

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 SMART-систем
(повне найменування кафедри)

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

**ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ
АВТОМОБІЛЯ**

ELECTRONIC VEHICLE COLLISION WARNING SYSTEM

спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Автомобільна електроніка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЛ-41

Вавринюк Юрій Віталійович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Селепина Йосип Романович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту

« » 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Приступа Станіслав Олексійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АННОТАЦІЯ

Вавринюк Ю. В. Електронна система попередження зіткнення автомобіля. Рукопис. Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автомобільна електроніка» спеціальності 171 Електроніка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026. Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

У роботі розглянуто системи попередження зіткнення авто на основі електромагнітного давача. Проведено аналіз сенсорних технологій, що використовуються в автомобільних системах безпеки. Досліджено особливості вибору сенсорних елементів, алгоритмів обробки інформації та методів запобігання зіткненням. Розроблено макетну версію системи на базі мікроконтролера Arduino Uno. Виконано налаштування апаратного та програмного забезпечення системи.

Ключові слова; система попередження зіткнення, електромагнітний давач, Arduino Uno, індуктивний сенсор, сенсорні системи.

ABSTRACT

Vavryniuk Yu. Electronic Vehicle Collision Warning System. Manuscript. Bachelor's Qualification Thesis in the Educational Program «Automobile Electronics», Specialty 171 Electronics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026. The bachelor's qualification thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, and a list of references.

The thesis examines vehicle collision warning systems based on an electromagnetic sensor. An analysis of sensor technologies used in automotive safety systems has been carried out. The study investigates the features of selecting sensing elements, information processing algorithms, and collision avoidance methods. A prototype version of the system based on the Arduino Uno microcontroller has been developed. Hardware and software configuration of the system has been performed.

Keywords: Collision Warning System, Electromagnetic Sensor, Arduino Uno, Inductive Sensor, Sensor Systems.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ.....	8
1.1 Давачі контролю зіткнення.....	8
1.2 Компанія Bosch та її рішення у сфері автомобільних давачів.....	11
1.3 Ультразвукові давачі попередження зіткнення.....	14
1.4 Електромагнітні давачі попередження зіткнення.....	18
1.5 Модернізація електромагнітного давача.....	22
РОЗДІЛ 2 ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ.....	27
2.1 Вибір відповідних давачів.....	27
2.2 Оптимізація алгоритмів обробки інформації.....	32
2.3 Вибір найбільш ефективних методів запобігання зіткненню.....	37
2.4 Тестування та калібрування системи.....	41
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ ЗІТКНЕННЯ.....	44
3.1 Вибір комплектуючих макетної частини.....	44
3.2 Макетна версія системи зіткнення транспортного засобу на базі електромагнітного давача.....	48
3.3 Налаштування та програмна реалізація системи попередження зіткнення на базі Arduino.....	51
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	55
4.1 Виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	55
4.2 Заходи щодо приведення небезпечних виробничих факторів до нормативних вимог.....	56
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення безпеки дорожнього руху є одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасних транспортних технологій. Значна частина дорожньо-транспортних пригод виникає внаслідок несвоєчасного виявлення перешкод або недостатньої реакції водія на зміну дорожньої ситуації. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває створення технічних засобів, здатних своєчасно інформувати водія про наявність потенційно небезпечних об'єктів у зоні руху транспортного засобу.

У даній роботі досліджуються питання проєктування та реалізації системи попередження зіткнення транспортного засобу з використанням електромагнітного датчика. Застосування таких датчиків дозволяє здійснювати безконтактний контроль простору навколо автомобіля та визначати відстань до об'єктів, що можуть становити небезпеку під час руху [13].

Електромагнітні сенсори характеризуються високою ефективністю при виявленні різноманітних перешкод та здатністю функціонувати в умовах обмеженої видимості. Принцип їх роботи базується на використанні електромагнітних полів або хвиль для фіксації присутності сторонніх об'єктів і оцінювання відстані до них. Завдяки цьому такі пристрої можуть успішно застосовуватися для контролю простору поблизу транспортного засобу, виявлення інших автомобілів, дорожніх огорож та інших перешкод [16].

Розроблення систем попередження зіткнення сприяє підвищенню рівня активної безпеки транспортних засобів. Своєчасне інформування водія про небезпечне зближення з об'єктами дозволяє оперативно приймати рішення щодо зміни режиму руху, зменшення швидкості або виконання інших маневрів, щоб уникнути аварій. Таким чином, впровадження подібних систем сприяє зниженню кількості дорожньо-транспортних пригод та мінімізації їх наслідків.

Перспективність використання електромагнітних датчиків також зумовлена можливістю їх інтеграції до сучасних інтелектуальних транспортних систем. У подальшому такі рішення можуть бути складовими комплексів автоматизованого керування транспортними засобами, що реалізують функції

екстреного гальмування, адаптивного регулювання швидкості, підтримання безпечної дистанції та контролю положення автомобіля в межах смуги руху.

Метою роботи є розробка системи попередження зіткнення, здатної здійснювати безперервний моніторинг навколишнього простору за допомогою електромагнітного датчика.

