

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет робототехніки та штучного інтелекту

(повне найменування факультету)

Кафедра електроніки, фізики та СМАРТ-систем

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТИСКУ В ШИНАХ

ELECTRONIC TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM

спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Автомобільна електроніка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЛ(АЕ) – 41
Багрій Артур Сергійович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Мороз Сергій Анатолійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Приступа Станіслав Олексійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність: 171 Електроніка

Освітня програма: «Автомобільна електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. В. ЗАБЛОЦЬКИЙ

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Багрію Артуру Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Електронна система контролю тиску в шини

Керівник роботи к.т.н., доцент Мороз Сергій Анатолійович

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 року №560/01-02

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи 04.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи інтегрований TPMS-сенсор MPXY8021A, живлення датчика від напруги 3.0 В, тип передачі сигналу – бездротова радіочастотна передача даних, ємнісний перетворювач тиску

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

Розділ 1 Аналітичний огляд інформаційних джерел

Розділ 2 Схемне та функціональне проектування електронної системи контролю тиску в шинах

Розділ 3 Програмування та налаштування системи контролю тиску в шинах

Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації Power Point.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналітичний огляд інформаційних джерел</i>	<i>Мороз С. А., доцент</i>		
<i>Схемне та функціональне проектування електронної системи контролю тиску в шинах</i>	<i>Мороз С. А., доцент</i>		
<i>Програмування та налаштування системи контролю тиску в шинах</i>	<i>Мороз С. А., доцент</i>		
<i>Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Заблоцький В. Ю., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Селепина Й. Р., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Пристапа С. О., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	<i>%</i>		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Мороз С. А., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання

31 грудня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розділ 1 Аналітичний огляд інформаційних джерел</i>	до 12.02.2026 р.	
2.	<i>Розділ 2 Схемне та функціональне проектування електронної системи контролю тиску в шинах</i>	до 15.03.2026 р.	
3.	<i>Розділ 3 Програмування та налаштування системи контролю тиску в шинах</i>	до 17.04.2026 р.	
4.	<i>Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>	до 19.05.2026 р.	
5.	<i>Висновки</i>	до 23.05.2026 р.	
6.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 27.05.2026 р.	
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 01.06.2026 р.	
8.	<i>Нормоконтроль</i>	до 02.06.2026 р.	
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 03.06.2026 р.	
10.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	до 04.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Багрій А. С.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Мороз С. А.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Багрій А. С. Електронна система контролю тиску в шинах. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра освітньої програми «Автомобільна електроніка». Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел.

У першому розділі проведено аналіз інформаційних джерел, що стосуються систем контролю тиску в шинах, розглянуто особливості функціонування. Наведено порівняльний аналіз сучасних рішень TPMS.

У другому розділі проаналізовано структурну, функціональну та принципову електричну схеми електронної системи контролю тиску в шинах. Описано принцип роботи основних вузлів, зокрема датчика тиску, мікроконтролера, радіоканалу передачі даних та приймального модуля. Розглянуто алгоритм роботи системи, часові діаграми та режими функціонування..

У третьому розділі розглянуто програмування та налаштування TPMS–датчиків. Описано структуру переданих даних, ідентифікацію датчиків, способи програмування універсальних сенсорів, процедури реєстрації та навчання датчиків у блоці керування автомобіля. Розглянуто перевірку працездатності системи після налаштування.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці під час розроблення, монтажу, налагодження та експлуатації електронної системи контролю тиску в шинах. Визначено небезпечні та шкідливі фактори, що можуть виникати під час роботи з електронними компонентами, паяльним обладнанням та діагностичними пристроями. Запропоновано заходи безпеки під час виникнення небезпечних та шкідливих факторів.

У висновках узагальнено результати проведених досліджень.

Ключові слова: контроль тиску в шинах, TPMS, датчик тиску, мікроконтролер, радіоканал, бездротова передача даних.

ANNOTATION

Bahrii A. Tire Pressure Monitoring System. Manuscript.

Bachelor's qualification work of the educational program «Automotive Electronics». Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions and a list of references.

The first section analyzes information sources related to tire pressure monitoring systems, considers the features of operation. A comparative analysis of modern TPMS solutions is presented.

The second section analyzes the structural, functional and principle electrical circuit of the electronic tire pressure monitoring system. The principle of operation of the main components, in particular the pressure sensor, microcontroller, radio data transmission channel and receiving module, is described. The system operation algorithm, timing diagrams and operating modes are considered.

The third section considers programming and setting up TPMS sensors. The structure of the transmitted data, sensor identification, methods of programming universal sensors, procedures for registering and teaching sensors in the vehicle control unit are described. The system's operability is checked after setting up.

The fourth section considers the issue of labor protection during the development, installation, adjustment and operation of the electronic tire pressure monitoring system. Dangerous and harmful factors that may arise when working with electronic components, soldering equipment and diagnostic devices are identified. Safety measures are proposed in the event of dangerous and harmful factors.

The conclusions summarize the results of the research.

Keywords: Tire Pressure Monitoring System, TPMS, Pressure Sensor, Microcontroller, Wireless Communication.

ВСТУП

Для сучасного автомобіля електронні системи контролю технічного стану відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки руху та підвищенні ефективності експлуатації. Одним із ключових параметрів, що впливають на безпеку, є тиск у шинах, оскільки він впливає на керованість, збільшення гальмівного шляху та підвищеного зносу шин. Системи контролю тиску в шинах (TPMS) призначені для постійного моніторингу стану шин та своєчасного інформування водія про відхилення параметрів.

TPMS є важливим фактором безпеки, тому аналіз та розробка ефективних та енергоощадних електронних систем TPMS є актуальним завданням.

Мета роботи – дослідження електронної системи контролю тиску в шинах транспортного засобу.

Завдання роботи:

1. Провести аналітичний огляд інформаційних джерел щодо систем контролю тиску в шинах.
2. Проаналізувати принципи роботи та основні елементи системи TPMS.
3. Дослідити структурну, функціональну та принципову електричну схеми системи.
4. Проаналізувати функціонування та особливості реалізації TPMS.

Об'єкт дослідження – електронні системи контролю тиску в шинах транспортних засобів.

Предмет дослідження – принципи побудови, функціонування та реалізації електронної системи TPMS.

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було використано інструменти штучного інтелекту для редагування та форматування тексту, виключно як допоміжний засіб для пошуку ідей, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі, а отримані результати від генеративного ШІ були перевірені на достовірність та відповідність академічній доброчесності.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	8
1.1 Призначення та функції систем контролю тиску в шинах.....	9
1.2 Датчики тиску та температури	16
1.3 Аналіз існуючих реалізацій TPMS.....	21
РОЗДІЛ 2 СХЕМНЕ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТИСКУ В ШИНАХ	28
2.1 Загальна структура та принцип побудови системи	28
2.2 Функціональна схема системи	30
2.3 Принципова електрична схема TPMS-датчика	33
2.4 Алгоритм роботи системи.....	45
2.5 Часові діаграми та режими роботи.....	48
2.6 Особливості реалізації та підключення елементів.....	50
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМУВАННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТИСКУ В ШИНАХ.....	54
3.1 Загальні принципи програмування TPMS-датчиків.....	55
3.2 Ідентифікація TPMS-датчиків та структура переданих даних.....	58
3.3 Способи програмування універсальних TPMS-датчиків.....	60
3.4 Реєстрація та навчання датчиків у блоці керування автомобіля.....	63
3.5 Перевірка працездатності системи після налаштування.....	67
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів.....	71
4.2 Заходи безпеки під час монтажу та налагодження системи.....	72
4.3 Вимоги до робочого місця та організації роботи.....	73
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

У сучасних автомобілях усе більша увага приділяється системам, що підвищують безпеку руху, знижують експлуатаційні витрати та забезпечують своєчасне інформування водія про відхилення в роботі окремих вузлів. Однією з таких систем є електронна система контролю тиску в шинах – TPMS (Tire Pressure Monitoring System). Її призначення полягає у виявленні зниження тиску в шинах та передачі водієві попереджувальної інформації, необхідної для запобігання небезпечним режимам руху. У технічних джерелах TPMS розглядається як допоміжна система водія, що здійснює моніторинг тиску в реальному часі та сприяє підвищенню безпеки, зменшенню витрати палива, подовженню строку служби шин і зниженню шкідливих викидів.

Актуальність застосування TPMS обумовлена тим, що неправильний тиск у шинах безпосередньо впливає на динаміку руху автомобіля, його стійкість, керованість, гальмівні властивості та ресурс шин. У матеріалах Volkswagen прямо зазначено, що тиск у шинах має вирішальний вплив на безпеку на дорозі, строк служби шин, витрату палива та викиди CO₂, а тому постійний контроль цього параметра доцільно покласти на сам автомобіль. У матеріалах NHTSA також підкреслюється, що TPMS пов'язується з підвищенням безпеки, паливної економічності та довговічності шин.

Розвиток систем контролю тиску в шинах зумовив появу різних підходів до їх технічної реалізації. На сьогодні застосовуються два основні типи TPMS: системи прямого вимірювання, у яких тиск контролюється датчиками, встановленими безпосередньо в колесах, і системи непрямого вимірювання, що оцінюють зміну тиску за допомогою аналізу сигналів від штатних датчиків швидкості коліс. Для прямих систем характерне використання бездротової передачі даних до електронного блока керування, а також можливість додатково передавати значення температури, ідентифікатор датчика та службову інформацію.

Ефективність TPMS значною мірою визначається характеристиками

сенсорних елементів, що застосовуються в системі. У загальному розумінні датчик є завершеним пристроєм на основі чутливого елемента, який може включати підсилення, лінеаризацію, калібрування, аналого-цифрове перетворення та інтерфейс обміну даними. Для систем контролю тиску в шинах особливий інтерес становлять датчики тиску та температури, оскільки саме вони забезпечують первинне отримання інформації про стан колеса і формують основу для подальшого аналізу в електронному блоці системи.

У зв'язку з цим у першому розділі дипломної роботи виконано аналітичний огляд інформаційних джерел, присвячених призначенню та функціям систем контролю тиску в шинах, нормативним вимогам до таких систем, принципам роботи та особливостям використання датчиків тиску і температури, а також існуючим технічним реалізаціям TPMS. Окрему увагу приділено порівнянню прямих і непрямих систем, аналізу їх переваг і недоліків, а також огляду сучасних рішень провідних виробників. Такий підхід дозволяє сформулювати теоретичну основу для подальшого розроблення та обґрунтування електронної системи контролю тиску в шинах.

1.1 Призначення та функції систем контролю тиску в шинах

Система контролю тиску в шинах TPMS (Tire Pressure Monitoring System) є важливою складовою сучасних електронних систем автомобіля, призначеною для контролю тиску в шинах та своєчасного інформування водія про його зниження до небезпечного рівня. Відповідно до положень UNECE Regulation No. 64, TPMS являє собою систему, встановлену на транспортному засобі, яка здатна оцінювати тиск у шинах або зміну цього тиску з часом та передавати відповідну інформацію водієві під час руху автомобіля [1]. Отже, основне призначення TPMS полягає у підвищенні безпеки дорожнього руху, зменшенні ризику аварійних ситуацій, спричинених недокачуванням шин, а також у забезпеченні більш економічної та раціональної експлуатації транспортного засобу.

Необхідність застосування TPMS пояснюється тим, що тиск у шинах

безпосередньо впливає на характеристики руху автомобіля. У технічних матеріалах виробників зазначається, що правильний тиск у шинах має вирішальний вплив на безпеку руху, строк служби шин, витрату палива та рівень викидів CO₂ [3]. При недостатньому тиску зростає деформація шини, збільшується опір коченню, погіршується контакт колеса з дорогою та підвищується теплове навантаження на шину. Саме тому у сучасних автомобілях контроль тиску дедалі частіше покладається не лише на водія, а й на електронні засоби моніторингу.

До основних функцій TPMS належать виявлення зниження тиску в одній або кількох шинах, попередження водія про раптову втрату тиску внаслідок проколу, визначення поступового зменшення тиску через дифузію повітря або негерметичність, а також контроль справності самої системи [1]. Таким чином, TPMS виконує одночасно вимірювальну, попереджувальну та діагностичну функції. Практичне значення таких функцій полягає в тому, що водій отримує інформацію про небезпечний стан шин ще до того, як це призведе до серйозного погіршення керованості або пошкодження шини.

Важливе місце у функціонуванні TPMS посідають нормативні вимоги, які визначають мінімально допустимі показники ефективності роботи системи. У Європі базовим документом у цій сфері є UNECE R64, який поширюється на транспортні засоби категорій M1 та N1 і встановлює вимоги до систем контролю тиску в шинах [1]. Згідно з цим регламентом, TPMS повинна працювати в діапазоні швидкостей від 40 км/год або нижче до максимальної конструктивної швидкості транспортного засобу. У разі раптової втрати тиску система повинна подати попереджувальний сигнал не пізніше ніж через 10 хвилин після зниження тиску в одній шині на 20 % або до рівня 150 кПа, залежно від того, яке значення є вищим. У випадку поступового зниження тиску сигнал має з'явитися не пізніше ніж через 60 хвилин сукупного часу руху після зменшення тиску на 20 %. Крім того, регламент передбачає обов'язкове виявлення несправностей системи та вимоги до попереджувальної індикації [1].

Особливу увагу в UNECE R64 приділено способу інформування водія. Попередження про зниження тиску або несправність системи має

здійснюватися за допомогою оптичного сигналу, який повинен бути добре видимим навіть удень і чітко сприйматися водієм із місця керування [1]. Якщо один і той самий індикатор використовується і для сигналізації про недокачування, і для повідомлення про несправність TPMS, то при несправності він має спочатку блимати, а потім світитися постійно [1]. Такі вимоги спрямовані на підвищення інформативності системи та зменшення ймовірності неправильного трактування попередження водієм.

Американський підхід до нормування TPMS відображений у FMVSS No. 138, де основний акцент зроблено на своєчасному виявленні значного зниження тиску в шинах. У матеріалах NHTSA до цього стандарту розглянуто варіанти, за якими попереджувальний сигнал має подаватися при зменшенні тиску в одній або кількох шинах на 20 % або 25 % нижче рекомендованого значення placard pressure, залежно від обраного варіанта вимог [2]. Таким чином, і європейські, і американські нормативні документи виходять з того, що TPMS повинна реагувати не на довільні коливання тиску, а саме на такі його відхилення, які вже впливають на безпечність та ефективність експлуатації транспортного засобу.

Значення TPMS пояснюється насамперед впливом тиску в шинах на безпеку руху. За даними аналітичних матеріалів NHTSA, недокачані шини можуть спричиняти збільшення гальмівного шляху, погіршення стійкості автомобіля, підвищення ризику аквапланування, перегріву шин, їх пошкодження або розриву [2]. Недостатній тиск змінює форму контактної плями шини з дорожнім покриттям, погіршує розподіл навантаження в її конструкції та негативно впливає на керованість транспортного засобу. У результаті зростає ймовірність втрати контролю над автомобілем під час гальмування, проходження поворотів або руху по мокрій дорозі. Саме тому TPMS слід розглядати як одну з систем активної безпеки автомобіля.

Окрім безпеки, рівень тиску в шинах істотно впливає на економічність експлуатації транспортного засобу. При зниженому тиску збільшується опір коченню, що призводить до зростання витрати палива. У матеріалах до FMVSS 138 вказано, що паливна економічність знижується приблизно на 1 %

на кожні 2,96 psi недокачування [2]. Водночас своєчасне відновлення тиску до рекомендованого значення дозволяє зменшити перевитрату палива та отримати відчутний економічний ефект протягом усього строку служби автомобіля [2]. Отже, TPMS має не лише технічне й безпекове, а й економічне значення.

Важливим є також вплив тиску на ресурс шин. Тривала експлуатація недокачаних шин спричиняє нерівномірне й прискорене зношування протектора, особливо в плечових зонах. У матеріалах NHTSA наведено розрахунки, які показують, що використання TPMS дозволяє збільшити пробіг шин і відтермінувати їх заміну [2]. Відповідно, правильний контроль тиску сприяє зменшенню витрат на технічне обслуговування автомобіля та підвищує довговічність шин.

За принципом роботи системи контролю тиску в шинах поділяються на прямі та непрямі. Пряма TPMS використовує датчики, установлені безпосередньо в колесах, які фізично вимірюють тиск у шині, а в багатьох випадках також температуру [4]. Отримані дані бездротовим способом передаються до електронного блока керування, де аналізуються та використовуються для формування попереджувального сигналу або відображення інформації на панелі приладів. Узагальнену структуру прямої системи контролю тиску в шинах наведено на рисунку 1.1. У технічних джерелах зазначається, що в таких системах для активації датчиків може застосовуватися LF-сигнал 125 кГц, а передача даних здійснюється переважно в діапазонах 315 або 433 МГц. Типове повідомлення датчика містить ідентифікатор сенсора, значення тиску, температуру, службові біти та контрольну суму [4].

Перевагою прямої TPMS є висока точність і інформативність. Така система контролює фактичний тиск у кожному колесі й може надавати водієві конкретні значення параметрів, а не лише загальний попереджувальний сигнал [2], [4]. Саме тому direct TPMS забезпечує більш раннє виявлення небезпечних відхилень, підвищує точність діагностики та краще відповідає сучасним вимогам до безпеки. Однак прямі системи мають і певні недоліки: вища вартість реалізації, потреба у встановленні окремих датчиків, наявність

елементів живлення у сенсорах, а також ризик їх пошкодження під час монтажу або демонтажу шин [2].

