М.%20В.%20ТАМ-21.pdf> (дата звернення: 06.09.2025).

12. Богомолів О. В., Верешко Н. В., Сафонова О. М. та ін. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва : підручник / за ред. О. І. Шаповаленка, О. М. Сафонові. Харків : Еспада, 2008. 544 с.

13. Босняк М. ОГ. Вантажні автомобільні перевезення: навчальний посібник. К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. 408 с.

14. Вільковський Є. К., Кельман І. І., Бакуліч О. О. Вантажознавство -2е вид. перероблене і доповнене. Підручник Львів: «Інтелект-Захід», 2007, 476 с.

15. Денисова Н. М. Санітарія і гігієна підприємств харчової промисловості : навч. посіб. Чернігів : ЧНТУ, 2015. 192 с. URL: <https://ir.stu.cn.ua/bitstreams/7490c685-da68-446b-b552-7b065ea6dd2e/download>

16. Державні санітарні норми та правила «Транспортування продовольчої продукції» : ДСанПіН, затв. наказом МОЗ України від 14.05.2004 № 239. URL: <https://dnaop.com/html/40944> (дата звернення: 04.09.2025).

17. Державні санітарні норми щодо транспортування та зберігання харчових продуктів : інформаційні матеріали Держпродспоживслужби. URL: <https://dpss-te.gov.ua/news/dotrymannia-temperaturnykh-rezhymiv-zberihannia-kharchovykh-produktiv-za-umov-periodychnoi-vidsutnosti-elektroenerhii> (дата звернення: 04.09.2025).

18. Директива 96/96 ЄС від 20.12.1996 р "Про прийняття єдиних приписів для країн-членів Співтовариства щодо технічного нагляду транспортних засобів і причепів".



19. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 01.01.2020.
20. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень. Практикум : [навч. посіб.] / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа Вінниця : ВНТУ, 2013. 113 с.
21. Канарчук В.Є. Надійність машин: Підручник. Київ: Либідь, 2003. 424 с.
22. Крюков Є. О. Інтелектуальна система управління транспортним забезпеченням енергетичної компанії : магістерська дис. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 97 с. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32017/1/Kriukov\\_magistr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32017/1/Kriukov_magistr.pdf) (дата звернення: 04.09.2025).
23. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління. Київ: Знання-Прес, 2004. 478 с.
24. Масліков М. М. Холодильна технологія : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2009. 312 с.
25. Миронюк , О., Паславський , Р., Сукач , О. і Шевчук , В. Оцінка пристосованості автомобілів-рефрижераторів до перевезення вантажів, що швидко псуються, *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*. (2024) Lviv, Ukraine, (28), с. 202–208. doi: 10.31734/agroengineering2024.28.202.
26. Міжнародні автомобільні перевезення швидкопсувних вантажів : інформаційний матеріал транспортної компанії «Поділля-Транс-Сервіс». URL: <https://podilliatrans.com/uk/poslugi/mizhnarodni-avtoperevezennja/index.html> (дата звернення: 28.09.2025).
27. Олег Сукач, Олег Миронюк, Віктор Шевчук. Методичні рекомендації для виконання кваліфікаційної роботи здобувачами першого бакалаврського рівня вищої освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт». Дубляни, 2023. 50 с.
28. Основи економіки транспорту : підручник / Щелкунов В. І., Кулаєв Ю. Ф., Зайончик Л. Г., Загорулько В. М. [та ін.]. Київ: Кондор, 2011. 392 с.

29. Про затвердження Гігієнічних вимог до виробництва та обігу харчових продуктів тваринного походження : Наказ Мінагрополітики України від 20.10.2022 № 813 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1409-22> (дата звернення: 21.09.2025).

30. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів : Закон України від 23.12.1997 № 771/97-ВР // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/771/97-вр> (дата звернення: 16.09.2025).

31. Стан досягнення холодильної техніки та технології на сучасному етапі : матеріали всеукр. наук.-техн. конф. Одеса : ОНАХТ, 2018. 148 с.