Основні завдання які поставлені в роботі:

- провести аналіз сучасних технологій попередження зіткнень безпеки транспортних засобів;
- розглянути критерії вибору давачів для систем попередження зіткнення та методи їх оптимізації;
- запропонувати макетну версію системи попередження зіткнення на базі Arduino із використанням електромагнітного давача;
- розглянути налаштування та тестування системи;
- проаналізувати небезпечні та шкідливі факторів під час монтажу, налагодження та експлуатації електронних компонентів системи.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та технічні засоби побудови системи попередження зіткнення транспортного засобу на основі електромагнітного давача, а також особливості її апаратної та програмної реалізації на базі платформи Arduino.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання у складніших системах автоматичного керування транспортними засобами. Наприклад, на основі даних, зібраних з електромагнітного датчика, можна розробляти алгоритми автоматичного керування, які можуть активно керувати рухом автомобіля для уникнення зіткнень.

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.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ

1.1 Давачі контролю зіткнення

Давачі контролю зіткнення являють собою електронні пристрої, призначені для виявлення об'єктів та визначення ймовірності їхнього контакту з контрольованим об'єктом у режимі реального часу. Такі пристрої широко застосовуються в автомобільній техніці, робототехнічних комплексах, автоматизованих виробничих системах та інших сферах, де необхідний контроль навколишнього простору. Для реалізації функцій виявлення можуть використовуватися різні типи сенсорів, зокрема ультразвукові, інфрачервоні, радіолокаційні та електромагнітні.

Давачі встановлюються на транспортних засобах, промислових роботах, верстатах та іншому обладнанні з метою контролю положення навколишніх об'єктів і своєчасного реагування на їх наближення. Використання таких пристроїв дозволяє зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій, підвищити рівень безпеки експлуатації обладнання та покращити ефективність технологічних процесів (рис. 1.1).[1]

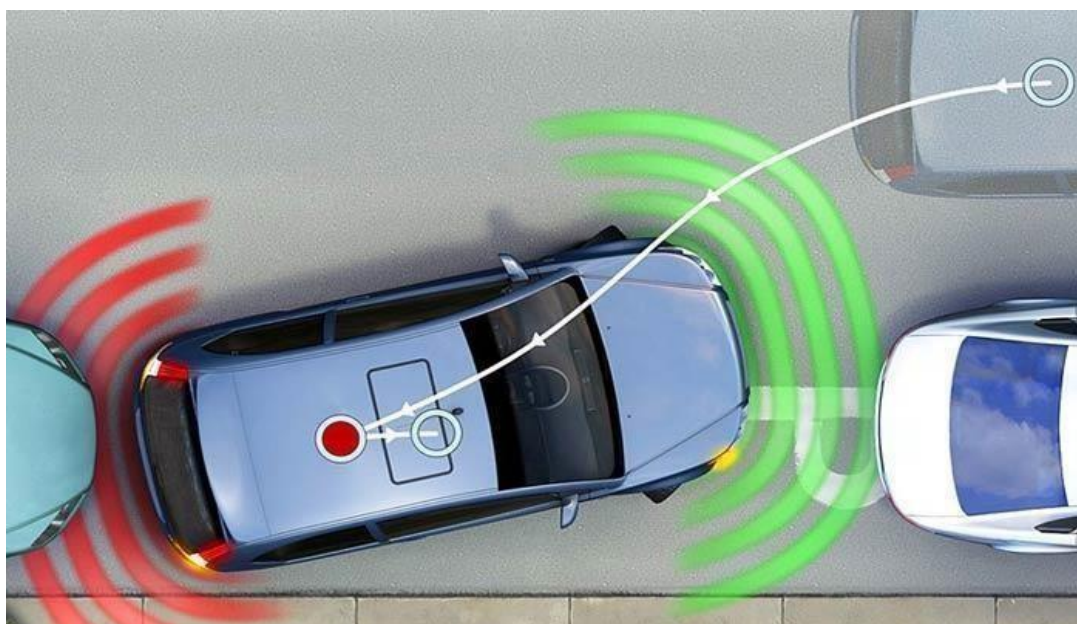


Рисунок 1.1 – Принцип роботи датчика зіткнення [1]

Принцип функціонування давачів зіткнення полягає у фіксації наявності об'єкта в зоні контролю та визначенні його просторового положення. Для цього використовуються різні фізичні явища, серед яких поширення ультразвукових хвиль, зміна параметрів електромагнітного поля, інфрачервоне випромінювання та інші методи дистанційного зондування.

Одним із найбільш розповсюджених різновидів є ультразвукові давачі. Їх робота базується на принципі ехолокації, який передбачає випромінювання ультразвукового сигналу та приймання хвилі, відбитої від поверхні об'єкта. Визначення відстані здійснюється шляхом вимірювання часу проходження сигналу від випромінювача до перешкоди та назад до приймача. Завдяки простоті реалізації та достатній точності такі пристрої широко використовуються в системах допомоги водію та автоматизованих системах керування.

Принцип ехолокації характерний не лише для технічних засобів, а й для живих організмів. Деякі види тварин, зокрема кажани, дельфіни та кити, використовують ультразвукові сигнали для орієнтації у просторі, пошуку їжі та уникнення перешкод. Аналізуючи параметри відбитого сигналу, вони здатні оцінювати відстань до об'єктів, їх розміри та форму. Саме цей природний механізм став основою для створення сучасних ультразвукових систем контролю відстані [17].