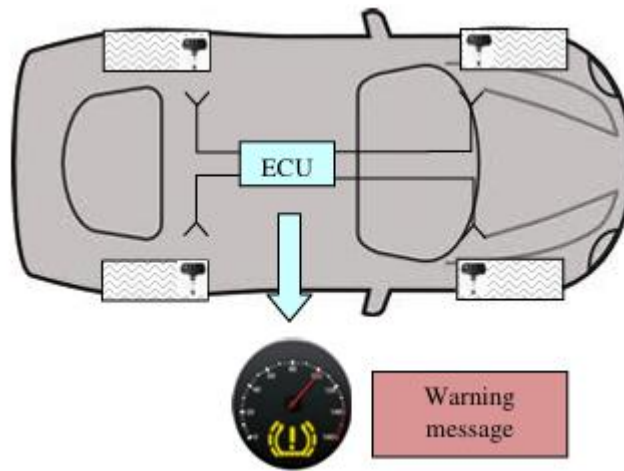


Рисунок 1.1 – Структурна схема прямої системи контролю тиску в шинах [4]

Функціональний принцип прямої TPMS, за якого виміряний датчиком тиск порівнюється з нормативним значенням і формується попереджувальний сигнал, наведено на рисунку 1.2.

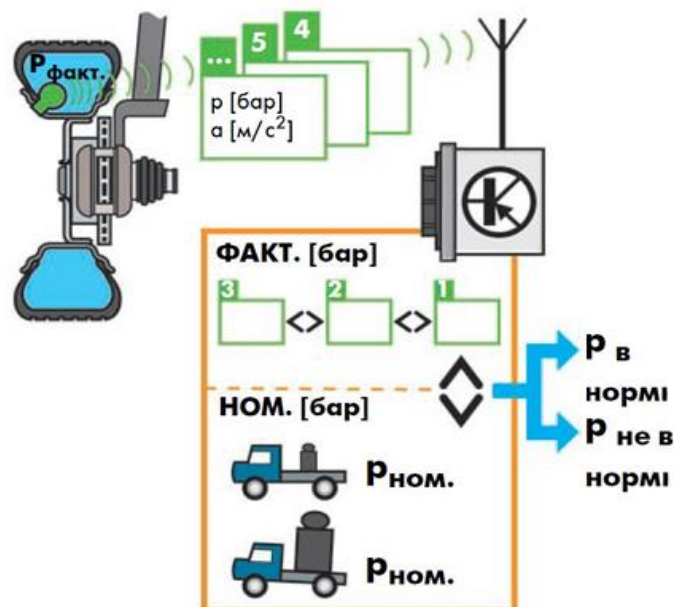


Рисунок 1.2 – Принцип роботи прямої системи контролю тиску в шинах [5]

Непряма TPMS не використовує окремих датчиків тиску, а визначає можливе зниження тиску за непрямыми параметрами, зокрема за зміною кутової

швидкості обертання коліс, використовуючи сигнали системи ABS [2], [4]. Така система є конструктивно простішою та дешевшою, оскільки базується на вже наявних елементах автомобільної електроніки. Це робить indirect TPMS привабливою з погляду собівартості та простоти інтеграції у транспортний засіб.

Разом із тим непрямі системи мають суттєві обмеження. Вони не вимірюють фактичний тиск безпосередньо, не дають можливості отримати точне значення тиску в кожній шині, працюють переважно лише під час руху автомобіля та не завжди надійно виявляють одночасне зниження тиску в кількох колесах [4]. У технічних джерелах також зазначається, що непрямі системи часто реагують лише при більш значному зменшенні тиску та можуть бути схильними до помилкових спрацювань у складних дорожніх умовах, зокрема на слизькому або засніженому покритті [4]. Тому за точністю та повнотою інформації indirect TPMS поступається direct TPMS. Принцип визначення зниження тиску в непрякій TPMS на основі аналізу частоти обертання коліс наведено на рисунку 1.3.

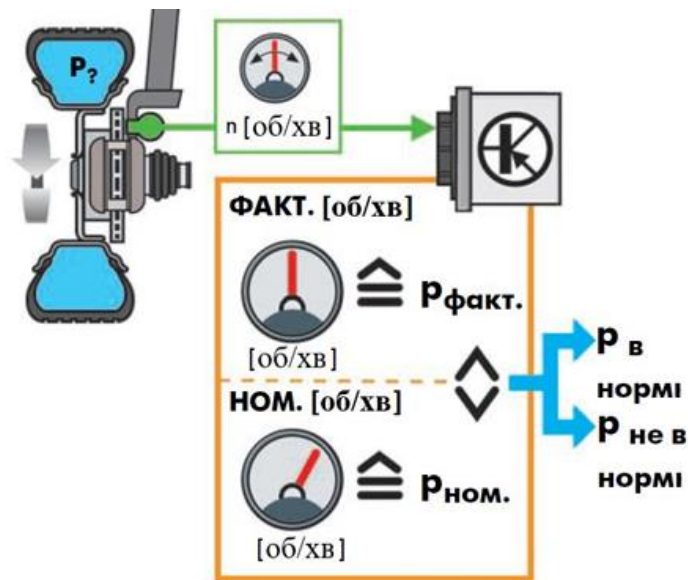


Рисунок 1.3 – Принцип роботи непрямої TPMS [5]

Порівняльний аналіз показує, що прямі TPMS мають перевагу в точності, інформативності та функціональних можливостях, тоді як непрямі TPMS

вирізняються меншою вартістю й простішою реалізацією [2], [4]. Основні відмінності між цими двома підходами наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння прямої та непрямої TPMS

Ознака порівняння	Пряма TPMS	Непряма TPMS
Принцип роботи	Безпосереднє вимірювання тиску датчиками в колесах	Оцінка зниження тиску за непрямыми параметрами, переважно за швидкістю обертання коліс
Наявність окремих датчиків	Так	Ні
Точність контролю	Вища	Нижча
Визначення фактичного тиску	Так	Ні
Можливість вимірювання температури	Часто є	Відсутня
Робота під час стоянки	Можлива в окремих реалізаціях	Ні, потрібен рух автомобіля
Інформативність для водія	Висока, можливе відображення параметрів кожної шини	Зазвичай лише попереджувальний сигнал
Вартість реалізації	Вища	Нижча
Складність обслуговування	Вища, потрібне програмування/навчання сенсорів, контроль батарей	Нижча
Основні недоліки	Вартість, батарея, ризик пошкодження сенсорів	Менша точність, відсутність точних значень тиску, обмеження в окремих режимах

У сучасних автомобілях усе частіше застосовуються саме прямі системи, оскільки вони краще відповідають вимогам щодо своєчасного виявлення недокачування шин і надання водієві детальної інформації про стан коліс. Водночас непрямі системи залишаються актуальними для недорогих автомобілів, де важливим чинником є мінімізація вартості конструкції. Це є узагальнюючим авторським висновком, сформованим на основі аналізу нормативних і технічних джерел [1-4].

Отже, система контролю тиску в шинах є важливим елементом сучасного автомобіля, що поєднує функції моніторингу, попередження та діагностики. Вимоги стандартів UNECE R64 і FMVSS 138 підтверджують її значущість і встановлюють базові критерії ефективності роботи. Аналіз впливу тиску шин на безпеку та економічність показує, що своєчасний контроль цього параметра має важливе технічне, економічне та експлуатаційне значення. Порівняння

прямих і непрямих TPMS свідчить про те, що обидва підходи мають свої переваги та недоліки, проте прямі системи забезпечують вищий рівень точності та інформативності, а непрямі залишаються більш простими та дешевими у реалізації.

1.2 Датчики тиску та температури

Ефективність системи контролю тиску в шинах значною мірою визначається характеристиками датчиків, що входять до її складу. Саме вони забезпечують первинне отримання інформації про стан колеса, перетворюючи фізичні величини, зокрема тиск і температуру, на електричний сигнал, придатний для подальшої обробки електронним блоком керування. У сучасних TPMS сенсорний вузол зазвичай являє собою не окремий чутливий елемент, а інтегрований модуль, який може містити датчик тиску, температурний сенсор, мікроконтролер, радіопередавач, акселерометр та джерело живлення [11].

У загальному розумінні датчик є технічним засобом, що реагує на зміну контрольованого параметра та формує на виході сигнал, пропорційний цій зміні. У сучасних автомобільних системах до датчиків висуваються підвищені вимоги щодо точності, надійності, швидкодії, температурної стабільності, малих габаритів і стійкості до зовнішніх впливів [6], [7]. Саме тому в системах TPMS широкого застосування набули мініатюрні сенсори, виготовлені на основі мікроелектромеханічних технологій, які поєднують достатню точність вимірювання з високим рівнем інтеграції та придатністю до серійного виробництва [9].

У системах контролю тиску в шинах основними контрольованими параметрами є тиск і температура. Контроль тиску дає змогу своєчасно виявляти недокачування шини або раптову втрату герметичності, тоді як вимірювання температури дозволяє враховувати тепловий стан колеса, що впливає як на реальне значення тиску в шині, так і на точність роботи самого сенсорного модуля. У практичних реалізаціях TPMS датчик зазвичай передає не лише значення тиску, а й температуру, ідентифікаційний код сенсора та

службову інформацію [11].

За принципом перетворення тиску в електричний сигнал у TPMS найчастіше застосовуються п'єзорезистивні датчики, а сучасні конструкції часто виконуються на основі MEMS-технології. П'єзорезистивний принцип ґрунтується на зміні електричного опору чутливих елементів під дією механічної деформації. Якщо на мембрану або діафрагму діє тиск, вона прогинається, внаслідок чого тензорезистивні елементи, розташовані на її поверхні, змінюють свій опір. Надалі ця зміна перетворюється на електричний сигнал, який може бути підсилений, відфільтрований і поданий на подальшу обробку [6], [7].

П'єзорезистивні датчики тиску належать до найпоширеніших завдяки високій чутливості, відносній простоті конструкції та можливості інтеграції з електронними схемами обробки сигналу. Типова конструкція такого датчика включає мембрану, на якій сформовано п'єзорезистивні елементи, об'єднані, як правило, у мостову схему. Під дією тиску мембрана деформується, а це викликає зміну електричних параметрів моста. Подібний принцип реалізовано, зокрема, в інтегрованому кремнієвому датчику MPX5700, який є прикладом монолітного п'єзорезистивного сенсора з вбудованим узгодженням сигналу, температурною компенсацією та калібруванням [8]. Приклад внутрішньої будови та функціональну схему MPX5700 інтегрованого п'єзорезистивного датчика тиску наведено на рисунках 1.4. та 1.5.

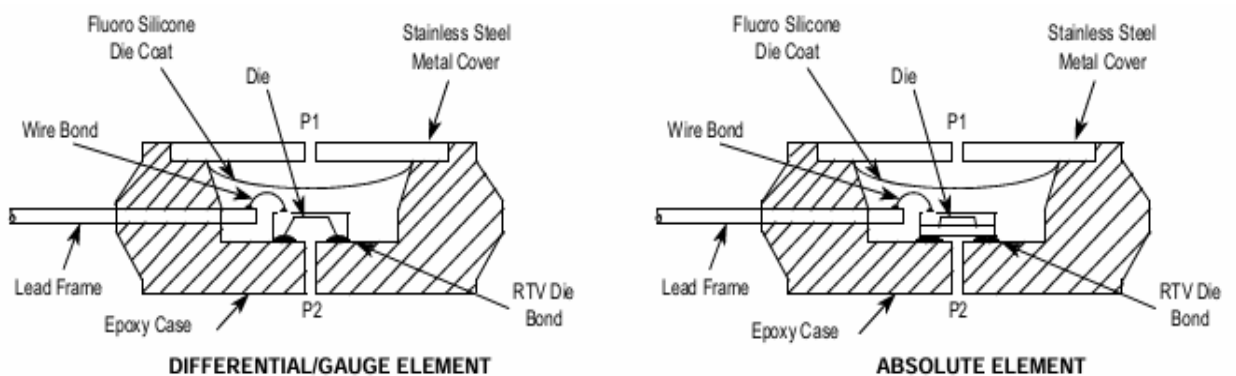


Рисунок 1.4 – Внутрішня будова інтегрованого п'єзорезистивного датчика тиску [8]

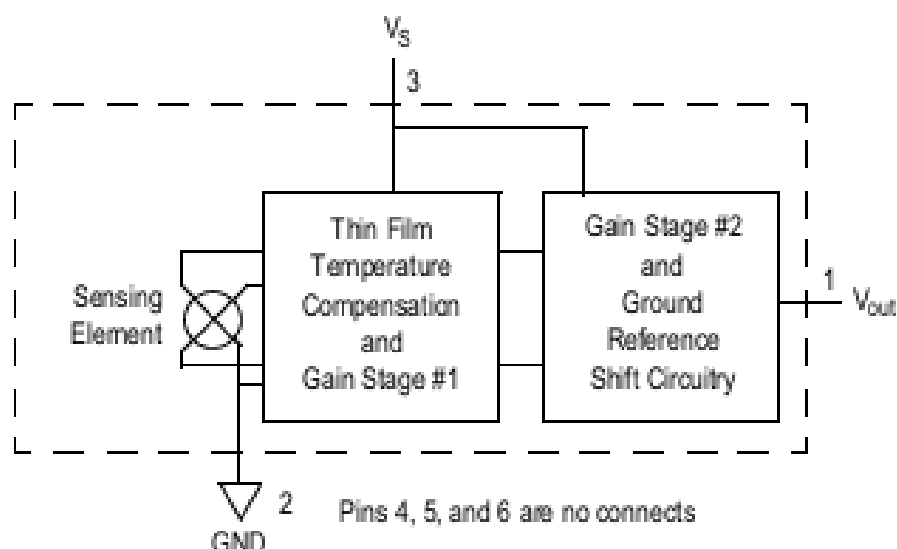


Рисунок 1.5 – Функціональна схема інтегрованого датчика тиску MPX5700 [8]

Сучасні датчики тиску для автомобільної техніки часто виготовляються на основі MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). MEMS-сенсори являють собою мікроелектромеханічні пристрої, у яких механічні та електронні компоненти можуть бути інтегровані в одному мініатюрному вузлі або кристалі [9]. До основних переваг MEMS-датчиків належать малі розміри, низька маса, висока повторюваність параметрів, можливість інтеграції з ASIC-схемами, а також технологічна придатність до масового виробництва [9]. Саме тому MEMS-технологія стала однією з базових для сучасних автомобільних сенсорів, у тому числі й для систем контролю тиску в шинах.

У TPMS сенсорний модуль зазвичай має складнішу будову, ніж окремий лабораторний датчик тиску. До його складу, окрім чутливого елемента, можуть входити температурний сенсор, акселерометр, мікроконтролер, радіочастотний передавач і джерело живлення. Така структура потрібна для того, щоб не лише виміряти тиск, а й передати дані до приймального блока автомобіля, ідентифікувати конкретне колесо, оцінити режим руху та забезпечити раціональне енергоспоживання [11]. Отже, у сучасній TPMS датчик фактично є автономним інтегрованим вузлом вимірювання та передачі інформації. Узагальнену структуру сенсорного модуля TPMS наведено на рисунку 1.4.

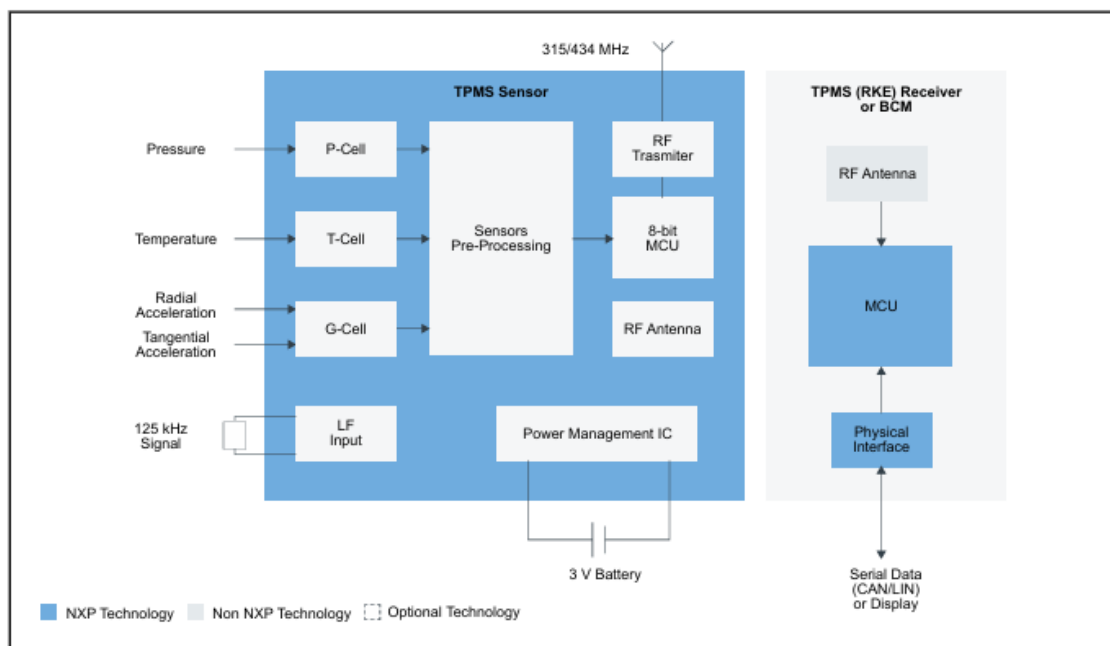


Рисунок 1.6 – Структурна схема сенсорного модуля TPMS [11]

Окремої уваги потребують датчики температури, що використовуються в TPMS або в суміжних автомобільних системах. Для вимірювання температури часто застосовуються NTC-термістори, опір яких зменшується зі зростанням температури. Такі елементи відзначаються простотою, малими розмірами, достатньою чутливістю та можливістю роботи у широкому температурному діапазоні [10]. У технічних матеріалах зазначається, що NTC temperature sensors широко використовуються в автомобільній техніці, а для окремих виконань типовим є робочий діапазон від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ та малі допуски параметрів [10]. Для TPMS температурний контроль є важливим, оскільки температура впливає на реальний тиск у шині та на точність самого сенсора, тому результати вимірювання потребують компенсації [6], [8], [10].

Загальна будова датчика тиску в системі TPMS включає кілька основних функціональних частин: чутливий елемент, мембрану, схему перетворення сигналу, підсилювач, вузол температурної компенсації, обчислювальний модуль та інтерфейс передавання даних. У випадку інтегрованих автомобільних сенсорів до цього також додаються засоби енергоживлення і радіозв'язку [8], [11]. Для п'єзорезистивних сенсорів основною механічною частиною є мембрана, яка деформується під дією тиску, а для MEMS-конструкцій ця

мембрана виготовляється з використанням технологій мікрообробки кремнію, що дозволяє забезпечити стабільність характеристик у серійному виробництві [6], [9].