Іншим поширеним типом є електромагнітні давачі, функціонування яких ґрунтується на зміні характеристик електромагнітного поля при появі стороннього об'єкта в зоні контролю. Під час потрапляння об'єкта до робочої області відбувається зміна параметрів поля, яка реєструється електронною схемою та використовується для формування сигналу про наявність перешкоди.

Електромагнітне поле є сукупністю взаємопов'язаних електричної та магнітної складових. Електрична компонента виникає внаслідок наявності електричних зарядів, тоді як магнітна утворюється під час їхнього руху. Взаємодія цих складових забезпечує поширення електромагнітних хвиль і створює можливість їх використання для виявлення об'єктів та визначення їхнього положення у просторі (рис. 1.2).

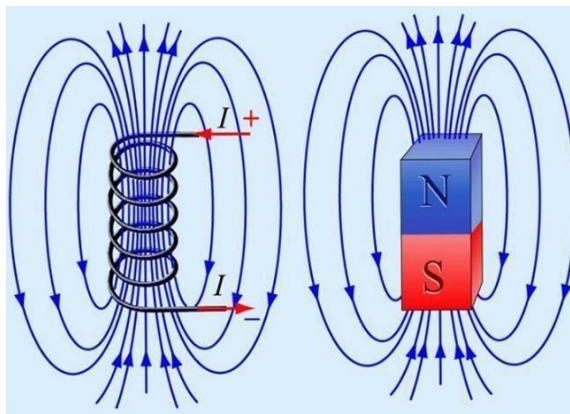


Рисунок 1.2 – Електричне та магнітне поле [17]

Для реалізації систем виявлення перешкод також широко використовуються інфрачервоні давачі. Їх робота базується на реєстрації теплового випромінювання, яке генерується будь-яким тілом з температурою, вищою за абсолютний нуль. При появі об'єкта в зоні дії сенсора змінюється інтенсивність прийнятого інфрачервоного випромінювання, що дозволяє зафіксувати його присутність.

Сучасні інфрачервоні сенсори можуть застосовуватися не лише для виявлення об'єктів, але й для оцінювання напрямку їх переміщення та швидкості руху. Завдяки цим властивостям вони знайшли широке застосування в автомобільних системах безпеки, автоматизованих комплексах контролю доступу, інтелектуальних транспортних системах та системах моніторингу дорожнього руху.

Крім транспортної галузі, інфрачервоні сенсори активно використовуються в побутовій та промисловій автоматизації. Вони входять до складу систем контролю температури, кондиціонування повітря, холодильного обладнання та автоматичного керування освітленням. Реєстрація руху людини дозволяє автоматизувати процеси ввімкнення та вимкнення освітлювальних приладів, що сприяє підвищенню енергоефективності.

Різноманітність сучасних давачів створює можливість побудови комплексних систем попередження зіткнення, у яких інформація надходить одночасно від декількох типів сенсорів. Поєднання даних із різних джерел підвищує точність визначення перешкод, зменшує ймовірність помилкових

спрацювань та забезпечує більш надійне функціонування системи. Подальший розвиток сенсорних технологій спрямований на підвищення точності вимірювань, швидкодії та адаптивності систем безпеки, що сприяє зростанню рівня безпеки транспортних засобів і автоматизованих технічних комплексів..

1.2 Компанія Bosch та її рішення у сфері автомобільних давачів

Bosch є однією з найвідоміших світових технологічних компаній, заснованою німецьким інженером Робертом Бошем у 1886 році. Протягом багатьох років підприємство перетворилося на міжнародний концерн, діяльність якого охоплює широкий спектр галузей, зокрема автомобілебудування, промислову автоматизацію, побутову техніку, енергетичні технології та інформаційні системи (рис. 1.3).

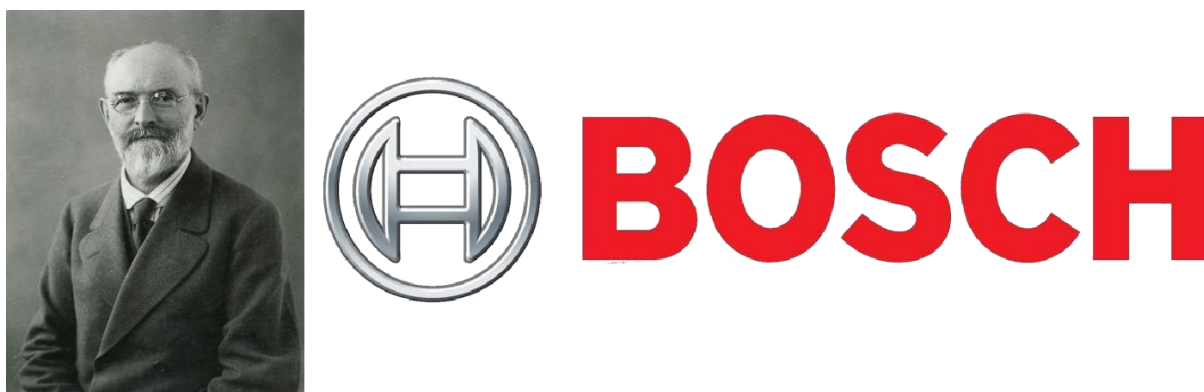


Рисунок 1.3 – Роберт Бош та логотип компанії «Bosch» [7]

Основними напрямками діяльності компанії є проектування та виробництво електронних систем, компонентів для транспортних засобів, промислового обладнання, а також програмного забезпечення для різних сфер застосування. Значна увага приділяється проведенню наукових досліджень і створенню інноваційних технологій, що дозволяє компанії утримувати провідні позиції на світовому ринку.

Особливе місце в асортименті продукції Bosch займають автомобільні компоненти. Компанія розробляє системи активної та пасивної безпеки, електронні блоки керування, системи упорскування палива, антиблокувальні

системи гальмування, засоби контролю стійкості руху, акумуляторні технології та інші високотехнологічні рішення для сучасного транспорту. Окремим напрямом є створення систем моніторингу технічного стану автомобіля та контролю впливу транспортних засобів на навколишнє середовище.

Крім автомобільної галузі, компанія випускає широкий спектр побутових приладів, серед яких пральні машини, посудомийні машини, пиłosоси, кухонна техніка та інше обладнання. Продукція Bosch відома високим рівнем надійності, енергоефективності та впровадженням сучасних технологічних рішень.

Одним із перспективних напрямів діяльності компанії є розробка систем «розумного будинку». Такі системи включають датчики руху, пристрої кліматичного контролю, відеокамери спостереження та інші інтелектуальні пристрої, які дозволяють здійснювати дистанційне керування домашньою інфраструктурою за допомогою мобільних пристроїв.

Важливе значення Bosch приділяє дослідженням у галузі цифрових технологій, зокрема концепції Інтернету речей (IoT), електричного транспорту та автоматизованих систем керування. Результатом таких досліджень є створення інноваційних продуктів, спрямованих на підвищення безпеки, комфорту та ефективності експлуатації технічних систем.

У сфері автомобільної безпеки компанія є одним із провідних виробників давачів зіткнення та систем допомоги водію. Асортимент продукції охоплює як традиційні сенсорні пристрої, так і сучасні електронні системи, призначені для виявлення перешкод, контролю дорожньої обстановки та попередження аварійних ситуацій.

Одним із відомих рішень компанії є давач зіткнення Crash Sensor (рис. 1.4).

Його робота ґрунтується на контролі прискорення транспортного засобу під час удару або різкої зміни швидкості. Отримана інформація передається до електронного блока керування, який аналізує ситуацію та за необхідності активує відповідні системи безпеки, зокрема аварійне гальмування або інші захисні механізми.



Рисунок 1.4 – Crash Sensor (Сенсор Зіткнення) [7]

Для підвищення безпеки під час маневрування та паркування Bosch розробила серію ультразвукових систем, серед яких Park Pilot та Rear Assist (рис. 1.5).

Дані пристрої здійснюють безперервний контроль відстані до навколишніх об'єктів і допомагають водієві точно оцінювати простір навколо автомобіля. Використання таких систем сприяє зменшенню ризику пошкодження транспортного засобу, наїзд на пішохода та підвищує комфорт керування [7].



Рисунок 1.5 – Park Pilot (давач паркування) та Rear Assist (задній давач паркування) [7]

Окрему категорію продукції становлять давачі кута повороту керма, які є важливим елементом систем курсової стійкості автомобіля. Завдяки отриманню інформації про положення рульового колеса електронні системи можуть оперативно коригувати роботу окремих вузлів транспортного засобу, забезпечуючи його стабільний рух у складних дорожніх умовах.

Також компанія виробляє системи контролю тиску в шинах (TPMS), які здійснюють постійний моніторинг стану коліс. Своєчасне виявлення зниження тиску дозволяє запобігти погіршенню керованості автомобіля, підвищити економічність експлуатації та знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із пошкодженням шин [6].

Завдяки високій точності вимірювань, надійності та впровадженню інноваційних технологій продукція Bosch широко використовується в легкових автомобілях, вантажному транспорті та автобусах. Постійне вдосконалення сенсорних систем і комплексів допомоги водію сприяє підвищенню рівня дорожньої безпеки та розвитку сучасних інтелектуальних транспортних технологій.

Таким чином, компанія Bosch займає провідне місце серед виробників автомобільних сенсорних систем і відіграє важливу роль у розвитку технологій попередження зіткнень. Її науково-технічні розробки забезпечують підвищення безпеки дорожнього руху, зменшення кількості аварійних ситуацій та створення передумов для подальшого розвитку автоматизованих транспортних систем [7].

1.3 Ультразвукові давачі попередження зіткнення

Ультразвукові давачі належать до класу безконтактних вимірювальних пристроїв, призначених для визначення відстані до об'єктів та контролю їхнього розташування в просторі. Принцип їхньої роботи базується на використанні ультразвукових хвиль, які поширюються в навколишньому середовищі та відбиваються від поверхні перешкоди. Після випромінювання сигналу давач реєструє відбиту хвилю та визначає часовий інтервал між

передаванням і прийманням імпульсу. Знаючи швидкість поширення ультразвуку в повітрі, система обчислює відстань до об'єкта [6].

Завдяки високій точності та простоті реалізації ультразвукові давачі набули широкого поширення в різних галузях техніки. У промисловості вони використовуються для контролю рівня рідин і сипких матеріалів, автоматизації виробничих процесів, виявлення предметів на конвеєрних лініях та контролю переміщення продукції. В автомобільній сфері такі пристрої застосовуються в системах паркування, контролю дистанції та допомоги водієві під час маневрування. Крім того, ультразвукові технології активно використовуються в медицині для проведення діагностичних досліджень внутрішніх органів і тканин людини.