До основних характеристик датчиків тиску належать діапазон вимірювання, чутливість, точність, лінійність, гістерезис, повторюваність, час відгуку та температурна стабільність [6]. Наприклад, для датчика MPX5700 вказано діапазон вимірювання до 700 кПа, чутливість близько 6,4 мВ/кПа, час відгуку близько 1 мс, а також вбудовану температурну компенсацію [8]. Такі характеристики свідчать про те, що навіть компактний інтегрований сенсор може забезпечувати достатню швидкодію і точність для автомобільного застосування. Для TPMS це особливо важливо, оскільки система повинна своєчасно реагувати як на поступове, так і на різке падіння тиску. Основні технічні характеристики датчика MPX5700 наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики датчика MPX5700

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Діапазон вимірювання тиску (gauge / differential)	POP	0...700	кПа
Діапазон вимірювання тиску (absolute)	POP	15...700	кПа
Напруга живлення	VS	4,75...5,25 (ном. 5,0)	В
Споживаний струм	IO	7,0 тип.; 10 макс.	мА
Напруга зміщення при нульовому тиску (gauge/differential)	Voff	0,2 тип.	В
Напруга зміщення при нульовому тиску (absolute)	Voff	0,184...0,409	В
Напруга на повній шкалі	VFSO	4,7 тип.	В
Повний розмах вихідного сигналу	VFSS	4,5 тип.	В
Чутливість	V/P	6,4	мВ/кПа
Максимальна похибка (0...85 °C)	—	±2,5	%VFSS
Час відгуку	tR	1,0	мс
Час прогріву	—	20	мс

Однією з ключових характеристик датчика є похибка вимірювання, оскільки саме вона визначає достовірність інформації, яку отримує електронний блок керування і, зрештою, водій. Похибка сенсора може формуватися під впливом кількох чинників: нелінійності перетворення, температурного дрейфу, гістерезису, нестабільності нуля, розкиду параметрів чутливих елементів і

впливу зовнішніх механічних навантажень [6], [8]. У технічній документації на MPX5700 максимальна похибка наводиться як $\pm 2,5\%$ у заданому температурному діапазоні, причому вона враховує сукупну дію кількох складових, зокрема температурного гістерезису, дрейфу чутливості та відхилення характеристики від номінальної [8]. Це підтверджує, що для забезпечення прийнятної точності в автомобільних умовах необхідно застосовувати калібрування і температурну компенсацію.

Важливою особливістю автомобільних датчиків є необхідність роботи у широкому температурному діапазоні та в умовах вібрації, вологи, ударних навантажень і електромагнітних завад. Саме тому при розробленні TPMS особлива увага приділяється не лише чутливості сенсора, а й його експлуатаційній надійності. MEMS-датчики та інтегровані автомобільні сенсори є придатними до таких умов завдяки малій масі, високому рівню інтеграції, малому споживанню енергії та можливості попередньої обробки сигналу безпосередньо в модулі [9], [11].

Отже, у сучасних системах контролю тиску в шинах використовуються інтегровані датчики тиску та температури, побудовані переважно на основі п'єзорезистивного принципу та MEMS-технологій. П'єзорезистивні сенсори забезпечують високу чутливість і відносну простоту реалізації, тоді як MEMS-технологія дає змогу зменшити габарити, підвищити надійність і забезпечити інтеграцію сенсора з електронікою обробки сигналу. Основними характеристиками таких датчиків є діапазон вимірювання, чутливість, точність, час відгуку та температурна стабільність, а серед головних джерел похибки слід виділити нелінійність, гістерезис і температурний дрейф. Аналіз цих особливостей створює основу для подальшого розгляду існуючих технічних реалізацій TPMS.

1.3 Аналіз існуючих реалізацій TPMS

На сучасному етапі розвитку автомобільної електроніки системи контролю тиску в шинах набули широкого застосування як у складі штатного

обладнання транспортних засобів, так і в сегменті післяпродажного обслуговування. Провідні виробники TPMS-рішень пропонують не лише безпосередньо датчики тиску, а й сервісні інструменти для їх активації, програмування, діагностики та повторного навчання. Серед найбільш відомих виробників у цій сфері доцільно виділити Bosch, Continental та Schrader, продукція яких охоплює як оригінальні датчики для конкретних моделей автомобілів, так і універсальні програмовані сенсори для широкого кола транспортних засобів [12]-[21].

Компанія Bosch розглядає TPMS як одну з важливих підсистем сучасного автомобіля та поділяє такі системи на прямі і непрямі. У технічних матеріалах Bosch зазначається, що прямі TPMS використовують сенсорні модулі, установлені безпосередньо в колесах, які вимірюють тиск і температуру та передають відповідну інформацію до електронного блока керування по високочастотному каналу зв'язку. Для таких систем вказуються частоти 315 МГц та 433 МГц, а як чутливі елементи застосовуються мікромеханічні абсолютні датчики тиску [12]. Водночас непрямі TPMS визначають зміну тиску не безпосередньо, а за сигналами датчиків частоти обертання коліс систем ABS/ESP, що зменшує вартість реалізації, але обмежує точність і повноту контролю [12].

У післяринковому сегменті Bosch пропонує універсальні сенсори QUICK FIT, які належать до рішень прямого типу. Відповідно до product brochure та factsheet, ці датчики доступні у виконаннях clamp-in metal valve та snap-in rubber valve, підтримують роботу на частотах 315 / 433,92 МГц, мають покриття понад 90 % транспортних засобів і характеризуються заявленим строком служби батареї до 10 років [13], [14]. Сенсори Bosch QUICK FIT є програмованими, що забезпечує гнучкість їх застосування в сервісній практиці. Для роботи з такими датчиками Bosch використовує інструмент TPA 300, який дає змогу активувати сенсори, зчитувати їхні параметри, копіювати ідентифікатори, виконувати ручне введення ID та процедури ECU relearn [13], [14]. Таким чином, рішення Bosch можна охарактеризувати як універсальні, орієнтовані на широку сумісність і зручність сервісного використання. Приклад універсального програмованого

сенсора Bosch QUICK FIT наведено на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Bosch QUICK FIT

Компанія Continental також є одним із провідних виробників TPMS-рішень і пропонує як штатні, так і післяринкові реалізації систем контролю тиску в шинах. На інформаційних сторінках Continental зазначається, що прямі TPMS забезпечують безперервний контроль тиску в шинах у реальному часі, вимірюють тиск і температуру, а самі датчики встановлюються на ободі та часто інтегруються з клапаном [15]. Непрямі TPMS Continental, у свою чергу, використовують сигнали ABS wheel speed sensors і є менш точними, оскільки працюють за непрямыми ознаками [15]. Це свідчить про те, що Continental реалізує загальноприйнятий підхід до побудови TPMS, поєднуючи direct та indirect systems залежно від вимог конкретного транспортного засобу.

У післяринковому сегменті Continental / VDO пропонує сенсори серії REDI-Sensor, які належать до multi-application solutions. З brochure і каталогу replacement parts видно, що такі датчики є pre-programmed, підтримують велику кількість ОЕ-протоколів і не потребують vehicle-specific programming перед установленням [17], [19]. Для окремих моделей наведені частоти 314,9 МГц, 315 МГц, 433,9 МГц і 434 МГц, а також різні конструктивні виконання: clamp-in, snap-in і valveless [16]-[19]. Для моделі SE10003 вказано виконання Clamp-

In, частоту 315 МГц, попереднє програмування та потребу у виконанні OE relearn procedure після монтажу [16], [19]. Важливою перевагою REDI–Sensor є широке покриття автомобілів і велика кількість замінюваних OE–номерів, що робить це рішення зручним для сервісних центрів.

Характерною особливістю продукції Continental є також увага до конструктивних деталей сенсора. У brochure REDI–Sensor наголошується на наявності pivoting valve stem, антикорозійного захисту елементів кріплення, waterproof design, а також можливості монтажу окремих valveless–сенсорів у спеціальному гумовому контейнері на внутрішній поверхні шини [17], [19]. Окремо слід зазначити й сервісний інструмент Continental TPMS Pro, який забезпечує зчитування тиску, температури, ID сенсора та стану батареї, а також підтримує діагностику, програмування, клонування й процедури relearn через OBDII [18]. Це свідчить про те, що Continental формує не лише продуктову лінійку датчиків, а й повноцінну сервісну екосистему для їх обслуговування. Конструктивне виконання датчика Continental / VDO REDI-Sensor наведено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Варіанти виконання сенсорів Continental / VDO REDI-Sensor [19]

Компанія Schrader є одним із найбільш відомих виробників у сфері TPMS і має значний досвід постачання прямих сенсорів як на конвеєр, так і на вторинний ринок. На офіційному сайті виробника представлено кілька основних напрямів продукції: EZ-sensor® GO, OE replacement sensors, retrofit kits, service kits, а також рішення для важких транспортних засобів [20]. Для сімейства EZ-sensor® зазначається, що це програмовані сенсори, орієнтовані на мінімізацію складських запасів і забезпечення дуже широкого покриття автомобілів [20], [21].

Особливо показовим є datasheet на Schrader EZ-sensor® 33500, у якому зазначено, що один сенсор підтримує застосування на частотах 314.9, 315 та 433 МГц у межах одного SKU [21].

Сенсор випускається у виконаннях aluminum clamp-in та rubber snap-in, постачається як blank та є fully programmable під конкретний транспортний засіб [21]. Виробник підкреслює, що один програмований snap-in sensor здатний замінити понад 96 % OEM sensor types, а сама after-market продукція функціонує ідентично до OEM-еквівалентних рішень [21]. Такий підхід забезпечує високу універсальність Schrader і робить продукцію компанії зручною для незалежних сервісних станцій. Приклад реалізації програмованого TPMS-сенсора Schrader EZ-sensor® наведено на рисунок 1.9.



Рисунок 1.9 – Програмований TPMS-сенсор Schrader EZ-sensor® [21]

Окремий напрям у продукції Schrader становлять OE Replacement TPMS Sensors, які реалізуються як 1-for-1 OE replacement sensors, тобто датчики

прямої заміни для конкретного виробника, моделі та року автомобіля [20]. Ці сенсори випускаються у виконаннях Rubber Snap-In, Fixed Angle Clamp-In та Adjustable Clamp-In, причому для всіх варіантів підкреслюється відповідність OE quality and performance standards [20]. Додатково Schrader пропонує retrofit-рішення AirCheck BLE, яке орієнтоване на автомобілі без заводської TPMS і забезпечує відображення тиску, температури та стану батареї сенсора на смартфоні через Bluetooth [20]. Таким чином, продукція Schrader охоплює одразу кілька сегментів: direct-fit replacement, programmable aftermarket sensors і retrofit-systems.

Порівняльний аналіз показує, що всі три виробники орієнтуються переважно на прямі системи контролю тиску в шинах, однак їхній підхід до реалізації має певні особливості. Bosch робить акцент на універсальних програмованих сенсорах QUICK FIT, сервісних можливостях і сумісності з інструментами серії TPA [13], [14]. Continental пропонує як OE-типові сенсори VDO, так і багатофункціональні рішення REDI-Sensor, поєднуючи це з розвиненими засобами сервісного обслуговування TPMS [16]-[19]. Schrader має одночасно direct-fit replacement sensors, програмовані EZ-sensor® та retrofit-комплекти, що робить його продукцію універсальною з погляду різних сегментів ринку [20], [21]. Основні технічні та функціональні відмінності між розглянутими реалізаціями наведено в таблиці 1.3.

Отже, аналіз існуючих реалізацій TPMS показує, що Bosch, Continental та Schrader пропонують технічно зрілі рішення, орієнтовані на різні сценарії застосування – від OE replacement до універсальних програмованих сенсорів і retrofit-систем. Спільними рисами для сучасних TPMS-рішень є використання бездротової передачі даних, інтеграція контролю тиску та температури, підтримка процедур relearn і орієнтація на широку сумісність із сервісними інструментами. Водночас відмінності між виробниками проявляються у типах виконання сенсорів, підходах до програмування, ступені універсальності та сервісних особливостях, що необхідно враховувати при виборі конкретної реалізації TPMS.

Таблиця 1.3 – Порівняння існуючих реалізацій TPMS Bosch, Continental та Schrader

Виробник	Bosch	Continental / VDO	Schrader / Sensata
Серія / модель	QUICK FIT	REDI-Sensor, SE10003	EZ-sensor® 33500 / OE Replacement
Тип сенсора	Direct TPMS, універсальний сенсор	Direct TPMS, replacement / multi-application	Programmable aftermarket / OE replacement / retrofit
Виконання	Clamp-in, snap-in	Clamp-in, snap-in, valveless	Aluminum clamp-in, rubber snap-in, fixed angle clamp-in, adjustable clamp-in
Робоча частота	315 / 433,92 МГц	314.9 / 315 / 433,9 / 434 МГц	314.9 / 315 / 433 МГц
Програмуваність	Так	Pre-programmed / без vehicle-specific programming	Так / fully programmable або direct-fit replacement
Параметри, що передаються / зчитуються	ID, тиск, температура, стан батареї	Тиск, температура, ID, стан батареї	Тиск, температура, ID, стан батареї
Покриття / сумісність	Понад 90 % автомобілів	Понад 120 млн автомобілів; понад 280 OE номерів; сумісність з основними TPMS tools	Понад 96 % OEM sensor types; широке покриття EZ-sensor family
Особливості	До 10 років служби батареї, OE-level quality, підтримка relearn	OE relearn, waterproof design, pivoting valve stem, multi-application solution	OE quality, 1-for-1 replacement, BLE retrofit solutions, direct-fit та programmable approaches

РОЗДІЛ 2

СХЕМНЕ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТИСКУ В ШИНАХ

2.1 Загальна структура та принцип побудови системи

Електронна система контролю тиску в шинах призначена для контролю стану коліс транспортного засобу та своєчасного попередження водія про зниження тиску або несправність системи. У межах даної роботи розглядається система прямого контролю тиску, у якій вимірювання виконується безпосередньо в колесі за допомогою автономного електронного TPMS-датчика. Такий підхід дозволяє отримувати не розрахункові, а фактичні значення тиску в шині, а також додатково контролювати температуру та службові параметри сенсора [4], [11].

На відміну від непрямих систем, які оцінюють зміну тиску за швидкістю обертання коліс, пряма TPMS використовує окремі сенсорні модулі, встановлені в кожному колесі. Кожен такий модуль працює як самостійний електронний пристрій: вимірює параметри шини, обробляє отриману інформацію та передає її до приймального блока автомобіля. Завдяки цьому система може визначати стан кожного колеса окремо, що підвищує точність контролю та дозволяє швидше виявляти небезпечне зниження тиску.

Основним об'єктом аналізу в даному розділі є автономний TPMS-модуль, який містить сенсорний елемент, керуючу електроніку, джерело живлення та радіопередавальний вузол. Саме цей модуль виконує первинне вимірювання параметрів шини та формує інформацію для подальшої передачі. Для побудови сенсорного вузла доцільно використати спеціалізований інтегрований датчик MPXY8021A, оскільки він розроблений саме для систем контролю тиску в шинах і поєднує в одному корпусі сенсор тиску, температурний сенсор та інтерфейсну схему [33].

Згідно з технічною документацією, MPXY8021A є восьмививідним датчиком для шинних систем моніторингу, який має цифровий вихід і підтримує роботу з низьким енергоспоживанням. У його складі передбачено

ємнісний перетворювач тиску, температурний елемент, схему обробки сигналу, регістри калібрування та вузол формування вихідного сигналу. Це дає змогу зменшити кількість зовнішніх компонентів у схемі TPMS-датчика та зробити конструкцію колісного модуля компактнішою [33].

Загальна структура системи контролю тиску в шинах включає сенсорний вузол, мікроконтролер, радіопередавач, джерело живлення, приймальний модуль і вузол індикації. Сенсорний вузол визначає тиск і температуру в шині, мікроконтролер керує режимами роботи датчика та формує інформаційний пакет, радіопередавач забезпечує передачу даних по бездротовому каналу, а приймальний модуль приймає повідомлення та передає його для відображення водію або подальшої обробки в електронній системі автомобіля.

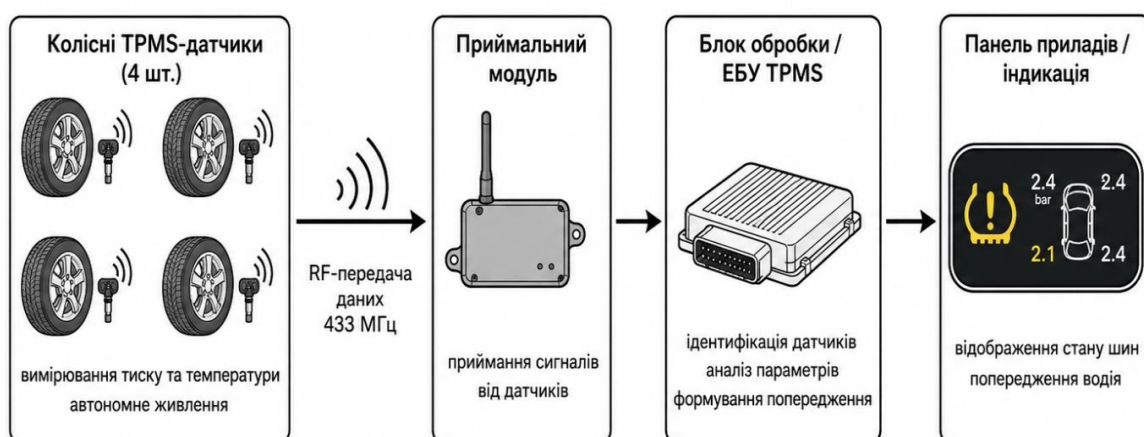


Рисунок 2.1 – Загальна структура електронної системи контролю тиску в шинах [11]

Загальну структуру електронної системи контролю тиску в шинах наведено на рисунку 2.1.