Популярність ультразвукових сенсорів пояснюється низкою переваг. До основних із них належать висока точність вимірювання, стійкість до впливу кольору та структури поверхні об'єкта, широкий діапазон вимірювань і можливість роботи в різних умовах навколишнього середовища. Такі характеристики забезпечують ефективне використання давачів у системах автоматизованого керування та безпеки.

Функціонування ультразвукових сенсорів ґрунтується на методі визначення часу проходження звукового імпульсу. Після генерації ультразвукової хвилі вона поширюється в середовищі до моменту зустрічі з перешкодою. Відбитий сигнал повертається до приймача, де виконується його аналіз. Вимірний час проходження використовується для розрахунку відстані між давачем і об'єктом (рис. 1.6) [6].

Для аналізу сучасних ультразвукових систем було розглянуто давачі серій UM30-2 та UM18-2 НІ, технічні характеристики яких наведено в таблиці 1.1. Дані пристрої відрізняються діапазоном вимірювання, конструктивним виконанням, набором інтерфейсів та функціональними можливостями, що дозволяє використовувати їх для вирішення широкого спектра практичних завдань [8].



Рисунок 1.6 – Принцип роботи ультразвукового давача

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики давачів UM30-2 та UM18-2 HI [8]

Давач	 UM30-2	 UM18-2 HI
Параметри	Універсальне вирішення завдань	Компактний давач із додатковими функціями
Робочий діапазон, гранична дальність	30 мм... 250 мм, 350 мм 65 мм... 350 мм, 600 мм 200 мм... 1300 мм, 2000 мм 350 мм... 3400 мм, 5 000 мм 600 мм... 6000 мм, 8000 мм	20 мм... 150 мм, 250 мм 30 мм... 250 мм, 350 мм 65 мм... 350 мм, 600 мм 120 мм... 1000 мм, 1300 мм
Розширення	0,18 мм	0,069 мм
Відтворюваність результатів	± 0,15%	± 0,15%

Продовження таблиці 1.1

Огляд інтерфейсів	1 перемикаючий вихід і 1 багатофункціональний вхід, 2 перемикаючі виходи та 1 багатофункціональний вхід, 1 х 4 мА... 20 мА / 0 В... 10 В	1 перемикаючий вихід, ІО- Link та 1 багатофункціональний вхід, 1 х 4 мА... 20 мА та 1 багатофункціональний вхід, 1 х 0 В... 10 В та 1 багатофункціональний вхід
Час відгуку / швидкість видачі результату	50 мс / 8 мс 70 мс / 16 мс 110 мс / 23 мс 180 мс / 43 мс 240 мс / 60 мс	40 мс / 8 мс 40 мс / 8 мс 80 мс / 16 мс 100 мс / 20 мс
Вісь сигналу	Пряма, по корпусу	Пряма, по корпусу, під кутом до корпусу

Сенсори серії UM30 характеризуються універсальністю застосування та значним діапазоном вимірювання, який у деяких модифікаціях досягає 8 м. Конструкція пристроїв передбачає автоматичне врахування температурних змін, що позитивно впливає на точність результатів. Незалежність процесу виявлення від кольору та матеріалу об'єкта, стійкість до забруднення пилом і можливість експлуатації при температурах до 70 °С забезпечують стабільну роботу навіть у складних виробничих умовах.

Давачі серії UM18-2 НІ відзначаються компактними габаритами та розширеним набором функцій. Вони підтримують декілька вимірювальних діапазонів із максимальною дальністю до 1300 мм, що забезпечує гнучкість під час інтеграції в різноманітні автоматизовані системи. Для спрощення монтажу передбачені варіанти виконання з прямим та кутовим розташуванням робочої осі. Важливою особливістю є підтримка різних типів інтерфейсів підключення, зокрема аналогових виходів за струмом і напругою, натисково-витяжних виходів, а також сучасного промислового інтерфейсу ІО-Link [8].

У системах попередження зіткнення ультразвукові давачі виконують важливу функцію контролю простору навколо транспортного засобу. Вони забезпечують своєчасне виявлення перешкод та інформування водія про

небезпечно наближення до них. Найбільшої ефективності такі пристрої досягають у поєднанні з іншими сенсорними технологіями, зокрема радіолокаційними системами та відеокамерами. Комплексне використання декількох типів датчиків підвищує достовірність отриманої інформації та забезпечує більш надійне функціонування систем активної безпеки.

Подальший розвиток ультразвукових технологій спрямований на підвищення точності вимірювань, збільшення швидкодії та покращення адаптації до складних умов експлуатації. Це сприяє вдосконаленню сучасних систем допомоги водію та підвищенню загального рівня безпеки транспортних засобів.

1.4 Електромагнітні датчики попередження зіткнення

Електромагнітні датчики належать до класу сенсорних пристроїв, принцип функціонування яких базується на використанні електромагнітних явищ для виявлення об'єктів та контролю різних фізичних параметрів. Їх робота пов'язана зі створенням електромагнітного поля та реєстрацією змін його характеристик під впливом зовнішніх факторів. Завдяки високій надійності та швидкодії такі пристрої широко застосовуються в сучасних автоматизованих системах керування й контролю.