Особливістю колісного TPMS-модуля є робота від автономного джерела живлення, тому схема повинна бути енергоефективною. У такому пристрої недоцільно постійно тримати всі електронні вузли в активному режимі, оскільки це швидко зменшить ресурс батареї. Тому робота системи будується циклічно: більшу частину часу модуль перебуває в режимі очікування, а вимірювання та передача даних виконуються лише у визначені моменти або

після пробудження сенсора. У MPXY8021A передбачені режими Standby / Reset, Measure Pressure, Measure Temperature та Output Read, які вибираються за допомогою керуючих входів S0 і S1 [33].

У типовому циклі роботи TPMS-модуля мікроконтролер активує сенсорний вузол, задає потрібний режим вимірювання, отримує інформацію про тиск або температуру, після чого формує пакет даних для передавання. Далі сигнал надходить на радіопередавач, який передає повідомлення до приймального блока. Після завершення передачі система може знову перейти в режим зниженого енергоспоживання. Такий принцип роботи дозволяє поєднати періодичний контроль параметрів шини з економним використанням енергії автономного джерела живлення.

У технічній документації до MPXY8021A також наведено приклад застосування, у якому датчик живиться від джерела 3 В, має фільтруючий конденсатор 0,1 мкФ, взаємодіє з мікроконтролером або логічним керуючим вузлом і передає дані на RF-передавач [33]. Саме така структура відповідає принципу побудови автономного TPMS-датчика, оскільки містить усі необхідні функціональні частини: вимірювання, керування, живлення та бездротову передачу інформації.

Таким чином, загальна структура електронної системи контролю тиску в шинах базується на автономному колісному модулі, який виконує вимірювання тиску й температури, обробку сигналу та передачу даних до приймального пристрою. Використання інтегрованого сенсора MPXY8021A дозволяє зробити схему більш узгодженою з реальними вимогами TPMS, оскільки цей компонент уже містить необхідні сенсорні та інтерфейсні вузли, підтримує батарейне живлення та має режими роботи, орієнтовані на зниження енергоспоживання [33].

2.2 Функціональна схема системи

Функціональна схема автономного TPMS-датчика відображає взаємодію основних вузлів, які забезпечують вимірювання параметрів шини, обробку

отриманої інформації та її бездротову передачу до приймального модуля автомобіля. На відміну від загальної структурної схеми системи, функціональна схема детальніше показує внутрішню будову колісного електронного модуля, тобто ті частини, які безпосередньо розміщуються в зоні колеса та працюють від автономного джерела живлення.

Основою функціональної схеми є сенсорний вузол на базі інтегрованого датчика MPXY8021A. Цей елемент поєднує в собі сенсор тиску, температурний сенсор та інтерфейсну схему, що дозволяє зменшити кількість зовнішніх компонентів і спростити побудову TPMS-модуля. Вимірювання тиску в MPXY8021A здійснюється за допомогою ємнісного перетворювача, а температурний канал реалізований на основі температурочутливого елемента. Завдяки цьому один корпус забезпечує отримання двох важливих параметрів стану шини – тиску та температури [33].

Сенсорний вузол не працює постійно в активному режимі. Його робота керується зовнішнім мікроконтролером або логічним керуючим вузлом через входи S0 і S1. За допомогою цих сигналів вибирається режим роботи датчика: очікування, вимірювання тиску, вимірювання температури або зчитування вихідного сигналу. Така організація роботи є важливою для автономного TPMS-модуля, оскільки дозволяє активувати вимірювальні кола лише в потрібний момент і зменшити споживання енергії [33].

Мікроконтролерний вузол у функціональній схемі виконує роль керуючого та обчислювального елемента. Він задає режим роботи сенсора, формує сигнали керування, зчитує вихідні дані, виконує їх первинну обробку та готує інформаційний пакет для передавання. До такого пакета можуть входити ідентифікатор датчика, значення тиску, температура, службові біти та контрольна інформація. У подальшому ці дані передаються на радіопередавальний вузол.

Радіопередавальний вузол забезпечує бездротову передачу сформованого повідомлення від колісного TPMS-модуля до приймального блока автомобіля. У схемі він підключається до виходу мікроконтролера, отримує цифрові дані та передає їх через антену. Для TPMS-систем типово використовуються

радіоканали в діапазоні 315 або 433 МГц, однак у межах даної роботи доцільно орієнтуватися на передавач 433 МГц, оскільки цей діапазон широко застосовується в простих бездротових автомобільних і навчальних системах [4], [24].

Вузол живлення автономного TPMS-датчика забезпечує роботу сенсора, мікроконтролера та радіопередавача. Оскільки колісний модуль не має постійного підключення до електромережі автомобіля, він повинен працювати від компактного хімічного джерела струму. У прикладі застосування MPXY8021A використовується живлення 3,0 В, а біля виводів живлення датчика встановлюється конденсатор 0,1 мкФ для локальної фільтрації напруги [33]. Це дозволяє зменшити вплив короточасних просідань напруги та завад, які можуть виникати під час перемикання цифрових сигналів або роботи радіопередавача.

Функціональна взаємодія вузлів відбувається у вигляді послідовного циклу. Спочатку мікроконтролер активує сенсорний вузол і переводить його в режим вимірювання. Після отримання даних про тиск або температуру мікроконтролер виконує обробку результатів і формує повідомлення. Далі це повідомлення передається на RF-передавач, який через антену надсилає його до приймального модуля. Після завершення передавання колісний модуль може перейти в режим очікування, що зменшує споживання енергії та збільшує ресурс автономного джерела живлення.

Функціональну схему автономного TPMS-датчика наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Функціональна схема автономного TPMS-датчика, розроблено автором на основі [33]

Запропонована функціональна схема дозволяє логічно пов'язати всі основні частини колісного модуля: сенсорний вузол MPXY8021A, мікроконтролер, радіопередавач, антену та джерело живлення. Така побудова відповідає принципу автономного TPMS-датчика, у якому вимірювання, керування та передавання даних виконуються безпосередньо в колесі, а приймальний модуль автомобіля лише приймає та обробляє готове повідомлення.

2.3 Принципова електрична схема TPMS–датчика

Принципова електрична схема TPMS-датчика деталізує склад автономного колісного модуля та показує електричні зв'язки між його основними елементами. На відміну від функціональної схеми, яка відображає загальну взаємодію вузлів, принципова схема повинна показувати конкретні компоненти, що входять до складу датчика, їх умовні позначення, лінії живлення, сигнальні з'єднання та допоміжні елементи.

У даній роботі принципова схема TPMS-датчика будується на основі інтегрованого сенсорного елемента MPXY8021A. Цей компонент є спеціалізованим датчиком для систем контролю тиску в шинах і містить у своєму складі сенсор тиску, температурний сенсор та інтерфейсну схему з функцією пробудження зовнішнього керуючого пристрою [33]. Завдяки цьому в схемі немає потреби окремо застосовувати зовнішній датчик температури або складний аналоговий підсилювальний тракт, оскільки первинна обробка сигналу частково реалізована всередині самого сенсорного елемента.

До складу принципової схеми входять такі основні елементи: джерело живлення BT1, фільтруючий конденсатор C1, інтегрований сенсорний елемент U1 MPXY8021A, мікроконтролер або керуючий логічний вузол U2, радіопередавач U3 та антена ANT1. Джерело живлення забезпечує автономну роботу датчика в колесі, конденсатор C1 стабілізує напругу живлення біля сенсорного елемента, U1 виконує вимірювання тиску й температури, U2 керує режимами роботи сенсора та формує інформаційний пакет, а U3 з антеною

забезпечує передавання даних до приймального модуля автомобіля.

У технічній документації до MPXY8021A наведено приклад застосування, у якому датчик живиться від джерела 3,0 В, біля його виводів живлення встановлюється конденсатор 0,1 мкФ, а сам сенсор взаємодіє з мікроконтролером або логічним керуючим вузлом і RF-передавачем [33]. Такий приклад є основою для побудови принципової схеми автономного TPMS-модуля, оскільки він відображає мінімально необхідний набір елементів для вимірювання параметрів шини та передавання даних по радіоканалу.

Зв'язок між сенсором MPXY8021A та мікроконтролером здійснюється за допомогою кількох сигнальних ліній. Входи S0 і S1 використовуються для вибору режиму роботи сенсора, лінії CLK і DATA забезпечують цифровий обмін, вихід OUT передає результат порівняння або вимірювальний сигнал, а вивід RST може використовуватись для пробудження або скидання зовнішнього керуючого пристрою [33]. Така система керування дозволяє мікроконтролеру не тільки зчитувати дані, а й переводити сенсор у потрібний режим залежно від етапу роботи.

Оскільки TPMS-датчик розміщується в колесі, його схема повинна бути максимально компактною та енергоефективною. Саме тому важливо використовувати компоненти, які підтримують роботу від низької напруги та мають режими зниженого споживання. Для MPXY8021A робочий діапазон напруги становить приблизно 2,1-3,3 В, що дозволяє застосовувати його в автономних батарейних пристроях [33]. Це робить сенсор більш придатним для TPMS-модуля, ніж датчики, які потребують стабільного живлення 5 В.

Принципову електричну схему TPMS-датчика наведено на рисунку 2.3.

Після наведення принципової схеми доцільно окремо розглянути призначення кожного її вузла. Такий підхід дозволяє пояснити не лише загальний принцип роботи системи, а й роль конкретних елементів у схемі: сенсорного елемента, керуючого вузла, радіопередавача, антени, джерела живлення та фільтруючих компонентів.

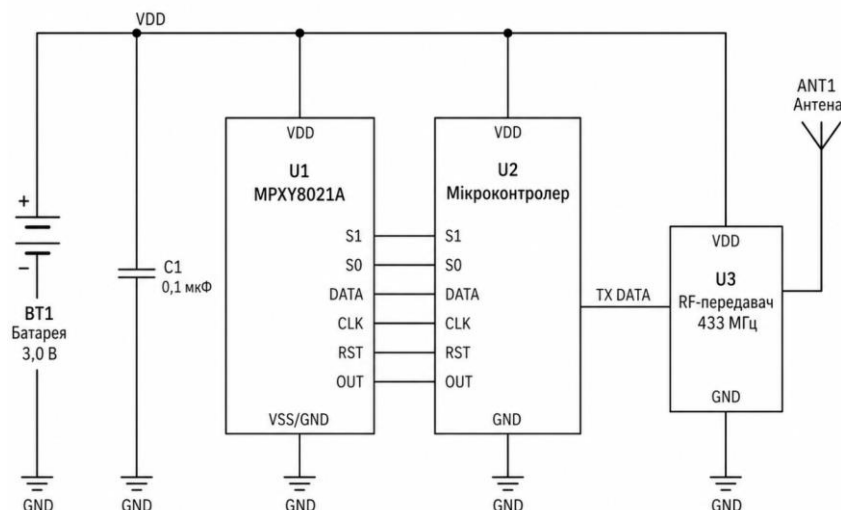


Рисунок 2.3 – Принципова електрична схема автономного TPMS–датчика

2.3.1 Сенсорний вузол на базі MPXY8021A

Основним елементом вимірювального вузла автономного TPMS–датчика є інтегрований сенсор U1 MPXY8021A. На відміну від універсальних аналогових датчиків тиску, цей компонент призначений саме для систем контролю тиску в шинах і поєднує в одному корпусі кілька функціональних частин: сенсор тиску, температурний сенсор, схему попередньої обробки сигналу, цифровий інтерфейс та вузол формування вихідного сигналу. Таке виконання дозволяє зменшити кількість зовнішніх елементів у схемі та спростити побудову автономного колісного модуля [33].

У датчику MPXY8021A вимірювання тиску здійснюється за допомогою ємнісного чутливого елемента. Зміна тиску впливає на параметри сенсорної комірки, після чого сигнал проходить через внутрішній перетворювач C to V, підсилювач і схеми калібрування. У технічній документації зазначено, що вимірювальний тракт містить вузли корекції зміщення, підсилення та температурної компенсації, а калібрувальні значення зберігаються у внутрішньому EEPROM-реєстрі [33]. Це важливо для TPMS, оскільки датчик працює в широкому температурному діапазоні та повинен зберігати стабільність показань у різних умовах експлуатації.

Окрім каналу тиску, MPXY8021A має вбудований температурний сенсор. Температурний канал потрібний не лише для відображення температури

Зв'язок сенсора з керуючим вузлом також здійснюється через лінії DATA, CLK, OUT і RST. Лінія DATA використовується для передавання даних у датчик, CLK задає синхронізацію обміну, OUT формує вихідний сигнал для зовнішнього пристрою, а RST може використовуватися для скидання або пробудження зовнішнього мікроконтролера. У режимі очікування датчик може формувати періодичний імпульс пробудження, що є корисним для зменшення енергоспоживання автономного TPMS-модуля [33].

Важливою перевагою MPXY8021A є робота від низької напруги живлення. Згідно з технічними характеристиками, робочий діапазон живлення становить приблизно 2,1-3,3 В, що дозволяє використовувати датчик у батарейних системах [33]. Це добре узгоджується з конструкцією колісного TPMS-модуля, де джерелом живлення є компактний літієвий елемент. У схемі живлення біля виводів VDD і VSS передбачено фільтруючий конденсатор C1 ємністю 0,1 мкФ, який зменшує вплив імпульсних завад і стабілізує напругу живлення сенсора.

Таким чином, сенсорний вузол на базі MPXY8021A виконує одразу кілька функцій: вимірювання тиску, контроль температури, внутрішню обробку сигналу, компенсацію похибок, вибір режимів роботи та передавання результатів до мікроконтролера. Саме тому цей компонент є доцільним для використання в автономному TPMS-датчику, оскільки він поєднує вимірювальну та інтерфейсну частини в одному корпусі й відповідає вимогам до малогабаритних енергоефективних автомобільних сенсорів.

2.3.2 Мікроконтролерний вузол

Мікроконтролерний вузол у принциповій схемі TPMS-датчика позначений як U2 і виконує функцію керуючого елемента автономного колісного модуля. Його основне завдання полягає в узгодженні роботи сенсорного елемента U1 MPXY8021A, формуванні послідовності вимірювання, підготовці даних для передавання та керуванні радіопередавальним вузлом. На відміну від простих схем, де сенсор безпосередньо передає аналоговий сигнал, у даній структурі мікроконтролер забезпечує логічне керування всіма етапами роботи TPMS-датчика.

Зв'язок між мікроконтролером і сенсорним елементом MPXY8021A здійснюється за допомогою сигнальних ліній S0, S1, DATA, CLK, OUT та RST. Лінії S0 і S1 використовуються для вибору режиму роботи сенсора. Залежно від їхнього логічного стану датчик може перебувати в режимі очікування, виконувати вимірювання тиску, вимірювання температури або переходити в режим зчитування вихідного сигналу. Така організація дозволяє мікроконтролеру активувати лише потрібний вимірювальний канал і не витрачати енергію на постійну роботу всіх внутрішніх вузлів сенсора [33].

Лінії DATA і CLK використовуються для цифрового обміну між керуючим вузлом і MPXY8021A. Через вхід DATA у датчик передаються керуючі біти, а сигнал CLK задає синхронізацію їхнього запису. У технічній документації зазначено, що дані зчитуються або записуються за тактовими імпульсами, а такий обмін може обслуговуватись послідовним інтерфейсом мікроконтролера [33]. Отже, U2 не лише приймає інформацію від сенсора, а й задає умови вимірювання через внутрішній цифровий інтерфейс MPXY8021A.

Вихід OUT використовується для передавання результату вимірювання або сигналу стану сенсора до мікроконтролера. У режимі очікування цей вивід також може застосовуватися для пробудження зовнішнього MCU, оскільки MPXY8021A формує періодичний імпульс, який дозволяє запустити обмін із датчиком без постійної активної роботи мікроконтролера [33]. Це є важливою особливістю для автономного TPMS-модуля, оскільки більшість часу система може перебувати в енергоощадному режимі.

Вивід RST у схемі використовується як допоміжний сигнал скидання або пробудження зовнішнього керуючого пристрою. У документації до MPXY8021A зазначено, що такий сигнал може формуватися з великим періодом і застосовуватись для скидання зовнішнього MCU [33]. У межах розроблюваної схеми це дозволяє підвищити надійність роботи мікроконтролерного вузла, оскільки у випадку зависання або втрати коректної послідовності роботи система може бути примусово повернута до початкового стану.

Як мікроконтролерний вузол доцільно використовувати малоспоживальний мікроконтролер із достатньою кількістю цифрових входів /

виходів, таймерами, можливістю роботи в режимах зниженого енергоспоживання та підтримкою послідовного обміну. У попередньо розглянутому варіанті для цієї ролі може бути використаний мікроконтролер сімейства ATmega328P, який має цифрові порти введення/виведення, таймери, енергоощадні режими та може керувати зовнішніми пристроями через цифрові лінії [23]. У даній схемі для взаємодії з MPXY8021A аналоговий вхід АЦП не є основним, оскільки сенсор має цифровий вихід і внутрішню схему порівняння сигналу.

Після отримання даних від сенсора мікроконтролер формує інформаційний пакет для передавання. До такого пакета можуть входити ідентифікатор датчика, значення тиску, температурна інформація, службові біти та контрольні дані. Далі сформований цифровий сигнал подається на вхід TX DATA радіопередавального вузла U3. Таким чином, U2 є проміжною ланкою між вимірювальним сенсором і радіоканалом: він не виконує самостійного вимірювання тиску, але керує вимірювальним циклом, обробляє результат і забезпечує правильну передачу даних.

Робота мікроконтролера організовується циклічно. У режимі очікування більшість вузлів системи може бути неактивною. Після пробудження U2 переводить MPXY8021A у потрібний режим, виконує зчитування параметрів, формує повідомлення, активує радіопередавач і передає дані. Після завершення передавання мікроконтролер знову переводить систему в енергоощадний стан. Такий принцип роботи дозволяє зменшити середнє споживання струму та збільшити ресурс автономного джерела живлення.

Отже, мікроконтролерний вузол U2 є центральним керуючим елементом TPMS-датчика. Він забезпечує вибір режимів роботи сенсора MPXY8021A, цифровий обмін через лінії DATA і CLK, обробку сигналу OUT, використання сигналу RST, формування пакета даних і передавання його на RF-передавач. Саме завдяки мікроконтролеру автономний датчик працює не як окремий сенсор, а як повноцінний електронний модуль контролю тиску в шині.

2.3.3 Радіопередавальний вузол

Радіопередавальний вузол у схемі автономного TPMS-датчика

призначений для бездротової передачі інформації від колісного модуля до приймального блока автомобіля. У принциповій схемі цей вузол представлений елементами U3 та ANT1. Елемент U3 виконує функцію радіопередавача, а ANT1 забезпечує випромінювання сформованого радіосигналу в простір.

Після зчитування параметрів із сенсорного вузла U1 MPXY8021A мікроконтролер U2 формує інформаційний пакет, який містить дані про стан шини. До такого пакета можуть входити ідентифікатор датчика, значення тиску, температура та службова інформація. Сформований цифровий сигнал надходить із мікроконтролера на вхід TX DATA радіопередавального модуля U3, після чого передавач перетворює його у високочастотний сигнал для передачі по радіоканалу.

У технічних матеріалах, присвячених TPMS, зазначається, що для прямих систем контролю тиску характерним є використання радіочастотних каналів у діапазонах 315 МГц або 433 МГц [4]. У межах даної роботи для побудови радіоканалу прийнято використання передавача 433 МГц, оскільки такі модулі широко застосовуються в малопотужних бездротових системах, мають просте підключення до мікроконтролера та можуть використовуватись у навчальних і експериментальних схемах [24].

У спрощеній принциповій схемі вхід радіопередавача підключений до виходу мікроконтролера через лінію TX DATA. Такий спосіб з'єднання дозволяє передавати цифрові дані безпосередньо з керуючого вузла на передавач. Мікроконтролер визначає момент передавання, формує послідовність бітів і подає її на вхід модуля U3. Радіопередавач при цьому виконує лише функцію перенесення цифрової інформації на радіочастотний сигнал.

Елемент ANT1 є антеною радіопередавального вузла. Вона підключається до виходу передавача і забезпечує випромінювання сигналу в напрямку приймального модуля автомобіля. У реальних автомобільних системах конструкція антени та її узгодження з передавачем мають велике значення для дальності та стабільності зв'язку. У даній схемі антена показана спрощено, оскільки основна увага приділяється принципу побудови автономного TPMS-

датчика та взаємодії його функціональних вузлів.

Живлення радіопередавального вузла здійснюється від загальної шини VDD, а його загальний вивід підключається до шини GND. Оскільки радіопередавач під час передачі може споживати більший струм, ніж сенсор у режимі очікування, його роботу доцільно організовувати короткими імпульсами. Тобто передавач активується лише на час передавання пакета даних, після чого система може перейти в режим зниженого енергоспоживання. Такий підхід є важливим для автономного колісного модуля, який працює від батареї.

У прикладі застосування MPXY8021A, наведеному в технічній документації, сенсор взаємодіє із зовнішнім мікроконтролером або логічним керуючим вузлом, після чого дані передаються на RF Transmitter з антеною [33]. Це підтверджує доцільність використання окремого радіопередавального вузла в структурі TPMS-датчика, оскільки сам сенсор MPXY8021A виконує вимірювання та формування вихідних сигналів, але не містить вбудованого радіопередавача.

Таким чином, радіопередавальний вузол U3-ANT1 забезпечує завершальний етап роботи автономного TPMS-датчика – передавання сформованого повідомлення до приймального блока автомобіля. Мікроконтролер готує дані та керує моментом передачі, радіопередавач переносить цифровий сигнал у радіочастотний діапазон, а антена забезпечує випромінювання сигналу. Така побудова дозволяє реалізувати бездротовий зв'язок між колісним модулем і електронною системою автомобіля.

2.3.4 Вузол живлення автономного TPMS-датчика

Вузол живлення є одним із ключових елементів автономного TPMS-датчика, оскільки колісний модуль працює без постійного підключення до електричної мережі автомобіля. У принциповій схемі джерело живлення позначене як BT1 і забезпечує подачу напруги на сенсорний елемент U1 MPXY8021A, мікроконтролерний вузол U2 та радіопередавальний модуль U3.

Для автономних датчиків тиску в шинах важливо, щоб усі електронні компоненти могли працювати від низької напруги та мали мінімальне

споживання струму в режимі очікування. Згідно з технічною документацією, сенсор MPXY8021A розрахований на роботу від напруги приблизно 2,1–3,3 В, що дозволяє використовувати його в батарейних TPMS-модулях [33]. У типовому прикладі застосування для цього сенсора передбачено джерело живлення 3,0 В і фільтруючий конденсатор 0,1 мкФ біля виводів живлення датчика [33].

У схемі фільтруючий конденсатор C1 встановлюється між шиною живлення VDD і загальною шиною GND. Його основне призначення полягає у згладжуванні короточасних просідань напруги та зменшенні впливу імпульсних завад. Такі завади можуть виникати під час перемикання цифрових ліній, активації сенсора або роботи радіопередавача. Розміщення конденсатора безпосередньо біля виводів живлення U1 дозволяє стабілізувати напругу саме в місці живлення сенсорного елемента.

Живлення мікроконтролерного вузла U2 також здійснюється від загальної шини VDD. Мікроконтролер повинен підтримувати режими зниженого енергоспоживання, оскільки більшу частину часу TPMS-датчик не виконує активне вимірювання або передачу даних. У режимі очікування мікроконтролер може перебувати в енергоощадному стані, а його пробудження відбувається за таймером або за сигналом від сенсорного вузла. Такий підхід дозволяє значно зменшити середнє споживання енергії автономного модуля.

Радіопередавальний вузол U3 є одним із найбільш енергозатратних елементів схеми, оскільки під час передавання радіосигналу він споживає більший струм порівняно з сенсором у режимі очікування. Тому його робота повинна бути короточасною: передавач активується лише на період передавання інформаційного пакета, після чого вимикається або переводиться в неактивний стан. Це особливо важливо для TPMS-датчика, який повинен працювати тривалий час від одного елемента живлення.

У спрощеній принциповій схемі основним фільтруючим елементом показано конденсатор C1, однак у практичній реалізації доцільно також передбачити локальні фільтруючі конденсатори біля мікроконтролера та радіопередавача. Такі елементи можуть бути позначені як C2 і C3 та виконувати

аналогічну функцію стабілізації напруги для відповідних вузлів. Їх застосування дозволяє зменшити вплив завад між сенсорним, цифровим і радіочастотним вузлами.

Особливу увагу слід приділити правильності підключення джерела живлення. Полярність батареї повинна відповідати позначенням VDD і GND, оскільки неправильне підключення може призвести до пошкодження сенсора, мікроконтролера або радіомодуля. Також необхідно уникати короткого замикання батареї, перевищення допустимої напруги живлення та підключення зовнішніх сигналів до входів мікросхем при вимкненому живленні.

Таким чином, вузол живлення автономного TPMS-датчика забезпечує стабільну роботу всіх електронних компонентів схеми та безпосередньо впливає на ресурс батареї. Використання сенсора MPXY8021A є доцільним, оскільки він підтримує низьковольтне живлення, має режими зниженого споживання та орієнтований на застосування в системах контролю тиску в шинах [33]. Для надійної роботи схеми необхідно застосовувати фільтрацію живлення, короткочасну активацію радіопередавача та енергоощадні режими мікроконтролера.

2.3.5 Допоміжні сигнали та режими роботи сенсора

Допоміжні сигнали в схемі TPMS-датчика забезпечують керування режимами роботи сенсорного елемента U1 MPXY8021A та його взаємодію з мікроконтролерним вузлом U2. До таких сигналів належать лінії S0, S1, DATA, CLK, OUT і RST. Вони не виконують безпосереднього вимірювання тиску, однак визначають послідовність роботи датчика, спосіб зчитування інформації та перехід між активними й енергоощадними режимами.

Основними керуючими входами MPXY8021A є S0 і S1. За їх допомогою мікроконтролер вибирає режим роботи сенсора. Якщо обидва входи мають низький рівень, датчик перебуває в режимі Standby / Reset. У цьому стані основні вимірювальні кола вимкнені, що дозволяє зменшити споживання енергії. Якщо активується вхід S0, датчик переходить у режим вимірювання тиску. Якщо активується вхід S1, вмикається канал вимірювання температури. Одночасна активація S0 і S1 переводить сенсор у режим зчитування вихідного

сигналу Output Read [33].

Для наочності режими роботи сенсора MPXY8021A доцільно подати у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Режими роботи сенсора MPXY8021A залежно від стану входів S1 і S0 [33]

S1	S0	Режим роботи	Призначення режиму
0	0	Standby / Reset	Режим очікування та зниженого споживання
0	1	Measure Pressure	Вимірювання тиску
1	0	Measure Temperature	Вимірювання температури
1	1	Output Read	Зчитування вихідного сигналу

Лінії DATA і CLK використовуються для передавання керуючої інформації в сенсор. Через DATA задаються біти налаштування порогу внутрішнього компаратора, а сигнал CLK забезпечує синхронізацію запису цих бітів. Завдяки такій організації мікроконтролер може задавати порогові значення для внутрішнього вузла порівняння та керувати процесом отримання цифрового результату. Це дозволяє реалізувати не тільки просте визначення аварійного порогу тиску, а й поетапне зчитування результату вимірювання.

Вихід OUT використовується для передавання результату роботи внутрішнього компаратора до мікроконтролера. У режимі вимірювання цей сигнал відображає стан порівняння між виміряним значенням і заданим порогом. Крім того, у режимі очікування OUT може формувати періодичний імпульс пробудження для зовнішнього керуючого вузла. Така функція важлива для автономного TPMS-модуля, оскільки дозволяє мікроконтролеру не працювати постійно в активному режимі, а прокидатися лише для виконання чергового циклу вимірювання [33].

Сигнал RST виконує допоміжну функцію скидання або періодичного пробудження зовнішнього мікроконтролера. У документації до MPXY8021A зазначено, що цей імпульс може формуватися внутрішнім низькочастотним генератором через подільник частоти. Для TPMS-датчика це корисно тим, що сенсорний елемент може самостійно ініціювати перезапуск або пробудження керуючого вузла через певний проміжок часу, підвищуючи надійність роботи

системи [33].

Робота сенсора в різних режимах дозволяє організувати енергоефективний цикл функціонування всього TPMS-модуля. У режимі очікування активними залишаються лише ті внутрішні блоки, які потрібні для формування імпульсів пробудження та підтримання логіки керування. Після переходу в режим вимірювання тиску або температури активується відповідний вимірювальний канал. Після завершення вимірювання мікроконтролер зчитує результат, формує інформаційний пакет і передає його до радіопередавального вузла.

У практичній схемі важливо не подавати високий логічний рівень на керуючі входи сенсора при відсутньому живленні VDD, оскільки це може призвести до небажаного живлення мікросхеми через захисні кола входів. Тому всі сигнальні лінії між мікроконтролером і MPXY8021A повинні працювати узгоджено з режимом живлення сенсора. Це особливо актуально для автономних пристроїв, де окремі вузли можуть вимикатися для зниження енергоспоживання [33].

Таким чином, допоміжні сигнали S0, S1, DATA, CLK, OUT і RST забезпечують повноцінне керування інтегрованим TPMS-сенсором MPXY8021A. Саме завдяки цим лініям мікроконтролер може вибирати режим вимірювання, задавати пороги, отримувати результат, реагувати на імпульси пробудження та організовувати циклічну роботу датчика з мінімальним споживанням енергії.

2.4 Алгоритм роботи системи

Алгоритм роботи електронної системи контролю тиску в шинах визначає послідовність взаємодії сенсорного вузла, мікроконтролера та радіопередавального модуля під час контролю параметрів шини. Для автономного TPMS-датчика особливо важливо забезпечити циклічну роботу системи з мінімальним енергоспоживанням, оскільки живлення всіх вузлів здійснюється від батареї [33].

У режимі очікування більшість електронних вузлів перебуває у стані зниженого споживання енергії. Активними залишаються лише ті внутрішні блоки сенсора MPXY8021A, які забезпечують підтримання режиму очікування та формування сигналу пробудження. Завдяки цьому середнє споживання струму автономного TPMS-модуля залишається невеликим, що дозволяє збільшити ресурс джерела живлення.

Після надходження сигналу пробудження або спрацювання внутрішнього таймера мікроконтролерний вузол активує сенсорний елемент MPXY8021A та переводить його у режим вимірювання. Вибір режиму здійснюється через керуючі входи S0 та S1. Спочатку сенсор може бути переведений у режим Measure Pressure, у якому виконується вимірювання тиску в шині. Після завершення вимірювання датчик може бути переведений у режим Measure Temperature для отримання температурної інформації [33].

Після виконання вимірювання мікроконтролер виконує зчитування результату через сигнальні лінії DATA, CLK та OUT. Отримані дані обробляються керуючим вузлом і перетворюються у цифровий інформаційний пакет. До складу такого пакета можуть входити ідентифікатор датчика, значення тиску, температура, службові біти та контрольна інформація, необхідна для перевірки правильності передачі.

Після формування пакета мікроконтролер активує радіопередавальний вузол U3 та подає сформований цифровий сигнал на вхід TX DATA. Радіопередавач виконує передавання даних через антену ANT1 до приймального блока автомобіля. Передавання триває короткий проміжок часу, після чого RF-модуль вимикається або переводиться в неактивний режим для зменшення споживання енергії.

Після завершення передавання даних мікроконтролер переводить сенсорний елемент MPXY8021A у режим Standby / Reset, а сам TPMS-модуль переходить у режим очікування до наступного циклу вимірювання. Такий принцип роботи дозволяє виконувати періодичний контроль стану шини без постійної активної роботи всіх електронних вузлів.

У разі зниження тиску нижче допустимого значення або виникнення

несправності сенсора система може передавати спеціальний аварійний пакет, який буде розпізнаний приймальним модулем автомобіля як попередження про несправність TPMS або небезпечне зниження тиску. Це дозволяє своєчасно інформувати водія про зміну стану колеса та підвищити безпеку руху.

Алгоритм роботи автономного TPMS–датчика наведено на рисунку 2.5.

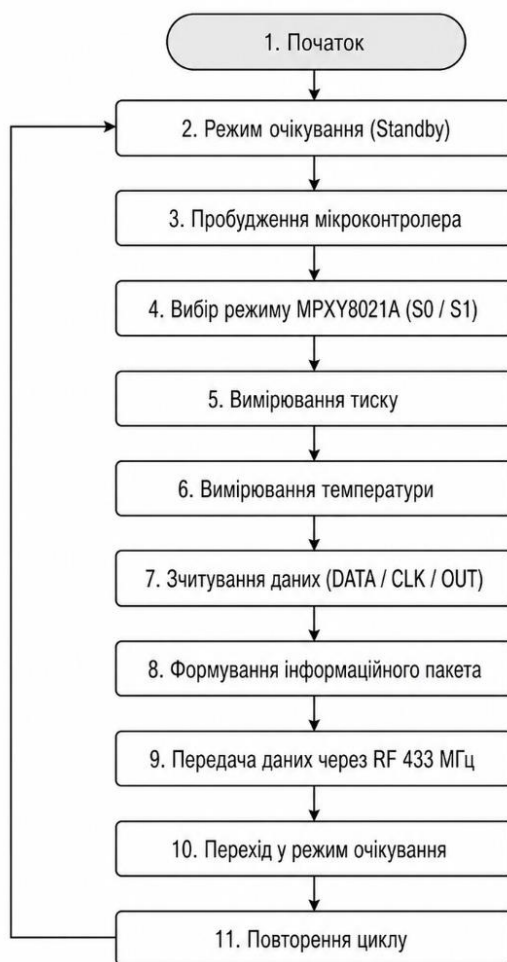


Рисунок 2.5 – Алгоритм роботи автономного TPMS–датчика, розроблено автором на основі

Запропонований алгоритм забезпечує послідовну взаємодію сенсорного вузла, мікроконтролера та радіопередавача, а також дозволяє реалізувати енергоефективний режим роботи автономного TPMS-модуля. Основною особливістю такої структури є циклічна робота з переходами між режимами очікування, вимірювання та передачі даних, що є характерним для сучасних автономних систем контролю тиску в шинах.

2.5 Часові діаграми та режими роботи

Часові діаграми роботи автономного TPMS-датчика потрібні для пояснення послідовності перемикання його основних режимів: очікування, пробудження, вимірювання тиску, вимірювання температури, зчитування даних і передавання інформації по радіоканалу. Оскільки колісний модуль працює від автономного джерела живлення, його робота не повинна бути безперервно активною. Основний принцип полягає в тому, що більшу частину часу датчик перебуває в режимі очікування, а активні режими вмикаються лише на короткий проміжок часу.

Для сенсора MPXY8021A режими роботи задаються станами керуючих входів S0 і S1. У режимі Standby / Reset вимірювальні кола неактивні, що дозволяє зменшити споживання енергії. Для вимірювання тиску активується режим Measure Pressure, для вимірювання температури – Measure Temperature, а для зчитування вихідного сигналу використовується режим Output Read [33]. Така структура режимів дозволяє мікроконтролеру керувати сенсором поетапно, не вмикаючи всі його внутрішні вузли одночасно.

У режимі очікування сенсор може формувати періодичний імпульс на виводі OUT, який використовується для пробудження зовнішнього мікроконтролера. У технічній документації MPXY8021A зазначено, що внутрішній низькочастотний генератор і подільник можуть формувати імпульс пробудження приблизно через 3 секунди, а додатковий подільник може формувати імпульс RST приблизно через 52 хвилини для скидання або перезапуску зовнішнього керуючого вузла [33]. Це важливо для автономного TPMS-модуля, оскільки дає змогу організувати періодичну роботу без постійного активного стану мікроконтролера.

Після пробудження мікроконтролер переводить сенсор у режим вимірювання тиску. Для цього на входах S0 і S1 встановлюється відповідна комбінація логічних рівнів. Після стабілізації вимірювального каналу результат може бути зчитаний через вихід OUT. У документації MPXY8021A для вимірювальних режимів наведені характерні часові параметри: рекомендований

час утримання сенсора в режимі вимірювання температури становить близько 200 мкс, а в режимі вимірювання тиску – близько 500 мкс [33]. Це показує, що активна частина циклу може бути дуже короткою порівняно з тривалістю режиму очікування.