Сфера використання електромагнітних датчиків охоплює промислове виробництво, транспортні системи, медичне обладнання, науково-дослідні комплекси та інші галузі техніки. За допомогою таких пристроїв здійснюється вимірювання відстані, швидкості переміщення, сили струму, напруги, прискорення, положення об'єктів та багатьох інших параметрів, необхідних для забезпечення ефективного функціонування технічних систем.

Принцип дії більшості електромагнітних датчиків ґрунтується на зміні параметрів магнітного поля, створеного індуктивною котушкою. Під час потрапляння металевого предмета до зони чутливості в ньому виникають вихрові струми, які впливають на характеристики генерованого поля. Зміна амплітуди або частоти коливань реєструється електронною схемою, після чого

формується сигнал про наявність об'єкта (рис. 1.7).

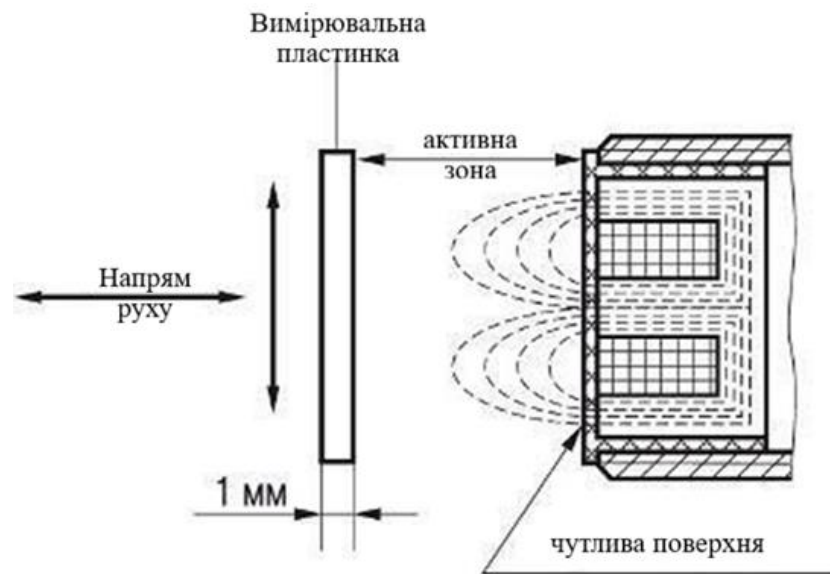


Рисунок 1.7 – Принцип роботи електромагнітного давача [13]

Основною перевагою електромагнітних давачів є висока швидкість реагування та стійкість до впливу зовнішніх факторів. Вони здатні працювати в умовах підвищеної вологості, запиленості, вібрацій та значних перепадів температур, що робить їх ефективним засобом контролю в промисловому середовищі. Водночас важливою особливістю є те, що індуктивні електромагнітні давачі можуть виявляти переважно металеві об'єкти.

До основних переваг електромагнітних сенсорів належать [13]:

- відносно невисока вартість;
- тривалий термін експлуатації;
- висока швидкодія;
- стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища;
- простота інтеграції в системи автоматизації;
- надійність та стабільність роботи.

Конструктивно електромагнітний давач складається з індуктивної котушки, генератора високочастотних коливань, підсилювача сигналу та електронного блока обробки даних (рис. 1.8). Узгоджена робота цих елементів забезпечує точне виявлення металевих об'єктів у межах робочої зони пристрою.

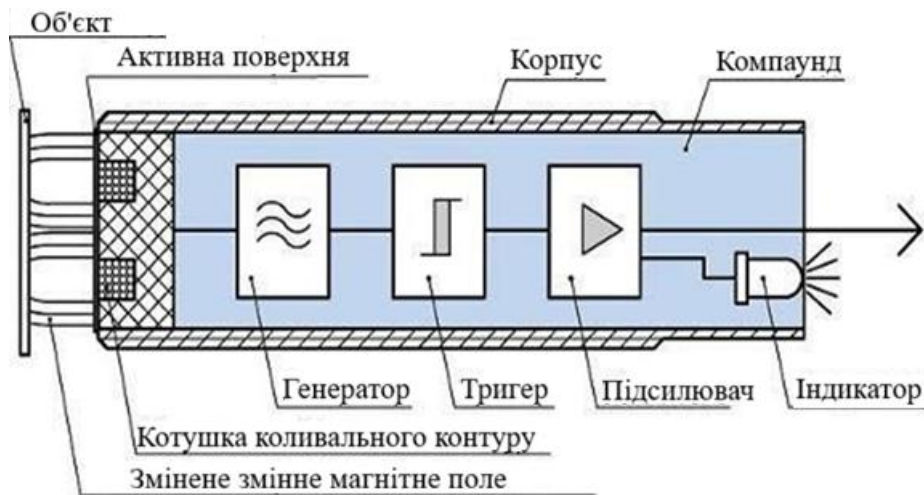


Рисунок 1.8 – Компоненти електромагнітного датчика [13]

Для порівняльного аналізу були розглянуті два індуктивні датчі: Akusense TRN12-04PO та Akusense TRF12-02PO-E2, основні технічні параметри яких наведено в таблиці 1.2. Обидві моделі мають циліндричний корпус із нікельованої латуні, підтримують живлення постійним струмом у діапазоні 10–30 В та оснащені виходом типу PNP. Також пристрої мають вбудований захист від короткого замикання та можуть експлуатуватися при температурах від -25 до $+70$ °С.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики [5]

Датчик		
Назва	Akusense TRN12-04PO	Akusense TRF12-02PO-E2
Матеріал корпусу	нікельована латунь	нікельована латунь
Максимальний робочий струм, I_{max}	180	150
Діапазон робочої напруги, $U_{роб.}$	10... 30 DC (Коливання < 10%)	10... 30 DC (Коливання < 10%)
Тип контакту / Структура виходу	PNP	PNP

Продовження таблиці 1.2

Захист від короткого замикання	Так	Так
Діапазон робочих температур	-25...70	-25...70
Частота циклів оперування f	1000	2000

Давач Akusense TRN12-04PO призначений для безконтактного виявлення металевих предметів на відстані до 4 мм. Конструкція пристрою включає індуктивний чутливий елемент та електронну систему обробки сигналу. Завдяки високій механічній міцності та стійкості до зовнішніх впливів цей сенсор широко використовується в системах автоматизації виробництва, де необхідний контроль положення об'єктів, визначення їх наявності або реєстрація переміщення технологічного обладнання [5].

Модель Akusense TRF12-02PO-E2 також реалізована на основі індуктивного принципу дії, однак має меншу дистанцію спрацьовування, яка становить до 2 мм. Незважаючи на компактні розміри, пристрій забезпечує високу точність виявлення металевих об'єктів та може ефективно використовуватися в автоматизованих системах контролю. Однією з його переваг є можливість безпосереднього підключення до універсальних контролерів із напругою живлення від 10 до 30 В постійного струму, що значно спрощує процес інтеграції в існуючі технічні комплекси [5].

Індуктивний метод вимірювання та контролю неелектричних величин залишається одним із найпоширеніших у сучасній сенсорній техніці. Це обумовлено високою точністю, простотою конструкції, довговічністю та стійкістю до впливу зовнішніх факторів. Залежно від виконання та технічних характеристик електромагнітні давачі можуть застосовуватися в автомобільній, машинобудівній, авіаційній, медичній та науково-дослідній галузях.

У системах попередження зіткнення електромагнітні давачі використовуються для контролю наявності металевих перешкод у безпосередній близькості до транспортного засобу або технологічного

обладнання. Завдяки високій швидкості спрацьовування вони забезпечують оперативне реагування на появу потенційно небезпечних об'єктів та підвищують рівень безпеки експлуатації технічних систем.

Таким чином, електромагнітні давачі є важливим елементом сучасних систем автоматизації та контролю. Їх застосування сприяє підвищенню точності технологічних процесів, надійності обладнання та безпеки роботи різноманітних технічних комплексів.

1.5 Модернізація електромагнітного давача

Удосконалення електромагнітних давачів є одним із перспективних напрямів розвитку сучасних систем попередження зіткнення. Постійне зростання вимог до точності вимірювань, швидкодії та надійності роботи сенсорних систем потребує впровадження нових технічних рішень, спрямованих на покращення експлуатаційних характеристик давачів. Основними напрямками модернізації є збільшення дальності виявлення, підвищення роздільної здатності, розширення зони контролю, удосконалення засобів передачі даних, зниження енергоспоживання та підвищення надійності конструкції.

1. Розширення діапазону виявлення об'єктів. Одним із способів підвищення ефективності електромагнітного давача є збільшення його робочої дальності. Досягти цього можна шляхом підвищення частоти випромінюваного сигналу або оптимізації параметрів передавального тракту (рис. 1.9).

Розширення діапазону вимірювань дозволяє своєчасно виявляти перешкоди на більшій відстані, що є особливо важливим для транспортних систем безпеки.

Разом із тим збільшення частоти випромінювання може спричинити появу додаткових похибок, підвищення чутливості до електромагнітних завад та ускладнення процесу обробки сигналів. Тому під час проєктування необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між дальністю дії та точністю вимірювання [1].

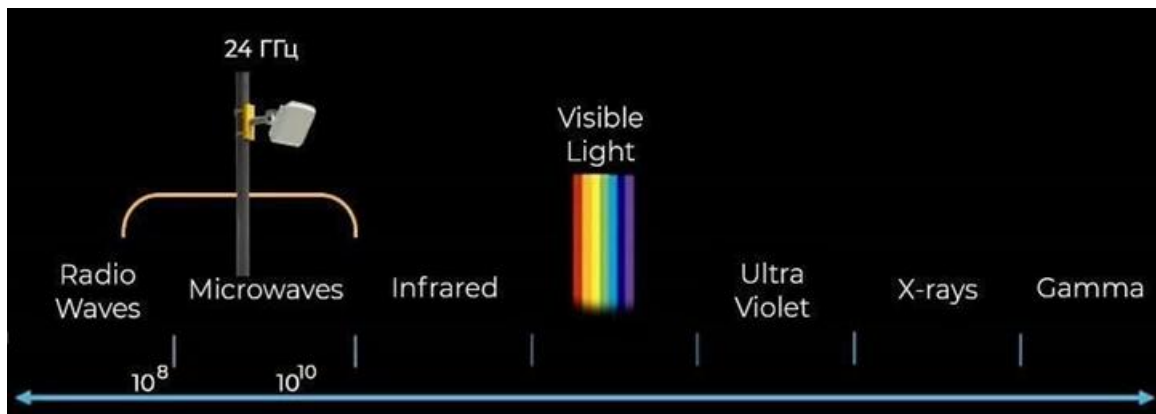


Рисунок 1.9 – Частота випромінювання давачів [1]

2. Підвищення роздільної здатності. Важливою характеристикою будь-якого сенсорного пристрою є його здатність розрізняти близько розташовані об'єкти. Для покращення цього показника доцільно використовувати ширший спектр випромінюваних частот.