Після вимірювання тиску мікроконтролер може перевести сенсор у режим вимірювання температури. Температурна інформація потрібна для оцінювання умов роботи шини та може використовуватися під час аналізу показників тиску. Після завершення вимірювань мікроконтролер переходить до зчитування результату і формування інформаційного пакета. Для цифрового обміну використовуються лінії DATA і CLK, через які задаються керуючі біти та виконується синхронізація обміну з датчиком [33].

Після формування пакета даних мікроконтролер активує радіопередавач U3. Передавання через RF-канал триває лише протягом часу, необхідного для передачі повідомлення. Це дозволяє зменшити енергоспоживання, оскільки радіопередавальний вузол є одним із найбільш енерговитратних елементів автономного датчика. Після завершення передавання мікроконтролер переводить сенсорний вузол і радіопередавач у неактивний стан, а система знову переходить у режим очікування. Часову діаграму роботи автономного TPMS-датчика наведено на рисунку 2.6.

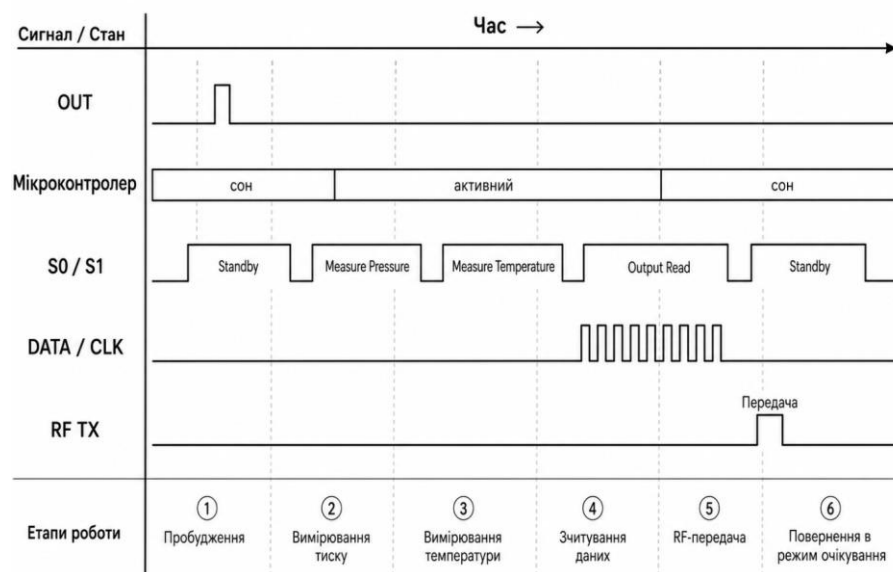


Рисунок 2.6 – Часова діаграма роботи автономного TPMS-датчика

Наведена часова діаграма відображає циклічний характер роботи системи. На початку циклу датчик перебуває в режимі очікування, після чого відбувається пробудження мікроконтролера. Далі послідовно активуються режими вимірювання тиску та температури, виконується зчитування даних, формується інформаційний пакет і здійснюється короткочасна передача через RF-канал. Після цього система повертається до режиму очікування до наступного циклу вимірювання.

Такий режим роботи є доцільним для автономного TPMS–датчика, оскільки дозволяє поєднати періодичний контроль параметрів шини з економним використанням енергії. Активними залишаються лише ті вузли, які потрібні на конкретному етапі циклу, а після завершення вимірювання та передачі даних система переходить у стан зниженого споживання. Це підвищує ресурс батареї та забезпечує стабільну роботу колісного модуля протягом тривалого часу.

2.6 Особливості реалізації та підключення елементів

Практична реалізація автономного TPMS–датчика повинна враховувати не лише електричну взаємодію його вузлів, а й умови експлуатації колісного модуля. Датчик розміщується в зоні колеса, тому під час роботи він зазнає впливу вібрацій, перепадів температури, відцентрових навантажень, вологості та можливих механічних дій. Через це схема повинна бути компактною, енергоефективною та достатньо стійкою до завад.

Основним елементом схеми є інтегрований сенсор U1 MPXY8021A, який виконує вимірювання тиску й температури. Його застосування спрощує побудову системи, оскільки в одному корпусі поєднано сенсор тиску, температурний елемент, схему обробки сигналу, цифрове керування та вихідні сигнали для взаємодії з мікроконтролером [33]. У документації також наведено приклад застосування цього сенсора разом із керуючим вузлом, RF-передавачем та живленням 3 В, що відповідає структурі автономного TPMS–модуля.

Джерело живлення BT1 забезпечує роботу всіх електронних вузлів

датчика. Оскільки модуль встановлюється в колесо, живлення повинно бути автономним, а середнє споживання струму – мінімальним. Для цього сенсор і мікроконтролер не повинні постійно працювати в активному режимі. Основна частина часу припадає на режим очікування, а вимірювання та передавання даних виконуються короткими циклами. Такий режим дозволяє зменшити витрату енергії та продовжити строк роботи батареї.

Фільтруючий конденсатор C1 підключається між шиною VDD і загальною шиною GND. Його призначення полягає у стабілізації напруги живлення біля сенсора та зменшенні впливу імпульсних завад. Особливо важливо розміщувати такий конденсатор якомога ближче до виводів живлення U1, оскільки під час перемикання цифрових сигналів або активації радіопередавача в шині живлення можуть виникати короткочасні просідання напруги.

Мікроконтролерний вузол U2 підключається до сенсора MPXY8021A через лінії S0, S1, DATA, CLK, OUT і RST. Лінії S0 та S1 використовуються для вибору режимів роботи сенсора, DATA і CLK – для цифрового обміну, OUT – для отримання вихідного сигналу, а RST – для скидання або пробудження керуючого вузла. Усі ці сигнали повинні бути узгоджені за рівнями напруги з живленням сенсора, щоб не допустити некоректної роботи або пошкодження входів.

Радіопередавальний вузол U3 підключається до мікроконтролера через сигнальну лінію TX DATA. Саме через цю лінію передається сформований цифровий пакет, який містить інформацію про тиск, температуру та службові дані. Передавач активується тільки на час передавання повідомлення, після чого повинен переходити в неактивний стан. Така організація роботи є необхідною, оскільки RF-передавач споживає більше енергії, ніж сенсор у режимі очікування.

Антенa ANT1 є частиною радіопередавального вузла і повинна бути розміщена так, щоб забезпечувати стабільну передачу сигналу до приймального модуля автомобіля. У реальній конструкції її форма, довжина та розташування впливають на якість радіозв'язку. Для навчальної або спрощеної схеми антена може бути подана умовно, однак у практичній реалізації потрібно враховувати

екранування металевими частинами колеса, положення датчика та втрати сигналу.

Для узагальнення призначення основних елементів схеми автономного TPMS-датчика доцільно навести їх у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Призначення основних елементів автономного TPMS-датчика

Позначення	Елемент	Призначення
BT1	Джерело живлення 3 В	Забезпечує автономне живлення колісного TPMS-модуля
C1	Фільтруючий конденсатор 0,1 мкФ	Стабілізує напругу живлення та зменшує вплив імпульсних завад
U1	Сенсор MPXY8021A	Вимірює тиск і температуру, формує вихідні сигнали для мікроконтролера
U2	Мікроконтролерний вузол	Керує режимами сенсора, зчитує дані та формує інформаційний пакет
U3	RF-передавач 433 МГц	Передає сформовані дані до приймального модуля автомобіля
ANT1	Антенa	Забезпечує випромінювання радіосигналу
S0, S1	Керуючі лінії	Вибір режимів роботи сенсора
DATA, CLK	Лінії цифрового обміну	Передавання керуючих бітів і синхронізація обміну
OUT	Вихідний сигнал сенсора	Передавання результату вимірювання або сигналу пробудження
RST	Сигнал скидання / пробудження	Скидання або періодичне пробудження зовнішнього керуючого вузла

Під час монтажу схеми необхідно дотримуватись правильної полярності живлення та забезпечити спільну шину GND для всіх вузлів. Неправильне підключення джерела живлення або відсутність спільної землі може призвести до нестабільної роботи сенсора, помилок цифрового обміну або відсутності передачі даних через радіоканал. Також важливо уникати довгих незахищених сигнальних ліній, оскільки вони можуть сприймати електромагнітні завади.

У практичному виконанні електронні компоненти TPMS-датчика мають бути розміщені на друкованій платі з урахуванням мінімальної довжини з'єднань між сенсором, мікроконтролером і радіопередавачем. Лінії живлення бажано робити ширшими, а фільтруючі конденсатори розміщувати максимально близько до відповідних мікросхем. Радіочастотну частину потрібно відокремлювати від чутливих сигнальних ліній сенсора, щоб зменшити

взаємний вплив завад.

Окрему увагу слід приділити механічному захисту модуля. Оскільки TPMS-датчик працює в умовах обертання колеса, корпус повинен забезпечувати фіксацію плати, захист від вологи, пилу та механічних впливів. Також потрібно враховувати температурний діапазон роботи елементів, адже температура всередині шини може змінюватися залежно від швидкості руху, навантаження автомобіля та зовнішніх умов.

Таким чином, реалізація автономного TPMS-датчика потребує узгодженого підключення сенсорного елемента, мікроконтролера, радіопередавача, антени та вузла живлення. Основними умовами стабільної роботи є правильна організація живлення, фільтрація завад, коректне підключення сигнальних ліній, короткочасна робота передавача та використання енергоощадних режимів. Такий підхід забезпечує надійну роботу колісного модуля та відповідає вимогам автономної системи контролю тиску в шинах.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМУВАННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТИСКУ В ШИНАХ

Після розгляду схемної та функціональної побудови електронної системи контролю тиску в шинах важливим етапом є аналіз процесів її програмування, налаштування та перевірки працездатності. Для систем прямого контролю тиску в шинах недостатньо лише фізично встановити датчик у колесо, оскільки кожен сенсор має власний ідентифікаційний код, робочу частоту, протокол передавання даних та параметри сумісності з конкретним автомобілем. Саме тому після встановлення або заміни TPMS-датчика необхідно виконати його активацію, програмування, реєстрацію в електронному блоці керування та перевірку правильності роботи системи [4], [22].

У сучасних TPMS-рішеннях датчик є автономним електронним модулем, який не лише вимірює тиск і температуру, а й формує радіочастотне повідомлення з ідентифікатором, службовими бітами та контрольними даними. У технічних джерелах зазначається, що повідомлення TPMS може містити ID сенсора, значення тиску, температуру, службову інформацію та CRC-код, а передавання даних зазвичай здійснюється в діапазонах 315 або 433 МГц із використанням ASK, FSK або OOK-модуляції [4]. Це означає, що коректне налаштування датчика має забезпечувати не тільки його фізичну працездатність, а й правильну ідентифікацію в системі автомобіля.

Практичне програмування TPMS-датчиків виконується за допомогою спеціалізованих діагностичних пристроїв або програматорів. Такі пристрої дають можливість активувати датчики, зчитувати їхні параметри, створювати новий ідентифікатор, копіювати ID зі старого датчика, вводити ID вручну, програмувати комплект датчиків, а також виконувати процедури навчання або реєстрації в електронному блоці керування автомобіля. Наприклад, у матеріалах Bosch Tire Pressure Analyzer 400 описані режими перевірки датчиків, програмування сенсорів, копіювання ID, створення нового датчика, ручного введення ID та OBDII relearn [28].

Окрему роль у процесі налаштування відіграє процедура relearn, тобто навчання або реєстрація TPMS-датчиків у блоці керування автомобіля. Після заміни датчика новий ідентифікатор повинен бути записаний або розпізнаний електронною системою автомобіля, інакше блок керування не зможе правильно приймати та обробляти дані від нового сенсора. У сервісній практиці застосовуються різні способи навчання: ручний relearn, автоматичне навчання після руху автомобіля та OBD-навчання через діагностичний роз'єм [18], [22], [28].

У даному розділі буде розглянуто загальні принципи програмування та налаштування TPMS-датчиків, структуру переданих даних, способи створення або копіювання ідентифікатора, процедури реєстрації сенсорів у блоці керування автомобіля, а також перевірку працездатності системи після виконання налаштування. Такий підхід дозволяє перейти від схемного проєктування до практичної частини експлуатації системи, де важливими є не тільки апаратні компоненти, а й правильність їх програмної та сервісної інтеграції.

3.1 Загальні принципи програмування TPMS–датчиків

Програмування та налаштування TPMS-датчиків є важливим етапом забезпечення правильної роботи системи контролю тиску в шинах після встановлення нових сенсорів, заміни коліс або ремонту системи. На відміну від звичайних пасивних елементів, TPMS-датчик є електронним модулем, який має власний ідентифікатор, робочу частоту, протокол обміну даними та параметри сумісності з конкретним транспортним засобом. Тому для коректної роботи системи необхідно не лише встановити датчик у колесо, а й забезпечити його відповідність електронній системі автомобіля.

У системах прямого контролю тиску кожен датчик передає до приймального модуля інформацію про тиск, температуру, власний ідентифікаційний код та службові дані. У технічних джерелах зазначається, що повідомлення TPMS-сенсора може містити унікальний ID, значення тиску,

температуру, контрольні біти та CRC-код, а сама передача даних найчастіше виконується в діапазонах 315 або 433 МГц [4]. Саме наявність індивідуального ID робить програмування і реєстрацію датчика обов'язковими етапами після його заміни або встановлення нового комплекту коліс.

У загальному випадку процес налаштування TPMS-датчика складається з кількох основних етапів: вибору автомобіля в програматорі, активації або зчитування наявного сенсора, вибору способу програмування, запису ідентифікатора та протоколу в новий датчик, а також подальшого навчання електронного блоку керування автомобіля. У сервісних інструкціях Bosch Tire Pressure Analyzer 400 описано, що перед обслуговуванням необхідно перевірити датчики, після заміни несправного сенсора виконати програмування універсального датчика, а потім провести процедуру relearn для реєстрації нового ID у TPMS ECU [28]. Загальну послідовність програмування та налаштування TPMS-датчика наведено на рисунку 3.1.

Загальна послідовність програмування та налаштування TPMS-датчика



Рисунок 3.1 – Загальна послідовність програмування та налаштування TPMS-датчика

Перед програмуванням датчика доцільно виконати його активацію та перевірку. На цьому етапі діагностичний пристрій зчитує основні параметри сенсора: ідентифікатор, тиск, температуру, частоту передавання та стан елемента живлення. Така перевірка дозволяє визначити, чи працює датчик, чи правильно він передає дані, а також чи відповідає він обраному автомобілю. У Bosch TRA 400 функція перевірки сенсорів передбачає вибір виробника, моделі та року автомобіля, після чого виконується послідовне зчитування кожного колісного датчика [28].

Програмування універсального TPMS-датчика може виконуватися кількома способами. Найпоширенішим є створення нового ідентифікатора, коли програматор записує в чистий датчик новий ID і відповідний протокол для конкретного автомобіля. Інший спосіб – копіювання ID зі старого датчика, що дозволяє новому сенсору працювати як заміна попереднього без складної процедури перенавчання автомобіля. Також може застосовуватися ручне введення ID, якщо ідентифікатор пошкодженого або старого датчика відомий. У Bosch Tire Pressure Analyzer 400 ці режими подані як Create New Sensor, Copy ID, Copy Set of Sensors, Manual ID, Retrieve ID та Create Set [28].

Окреме значення має відповідність робочої частоти та протоколу датчика автомобілю. Для різних ринків і моделей можуть застосовуватися частоти 315 МГц, 433 МГц або близькі до них значення. Наприклад, у технічних матеріалах Bosch і Continental зазначаються сенсори з підтримкою 315/433 МГц, а в матеріалах Schrader EZ-sensor описано універсальний сенсор, що підтримує 314,9, 315 і 433 МГц [13], [19], [21]. Якщо датчик запрограмований на неправильну частоту або невідповідний протокол, електронний блок керування автомобіля не зможе коректно приймати його дані.

Після програмування датчика необхідно виконати його реєстрацію або навчання в системі автомобіля. Цей процес потрібний для того, щоб блок керування TPMS розпізнав новий ID і пов'язав його з відповідним колесом. Залежно від автомобіля можуть застосовуватися різні способи навчання: автоматичне навчання під час руху, ручна процедура через дії водія або сервісного спеціаліста, а також OBD-навчання через діагностичний роз'єм. У

матеріалах Bosch TPA 400 зазначено, що після встановлення нового датчика його ID має бути зареєстрований у TPMS ECU, а прилад визначає необхідний спосіб relearn: manual, OBD або auto relearn [28].

Таким чином, програмування TPMS-датчиків є не окремою операцією, а комплексним процесом, який включає перевірку сенсора, запис або копіювання ID, налаштування частоти та протоколу, а також реєстрацію датчика в електронній системі автомобіля. Коректне виконання цих дій забезпечує правильний прийом даних від сенсорів, відсутність помилок у блоці керування та своєчасне відображення попереджувальної інформації для водія.

3.2 Ідентифікація TPMS–датчиків та структура переданих даних

Однією з основних умов правильної роботи системи контролю тиску в шинах є коректна ідентифікація кожного TPMS-датчика. У прямій системі контролю тиску кожен сенсор має власний унікальний ідентифікаційний код, який передається разом із вимірними параметрами. Завдяки цьому електронний блок керування може розпізнати, від якого саме колеса надійшла інформація, та правильно відобразити її на панелі приладів або центральному дисплеї автомобіля.

Ідентифікатор датчика є важливим елементом обміну даними між колісним сенсорним модулем і приймальним блоком. Якщо ідентифікатор нового датчика не зареєстрований у блоці керування, система не зможе коректно приймати його сигнали або відобразить помилку. У практичних описах TPMS зазначається, що після заміни датчиків або коліс може виникати необхідність повторної реєстрації ID у пам'яті електронного блока керування [22]. Саме тому програмування та навчання датчиків пов'язані не лише із записом параметрів у сенсор, а й з узгодженням цього сенсора з автомобілем.

У повідомленні TPMS-датчика зазвичай передаються кілька основних груп даних: ідентифікатор сенсора, значення тиску, температура, службові біти та контрольна сума. У технічних матеріалах зазначено, що повідомлення прямої TPMS може містити ID датчика, значення тиску, температуру, control bits і CRC

для перевірки цілісності переданих даних [4]. Узагальнену структуру повідомлення TPMS-датчика наведено на рисунку 3.2.

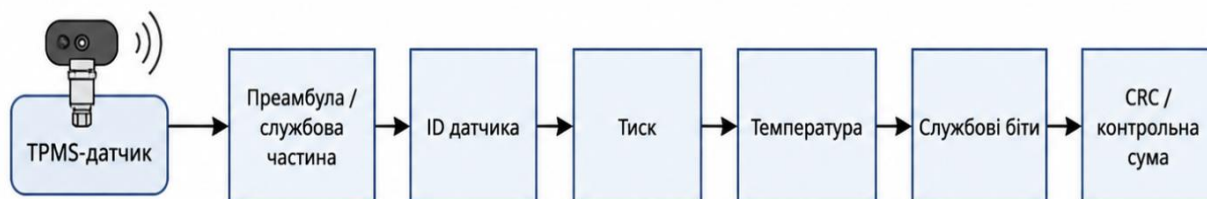


Рисунок 3.2 – Узагальнена структура повідомлення TPMS-датчика

Після приймання такого повідомлення електронний блок керування виконує його декодування та перевірку. Спочатку система визначає ID датчика і порівнює його з переліком зареєстрованих сенсорів. Якщо ідентифікатор збігається з записаним у пам'яті блока керування, дані приймаються до обробки. Після цього аналізуються значення тиску і температури, а контрольна сума використовується для перевірки правильності прийнятого пакета.

Передача даних від датчика до приймального модуля здійснюється по радіоканалу. Для TPMS характерним є використання частот 315 МГц або 433 МГц, а для активації окремих датчиків може застосовуватися низькочастотний сигнал 125 кГц [4]. У процесі програмування універсального TPMS-датчика важливо правильно вибрати не лише модель автомобіля, а й відповідний протокол та частотний діапазон, оскільки помилка в цих параметрах може призвести до того, що автомобіль не розпізнає датчик.

Особливістю TPMS-повідомлень є те, що вони мають невеликий обсяг, але містять критично важливу інформацію для роботи системи безпеки. Дані про тиск дозволяють визначити поточний стан шини, температурні дані можуть використовуватися для компенсації вимірювань або контролю перегріву, а службові біти можуть вказувати на стан батареї, режим роботи або інші параметри сенсора. У сервісних пристроях, таких як Bosch Tire Pressure Analyzer 400, під час перевірки датчиків відображаються дані сенсора, зокрема його ID, параметри вимірювання та стан роботи, що дозволяє оцінити справність датчика перед програмуванням або після налаштування [28].

Таким чином, ідентифікація TPMS-датчиків є основою правильної роботи всієї системи. Кожен датчик повинен мати унікальний ідентифікатор, відповідний протокол передавання та робочу частоту, сумісну з електронною системою автомобіля. Структура переданих даних забезпечує не лише передачу значень тиску і температури, а й перевірку правильності прийому інформації, що є важливим для надійної роботи системи контролю тиску в шинах.

3.3 Способи програмування універсальних TPMS-датчиків

Програмування універсальних TPMS-датчиків застосовується у випадках, коли необхідно замінити несправний або розряджений штатний датчик, підготувати новий комплект коліс або встановити універсальний сенсор замість оригінального. Основна мета програмування полягає в тому, щоб новий датчик передавав дані у форматі, сумісному з електронною системою конкретного автомобіля, та мав правильний ідентифікаційний код.

Універсальні TPMS-датчики відрізняються від оригінальних тим, що до моменту програмування вони не прив'язані до конкретної моделі автомобіля. У пам'ять такого датчика необхідно записати відповідний протокол, робочу частоту та ідентифікатор. Після цього сенсор може виконувати ті самі функції, що й штатний датчик: передавати значення тиску, температури, власний ID та службову інформацію до приймального блока автомобіля [4], [21], [28].

Перед початком програмування в діагностичному пристрої або програматорі вибирають виробника автомобіля, модель, рік випуску та тип системи TPMS. Це необхідно для правильного вибору протоколу обміну даними. Якщо обрати неправильну модель або рік випуску, датчик може бути запрограмований некоректно, внаслідок чого автомобіль не зможе приймати його сигнал або система видаватиме помилку після встановлення.

У практиці обслуговування TPMS застосовується кілька основних способів програмування універсальних датчиків. Перший спосіб – створення нового датчика. У цьому випадку програматор самостійно формує новий унікальний ідентифікатор та записує його разом із потрібним протоколом у

порожній датчик. Такий метод доцільно використовувати тоді, коли старий датчик відсутній або його неможливо зчитати. У Bosch Tire Pressure Analyzer 400 цей режим реалізований як Create New Sensor [28].

Основні режими програмування TPMS-датчиків за допомогою діагностичного пристрою наведено на рисунку 3.4. У сервісній практиці такі режими дають змогу створити новий ідентифікатор датчика, скопіювати ID зі старого сенсора, ввести ідентифікатор вручну або підготувати цілий комплект датчиків для встановлення на автомобіль [28].

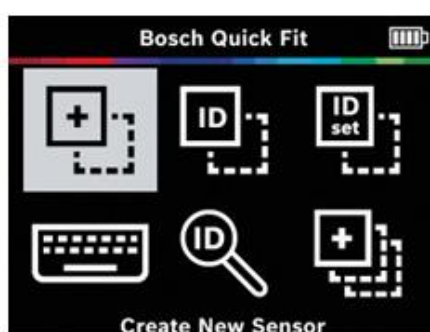


Рисунок 3.3 – Режими програмування TPMS-датчика за допомогою Bosch Tire Pressure Analyzer 400 [28]

Другий спосіб – копіювання ID старого датчика. Цей метод використовується тоді, коли старий датчик ще читається програматором. Спочатку інструмент активує оригінальний датчик і зчитує його ID, після чого цей ідентифікатор записується в новий універсальний сенсор. Перевага такого способу полягає в тому, що автомобіль сприймає новий датчик як уже зареєстрований, оскільки його ID збігається з попереднім. Це дозволяє у багатьох випадках уникнути складної процедури повторного навчання системи [28].

Третій спосіб – ручне введення ID. Він застосовується тоді, коли ідентифікатор старого датчика відомий, наприклад нанесений на корпус сенсора або збережений у діагностичній базі, але сам датчик не активується. У такому випадку сервісний спеціаліст вручну вводить ID у програматор, після чого цей код записується в новий датчик. При використанні цього способу особливо

важливо правильно вказати формат ідентифікатора – десятковий або шістнадцятковий, оскільки помилка навіть в одному символі призведе до некоректної роботи системи [28].

Четвертий спосіб – програмування комплексу датчиків. Він використовується при підготовці нового комплексу коліс, наприклад зимового або літнього. У цьому випадку програматор послідовно створює або копіює ідентифікатори для кількох сенсорів, після чого кожен датчик прив’язується до відповідного положення колеса. Такий підхід спрощує сервісне обслуговування і дозволяє швидше підготувати повний комплект TPMS-датчиків до встановлення.

Окремо можна виділити режим отримання ID з автомобіля. У такому випадку діагностичний пристрій підключається до автомобіля через OBDII та зчитує зареєстровані в електронному блоці керування ідентифікатори датчиків. Далі ці ID можуть бути використані для програмування нових універсальних сенсорів. Такий спосіб особливо корисний, якщо старі датчики фізично недоступні або не відповідають на активацію [28].

Послідовність програмування універсального TPMS-датчика наведено на рисунку 3.4.

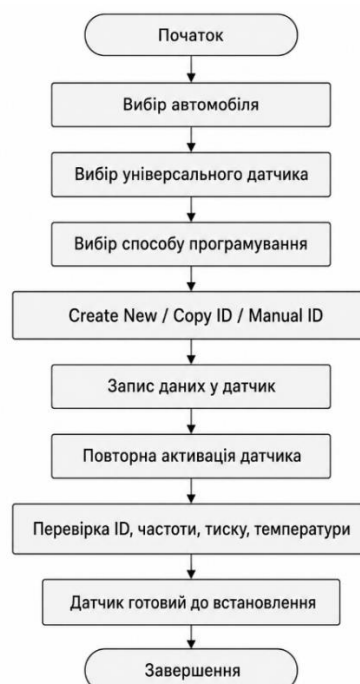


Рисунок 3.4 – Алгоритм програмування універсального TPMS–датчика[28]

Після запису даних у датчик необхідно виконати перевірку результату програмування. Для цього програматор повторно активує сенсор і зчитує його параметри. Якщо датчик коректно відповідає, на екрані пристрою відображаються його ID, частота, тиск, температура та стан елемента живлення. Така перевірка дозволяє переконатися, що датчик правильно запрограмований і готовий до встановлення в колесо.

Важливо враховувати, що програмування датчика і його реєстрація в автомобілі – це не завжди одна й та сама операція. Навіть якщо сенсор успішно запрограмований, електронний блок керування автомобіля повинен розпізнати його ID. Якщо ID було скопійовано зі старого датчика, у деяких випадках додаткове навчання не потрібне. Якщо ж створено новий ID, зазвичай потрібно виконати процедуру relearn або OBD-реєстрацію.

Таким чином, програмування універсальних TPMS-датчиків може виконуватися кількома способами: створенням нового ID, копіюванням ID старого датчика, ручним введенням ідентифікатора або програмуванням повного комплексу сенсорів. Вибір конкретного способу залежить від стану старих датчиків, типу автомобіля, можливостей програматора та вимог електронної системи керування. Найбільш зручним у сервісній практиці є копіювання ID, оскільки воно дозволяє мінімізувати кількість додаткових дій після встановлення нового датчика.

3.4 Реєстрація та навчання датчиків у блоці керування автомобіля

Після програмування TPMS-----датчика важливим етапом є його реєстрація або навчання в електронному блоці керування автомобіля. Навіть якщо новий датчик правильно запрограмований і передає коректні дані, система автомобіля повинна розпізнати його ідентифікатор та пов'язати його з відповідним колесом. Якщо цього не виконати, блок керування може не приймати сигнал від нового сенсора або відображати помилку системи контролю тиску.

У системах прямого контролю тиску кожен датчик має власний

унікальний ID. Саме цей ідентифікатор використовується електронним блоком керування для розпізнавання конкретного сенсора. Після заміни датчика, встановлення іншого комплекту коліс або використання універсального сенсора необхідно забезпечити відповідність між ID датчика і даними, записаними в пам'яті блока керування TPMS. У сервісних матеріалах Bosch зазначено, що після встановлення нового сенсора його ID має бути зареєстрований у TPMS ECU, щоб забезпечити зв'язок між датчиком і автомобілем [28].

У практиці обслуговування TPMS використовують кілька способів навчання датчиків. Перший спосіб – ручне навчання (Manual Relearn). У цьому випадку автомобіль переводиться у спеціальний режим навчання, після чого датчики активуються у визначеній послідовності. Зазвичай така процедура виконується за інструкцією конкретного виробника автомобіля і може включати натискання кнопок, увімкнення запалювання, зміну тиску в шинах або активацію сенсорів спеціальним інструментом.

Другий спосіб – автоматичне навчання (Auto Relearn). У цьому режимі система автомобіля самостійно розпізнає нові датчики після встановлення коліс і певного періоду руху. Такий спосіб зручний тим, що не потребує прямого запису ID через діагностичний роз'єм, однак він залежить від алгоритму конкретного автомобіля. У деяких випадках для завершення автоматичного навчання необхідно проїхати певну відстань із заданою швидкістю, щоб блок керування зміг отримати сигнали від усіх датчиків.

Третій спосіб – OBD-навчання (OBD Relearn). У цьому випадку діагностичний пристрій підключається до автомобіля через роз'єм OBD–II та передає ID датчиків безпосередньо в електронний блок керування. Такий спосіб є одним із найбільш надійних, оскільки дозволяє цілеспрямовано записати ідентифікатори нових сенсорів у пам'ять ECU. У матеріалах Bosch Tire Pressure Analyzer 400 описано, що меню Service TPMS може визначати потрібний тип процедури навчання: Manual Relearn, OBD Relearn або Auto Relearn [28]. Послідовність OBD–навчання TPMS-датчиків наведено на рисунку 3.5.

ПОСЛІДОВНІСТЬ OBD-НАВЧАННЯ TPMS-ДАТЧИКІВ



Рисунок 3.5 – Послідовність OBD-навчання TPMS-датчиків

Під час OBD-навчання спочатку зчитуються або активуються всі датчики, після чого прилад підключається до діагностичного роз'єму автомобіля. Далі відбувається передавання ідентифікаторів у блок керування, після чого система підтверджує успішну реєстрацію. У сервісній документації також зазначається, що при процедурі навчання датчики зазвичай активують у певній послідовності, починаючи з переднього лівого колеса, далі переднє праве, заднє праве, заднє ліве, а за наявності запасного колеса – воно активується останнім [28].

Особливу увагу слід приділяти перевірці відповідності ID датчиків після навчання. Якщо ідентифікатори не збігаються з даними, записаними в електронному блоці, автомобіль може не розпізнати встановлений датчик. У практичних матеріалах по TPMS описано ситуації, коли після заміни коліс або датчиків система продовжує працювати некоректно саме через те, що нові сенсори не були зареєстровані в пам'яті блока керування [22].

Основні способи навчання TPMS-датчиків у системі автомобіля наведено на рисунку 3.6.

Після завершення процедури навчання необхідно виконати контрольну

перевірку. Для цього повторно активують кожен датчик і перевіряють, чи правильно система зчитує його ID, тиск, температуру та стан елемента живлення. Якщо дані приймаються коректно, а на панелі приладів не відображається попередження про несправність TPMS, процедуру навчання можна вважати успішною.



Рисунок 3.6 – Способи навчання TPMS-датчиків у блоці керування автомобіля, розроблено автором на основі [18], [22], [28]

У разі помилки необхідно перевірити правильність вибору автомобіля в програматорі, робочу частоту датчика, формат ID та наявність підтримки відповідного способу relearn.

Таким чином, реєстрація та навчання TPMS-датчиків є обов'язковим етапом після їх програмування або заміни. Ця процедура забезпечує зв'язок між новим датчиком і електронним блоком керування автомобіля. Залежно від конструкції системи можуть використовуватися ручне, автоматичне або OBD-навчання. Найбільш універсальним і контрольованим способом є OBD-навчання, оскільки воно дозволяє безпосередньо записати ідентифікатори датчиків у пам'ять блока керування.

3.5 Перевірка працездатності системи після налаштування

Після програмування TPMS-датчиків та їх реєстрації в електронному блоці керування автомобіля необхідно виконати контрольну перевірку працездатності системи. Метою такої перевірки є підтвердження того, що кожен датчик правильно активується, передає свій ідентифікатор, значення тиску, температуру та службову інформацію, а блок керування автомобіля коректно приймає ці дані.

Першим етапом перевірки є активація кожного TPMS-датчика за допомогою діагностичного пристрою. У сервісній документації Bosch Tire Pressure Analyzer 400 описано функцію Check Sensor, яка дозволяє обрати автомобіль, кількість коліс, потрібне колесо та послідовно зчитати дані з кожного датчика [28]. Під час такої перевірки програматор активує сенсор і відображає результат його зчитування. Якщо датчик справний і правильно відповідає на запит, система фіксує успішне зчитування. Якщо відповіді немає, необхідно повторити перевірку або виконати пошук несправності [28].

Приклад перевірки працездатності TPMS-датчиків за допомогою діагностичного пристрою наведено на рисунку 3.7.

Після зчитування даних необхідно перевірити відповідність отриманого ідентифікатора датчика тому ID, який був запрограмований або записаний у блок керування автомобіля. Якщо ідентифікатор не збігається, система може не розпізнавати встановлений датчик або відображати помилку TPMS. У матеріалах, присвячених роботі систем контролю тиску, зазначається, що після заміни коліс або датчиків помилки можуть виникати саме через відсутність реєстрації нового ID у пам'яті блока керування [22].

Наступним етапом є перевірка вимірюваних параметрів. Для кожного колеса потрібно переконатися, що датчик передає реальне значення тиску, температуру та службову інформацію. Також перевіряється стан елемента живлення датчика, оскільки розряджена батарея може бути причиною нестабільної передачі сигналу або повної відсутності відповіді. У професійних TPMS-інструментах, зокрема Continental TPMS Pro, передбачено зчитування

тиску, температури, ID сенсора та стану батареї, що дозволяє оцінити працездатність датчика перед остаточним завершенням налаштування [18].

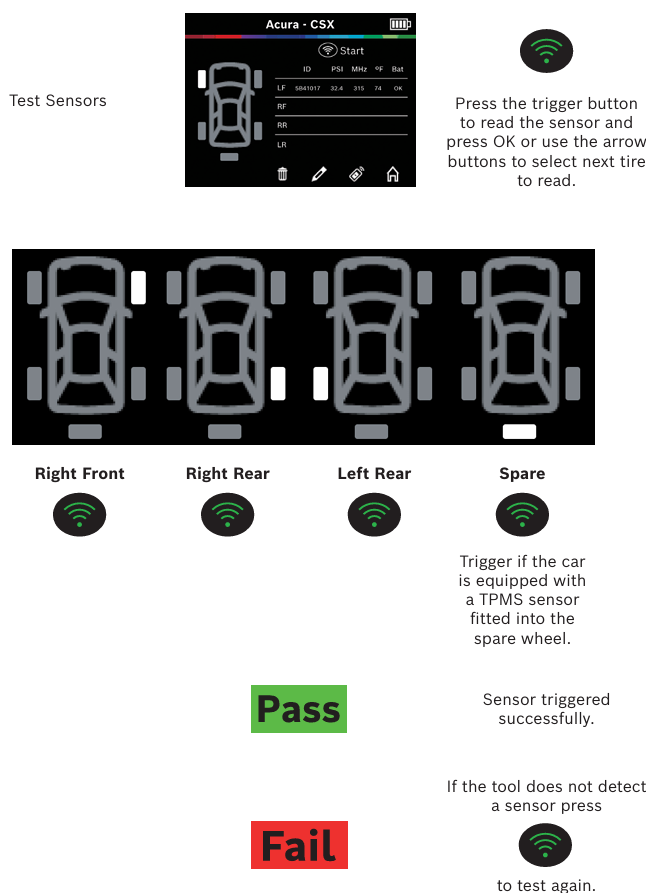


Рисунок 3.7 – Перевірка працездатності TPMS-датчиків за допомогою діагностичного пристрою [28]

Окремо слід перевірити наявність або відсутність діагностичних кодів несправностей. Якщо в пам'яті блока керування зберігаються коди помилок, пов'язані з TPMS, необхідно визначити їх причину. Типовими проблемами можуть бути неправильний вибір марки, моделі або року автомобіля в програматорі, невідповідна робоча частота датчика, помилка у форматі ID, несправність самого сенсора або потреба в оновленні бази програматора [28].

Завершальним етапом перевірки є контроль роботи системи безпосередньо на автомобілі. Після успішного програмування та навчання на панелі приладів не повинно залишатися активного попередження про несправність TPMS. Якщо автомобіль має дисплей із відображенням параметрів

по кожному колесу, необхідно перевірити, чи правильно відображаються значення тиску та чи відповідають вони фактичному стану шин. У разі використання системи з автоматичним навчанням перевірку доцільно виконувати після короткої поїздки, коли блок керування отримає сигнали від усіх датчиків.

Таким чином, перевірка працездатності TPMS після налаштування включає активацію кожного датчика, зчитування ID, тиску, температури та стану батареї, перевірку реєстрації датчиків у блоці керування, аналіз діагностичних кодів та контроль індикації на панелі приладів. Лише після виконання цих дій систему можна вважати правильно налаштованою та готовою до експлуатації.

Для узагальнення розглянутих способів програмування та навчання TPMS-датчиків доцільно порівняти їх за призначенням, перевагами, недоліками та умовами застосування. Порівняльну характеристику основних способів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння способів програмування та навчання TPMS-датчиків

Спосіб	Суть методу	Переваги	Недоліки	Коли застосовується
Створення нового ID	Програматор формує новий ідентифікатор і записує його в універсальний датчик	Можна використати новий чистий датчик без старого сенсора	Часто потребує подальшого навчання системи автомобіля	Коли старий датчик відсутній або не зчитується
Копіювання ID	Ідентифікатор старого датчика зчитується і записується в новий датчик	Автомобіль може сприймати новий датчик як старий, що спрощує заміну	Потрібно, щоб старий датчик зчитувався	При заміні справного, але розрядженого або пошкодженого датчика
Ручне введення ID	ID вводиться вручну в програматор і записується в датчик	Можна використати ID, нанесений на корпус або збережений у пам'яті системи	Високий ризик помилки при введенні символів	Коли старий датчик не активується, але його ID відомий
Програмування комплекту	Одночасна або послідовна підготовка кількох датчиків для комплекту коліс	Зручно для зимового / літнього комплекту коліс	Потрібно правильно прив'язати датчики до позицій коліс	Під час підготовки нового комплекту коліс

Продовження таблиці 3.1

Manual Relearn	Навчання виконується вручну за процедурою виробника автомобіля	Не завжди потребує OBD–підключення	Процедура залежить від конкретної моделі авто	Коли автомобіль підтримує ручне навчання
Auto Relearn	Автомобіль сам розпізнає датчики після встановлення та руху	Мінімум дій з боку користувача	Потрібен рух автомобіля, час навчання залежить від моделі	У системах із підтримкою автоматичного навчання
OBD Relearn	ID датчиків записуються в блок керування через OBD–II	Найбільш контрольований і надійний спосіб	Потрібен діагностичний пристрій і OBD–доступ	Після заміни датчиків або коли потрібна точна реєстрація ID

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Під час аналізу та налагодження електронної системи контролю тиску в шинах можуть виникати такі небезпечні та шкідливі фактори: ураження електричним струмом, термічні опіки при роботі з паяльником, механічні травми при обробці корпусних деталей або монтажі елементів, вплив диму й випарів флюсу тощо.

Оскільки аналізована система використовує низьковольтні електронні компоненти, зокрема датчик тиску, мікроконтролер, радіомодуль і джерело живлення типу CR2032, основна безпека ураження електричним струмом є порівняно невеликою. Проте під час роботи з лабораторними джерелами живлення, зарядними пристроями, паяльним обладнанням і персональним комп'ютером необхідно дотримуватися правил електробезпеки. Забороняється працювати з пошкодженими кабелями, несправними блоками живлення, відкритими струмопровідними частинами та обладнанням із порушеною ізоляцією.

Під час паяння електронних компонентів виникає ризик термічних опіків та вдихання випарів флюсу. Роботи з паяльником потрібно виконувати на спеціально підготовленому робочому місці, використовуючи термостійку підставку, вентиляцію або локальне відведення диму. Не допускається залишати ввімкнений паяльник без нагляду, торкатися нагрітих частин інструмента та розмішувати легкозаймисті матеріали поблизу робочої зони.

Окрему увагу слід приділити умовам робочого середовища. Мікроклімат виробничого або навчального приміщення визначається температурою, відносною вологістю, швидкістю руху повітря та тепловим випромінюванням [31]. Недотримання нормальних параметрів мікроклімату може спричинити втому, зниження концентрації уваги та погіршення працездатності, що особливо небезпечно під час роботи з дрібними електронними компонентами.

Під час використання електроінструментів, вентиляційного обладнання

або лабораторних приладів може виникати виробничий шум. Санітарні норми виробничого шуму встановлюють вимоги до оцінювання шуму, ультразвуку та інфразвуку, що можуть впливати на людину в процесі трудової діяльності [32]. У навчальній лабораторії рівень шуму зазвичай не є значним, однак при тривалій роботі з обладнанням потрібно уникати перевищення допустимого шумового навантаження.

4.2 Заходи безпеки під час монтажу та налагодження системи

Під час монтажу електронної системи контролю тиску в шинах необхідно дотримуватись правил безпечного виконання електромонтажних робіт. Перед початком роботи слід перевірити справність інструменту, цілісність ізоляції проводів, стан лабораторного джерела живлення та відсутність коротких замикань у схемі. Усі монтажні операції необхідно виконувати при вимкненому живленні, а подачу напруги здійснювати лише після візуальної перевірки правильності з'єднань.

Під час налагодження вузла вимірювання тиску необхідно контролювати правильність підключення живлення, сигнального виходу та загальної шини. Неправильне підключення датчика тиску або мікроконтролера може призвести до пошкодження елементів схеми. Особливо важливо не допускати переполюсування джерела живлення, перевищення допустимої напруги та короткого замикання між виводами.

Під час роботи з мікроконтролером і радіомодулем необхідно враховувати можливість пошкодження компонентів електростатичним розрядом. Для зменшення цього ризику доцільно використовувати антистатичний браслет, антистатичний килимок або виконувати розряд статичної електрики перед дотиком до електронних компонентів. Не рекомендується торкатися контактів мікросхем, друкованих плат і роз'ємів без необхідності.

Під час перевірки радіоканалу передачі даних необхідно враховувати, що радіомодуль працює у високочастотному діапазоні. Потужність таких модулів є невеликою, однак їх робота повинна здійснюватися відповідно до технічних

умов, без самовільного збільшення потужності передавача або використання невідповідних антен. Це дозволяє уникнути завад для інших електронних пристроїв і забезпечити стабільну роботу системи.

При роботі з літієвим елементом живлення CR2032 необхідно уникати короткого замикання його контактів, перегріву, механічного пошкодження та неправильного встановлення. Літієві елементи не можна розбирати, заряджати, якщо вони не є акумуляторними, кидати у вогонь або піддавати дії високих температур. Відпрацьовані елементи живлення потрібно утилізувати відповідно до вимог щодо поводження з хімічними джерелами струму.

4.3 Вимоги до робочого місця та організації роботи

Робоче місце для розроблення електронної системи повинно бути достатньо освітленим, чистим і організованим. На столі мають розміщуватися лише необхідні інструменти, електронні компоненти, вимірювальні прилади та документація. Проводи, кабелі живлення та з'єднувальні шлейфи потрібно розташовувати так, щоб вони не заважали роботі та не створювали ризику випадкового зачеплення або короткого замикання.

Освітлення робочого місця повинно забезпечувати чітке розрізнення дрібних елементів, маркування компонентів, контактних майданчиків та провідників. Недостатнє освітлення підвищує ризик неправильного монтажу, помилок при паянні та перевтоми зору. Для роботи з дрібними компонентами доцільно використовувати місцеве освітлення.

Під час виконання робіт необхідно дотримуватись порядку на робочому місці. Забороняється залишати на столі зайві металеві предмети, обрізки дротів, несправні елементи або інструмент, що не використовується. Після завершення роботи необхідно вимкнути живлення обладнання, від'єднати паяльник, прибрати робоче місце та переконатися у відсутності нагрітих або небезпечних предметів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розглянуто та опрацьовано тему розроблення електронної системи контролю тиску в шинах транспортного засобу. У процесі виконання роботи проаналізовано призначення, принципи роботи, нормативні вимоги, технічну будову та практичні особливості програмування і налаштування систем TPMS.

Проведено аналітичний огляд інформаційних джерел щодо систем контролю тиску в шинах. Розглянуто вимоги стандартів UNECE R64 та FMVSS 138, які визначають основні умови роботи TPMS, зокрема виявлення зниження тиску, попередження водія та контроль несправностей системи. Встановлено, що тиск у шинах безпосередньо впливає на безпеку руху, керованість автомобіля, гальмівні властивості, витрату палива та ресурс шин. Також виконано порівняння прямих і непрямих TPMS. Визначено, що прямі системи забезпечують вищу точність і більшу інформативність, оскільки вимірюють фактичний тиск у кожному колесі, тоді як непрямі системи є простішими та дешевшими, але мають обмеження щодо точності та режимів роботи.

Виконано схемне та функціональне проєктування електронної системи контролю тиску в шинах. Запропонована система побудована за принципом прямого вимірювання, тобто передбачає використання сенсорного модуля, який безпосередньо контролює параметри шини. Розроблено загальну структуру системи, функціональну схему, а також розглянуто принципову електричну схему за основними вузлами: вузол вимірювання тиску, мікроконтролерний вузол, радіоканал передачі даних, блок живлення та приймальний модуль. Для вимірювання тиску обґрунтовано застосування п'єзорезистивного датчика типу MPX5700, для обробки сигналів – мікроконтролера ATmega328P, а для бездротової передачі даних – радіоканалу 433 МГц. Описано алгоритм роботи системи, часові діаграми та режими функціонування, зокрема режим вимірювання, обробки, передачі даних і енергозбереження.

Розглянуто питання програмування та налаштування TPMS–датчиків. Визначено, що для правильної роботи системи недостатньо лише фізично

встановити датчик у колесо, оскільки кожен сенсор має власний ідентифікатор, робочу частоту та протокол обміну даними. Проаналізовано структуру повідомлення TPMS-датчика, яка може містити ID сенсора, значення тиску, температуру, службові біти та контрольну суму. Розглянуто основні способи програмування універсальних TPMS-датчиків: створення нового ID, копіювання ID старого датчика, ручне введення ідентифікатора та програмування комплексу сенсорів. Також описано способи навчання датчиків у блоці керування автомобіля, зокрема manual relearn, auto relearn та OBD relearn. Встановлено, що найбільш контрольованим способом реєстрації датчиків є OBD-навчання, оскільки воно дозволяє безпосередньо записати ідентифікатори сенсорів у пам'ять електронного блока керування.

Розглянуто питання охорони праці під час розроблення, монтажу, налагодження та експлуатації електронної системи контролю тиску в шинах. Визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати під час роботи з електронними компонентами, паяльним обладнанням, джерелами живлення, радіомодулями та діагностичними пристроями. Запропоновано заходи безпеки, спрямовані на запобігання ураженню електричним струмом, термічним опікам, пошкодженню компонентів, виникненню пожежонебезпечних ситуацій та негативному впливу умов робочого середовища.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети – обґрунтовано електронну систему контролю тиску в шинах транспортного засобу. Запропоноване рішення поєднує вимірювальний сенсорний вузол, мікроконтролерну обробку даних, бездротову передачу інформації та приймальний модуль із подальшою індикацією стану шин. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшого вдосконалення систем контролю технічного стану автомобіля, а також для практичної реалізації навчального або експериментального зразка TPMS.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. UNECE. Regulation No. 64, Revision 1. United Nations Economic Commission for Europe. URL: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2015/wp29grrf/GRRF-80-35e.pdf> (дата звернення 01.02.2026).
2. National Highway Traffic Safety Administration. Preliminary Economic Assessment, FMVSS No. 138. Washington: NHTSA. URL: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/tirepressure-fmvss-138.pdf> (дата звернення: 02.02.2026).
3. Volkswagen AG. Система контролю тиску в шинах. Volkswagen AG URL: <https://procarmanuals.com/self-study-program-541-tyre-pressure-monitoring-systems-2014-design-function/> (дата звернення: 05.02.2026).
4. Krstic M., Savic N., Kraemer R., Junghans M. Applying Tire Pressure Monitoring Devices for Traffic Management Purposes. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2643-05#core-collateral-purchase-access> (дата звернення: 08.02.2026).
5. О. Л. Просяк Системи управління тиском повітря в шинах, 2022 URL: [https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/5\(36\)_I/33.pdf](https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/5(36)_I/33.pdf)
6. Fraden J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Springer URL: <https://rizkia.staff.telkomuniversity.ac.id/files/2017/11/Handbook-of-modern-sensors-physics-designs-and-applications-Fraden-Jacob-Springer-2016.pdf> (дата звернення 15.02.2026).
7. Коваль В. Основи сенсорики: посібник–конспект. URL: <https://ela.kpi.ua/items/858f1913-a7c9-4130-bd9b-bf570ffa78ae> (дата звернення 02.03.2026).
8. NXP Semiconductors. MPX5700 Pressure Sensor Datasheet. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/188326/FREESCALE/MPX5700.html> (дата звернення 05.03.2026).
9. Bosch Mobility. MEMS Sensors. Robert Bosch GmbH, URL: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/electronic-components/mems-sensors/>

(дата звернення 05.03.2026).

10. NTC Thermistors: Application Note. URL: <https://www.mccsemi.com/pdf/applicationnotes/NTC%20Application.pdf> (дата звернення 07.03.2026).

11. Tire Pressure Monitoring Systems (TPMS). URL: <https://www.nxp.com/applications/TIRE-PRESSURE-MONITORING-SYSTEM-TPMS> (дата звернення 09.03.2026).

12. Bosch Automotive Handbook. Automotive Electrics and Automotive Electronics. Robert Bosch GmbH, URL: https://dev.anvthub.jo/wp-content/uploads/2024/11/Bosch-Automotive-Electrics-and-Automotive-Electronics_Systems-and-Components-Networking-and-Hybrid-Drive-PDFDrive.com-.pdf.

13. Bosch TPMS QUICK FIT Brochure. Robert Bosch GmbH, 2022.

14. Bosch QUICK FIT TPMS Sensors Factsheet / Bosch TPA Materials / Bosch TPA FAQ. Robert Bosch GmbH, 2023.

15. Continental AG. Tire Pressure Monitoring System. Tire Knowledge. URL: <https://www.continental-tires.com/tire-knowledge/tire-pressure-monitoring-system/> (дата звернення 11.03.2026).

16. RockAuto. VDO / Continental SE10003 TPMS Sensor. URL: <https://www.rockauto.com/en/moreinfo.php?pk=5009853> (дата звернення 11.03.2026).

17. Continental AG. TPMS Replacement Parts Catalogue. Continental AG, 2020.

18. Continental AG. TPMS Pro Data Sheet. Continental AG, (дата звернення 11.03.2026).

19. VDO. REDI–Sensor Brochure. (дата звернення 16.03.2026).

20. Schrader Electronics. OE Replacement TPMS Sensors / Schrader Products / AirCheck BLE System. (дата звернення 16.03.2026).

21. Schrader / Sensata. EZ–sensor® 33500 TPMS Sensor Datasheet. (дата звернення 16.03.2026).

22. Лещенко В. П. Системи контролю тиску в шинах. (дата звернення 20.04.2026).

23. Atmel / Microchip Technology. ATmega48P/88P/168P/328P Microcontroller Datasheet. URL: https://heilig.up.krakow.pl/mikrokontrolery/Atmel/ATmega48p_88p_168p.pdf (дата звернення 24.04.2026).

24. Complete Guide for RF 433MHz Transmitter/Receiver Module With Arduino. URL: <https://randomnerdtutorials.com/rf-433mhz-transmitter-receiver-module-with-arduino/> (дата звернення 12.05.2026).

25. Lithium Manganese Dioxide Battery CR2032 Datasheet. URL: <https://data.energizer.com/pdfs/cr2032.pdf> (дата звернення 12.05.2026).

26. Ouldzira H. та ін. Smart Monitoring Information System Based on RF 433 MHz. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2020.

27. RF Superheterodyne Receiver RXB6 Datasheet. URL: https://www.makershop.de/download/rxb6_datasheet.pdf (дата звернення 16.05.2026).

28. Bosch. Tire Pressure Analyzer 400. Diagnostic Device for Tire Pressure Monitoring Systems: Original Instructions. Robert Bosch GmbH, 2025.

29. Закон України «Про охорону праці».

30. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. 2019.

31. ДСТУ EN 61140:2019. Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання. 2019.

32. ДСТУ EN 61010-1:2014. Вимоги щодо безпечності контрольно-вимірювального та лабораторного електричного устаткування. Частина 1. Загальні вимоги. 2014.

33. Motorola / Freescale Semiconductor. MPXY8021A Tire Pressure Monitoring Sensor: Temperature Compensated and Calibrated, Fully Integrated, Digital Output. Motorola Semiconductor Technical Data, URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/188367/FREESCALE/MPXY8021A.html> (дата звернення 21.05.2026).