Розширення спектрального діапазону дає змогу отримувати більший обсяг інформації про об'єкт та більш точно визначати його координати. Кожна частотна складова взаємодіє з об'єктом по-різному, що дозволяє уточнювати результати вимірювань і покращувати якість визначення відстані.

Однак збільшення ширини спектра може супроводжуватися підвищенням рівня шумів і складністю цифрової обробки даних. У зв'язку з цим необхідно виконувати ретельний вибір параметрів системи для забезпечення оптимального співвідношення між точністю та завадостійкістю.

3. Розширення кута огляду. Однією з актуальних задач модернізації є збільшення області контролю електромагнітного давача. Для цього можуть використовуватися додаткові антени або багатопроменеві системи випромінювання (рис. 1.10) [10].

Застосування декількох антен дозволяє суттєво розширити сектор контролю навколишнього простору та підвищити ефективність виявлення об'єктів. Іншим перспективним рішенням є використання технології множинного випромінювання, за якої одночасно формується декілька спрямованих променів. Такий підхід збільшує площу покриття та покращує якість моніторингу навколишнього середовища.

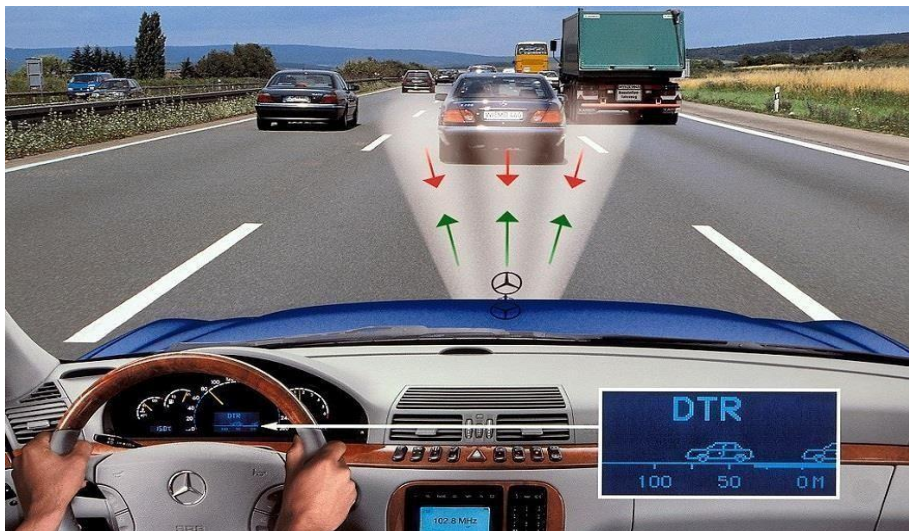


Рисунок 1.10 – Кут огляд сучасних давачів [10]

Розширення кута огляду особливо важливе для транспортних засобів, оскільки дозволяє зменшити кількість так званих «сліпих зон» та підвищити рівень безпеки руху.

4. Удосконалення інтерфейсів обміну даними. Сучасні системи контролю потребують швидкої передачі інформації між сенсором та іншими елементами системи. Для розширення функціональних можливостей доцільним є впровадження бездротових інтерфейсів зв'язку, таких як Bluetooth, Wi-Fi або GPS-модулів.

Використання Bluetooth забезпечує оперативну передачу даних на мобільні пристрої користувача. Технологія Wi-Fi дозволяє здійснювати віддалений моніторинг та керування системою через локальні або глобальні мережі. Інтеграція GPS-приймачів створює можливість визначення географічного положення сенсора та використання отриманих даних у навігаційних і геоінформаційних системах.

Крім апаратних удосконалень, перспективним напрямом є використання сучасних алгоритмів аналізу даних, які дозволяють автоматично виявляти аномалії, розпізнавати характерні ситуації та підвищувати точність роботи системи.

5. Зниження енергоспоживання. Підвищення енергоефективності є важливим завданням при створенні автономних сенсорних систем. Одним із можливих рішень є впровадження режимів енергозбереження, які переводять

пристрій у стан зниженої активності за відсутності об'єктів у зоні контролю.

Додатково можуть застосовуватися алгоритми адаптивного керування потужністю випромінювання, що автоматично змінюють рівень енергії залежно від умов експлуатації. Перспективним напрямом є використання сучасних літій-іонних джерел живлення, які забезпечують високу енергетичну щільність та тривалий термін автономної роботи.

Також суттєвий вплив на споживання енергії має конструкція пристрою. Оптимізація теплових режимів та покращення систем охолодження дозволяють зменшити втрати енергії та підвищити загальну ефективність роботи давача.

6. Підвищення надійності конструкції. Надійність є однією з ключових вимог до сенсорних систем, що працюють у складних умовах експлуатації. Для її підвищення необхідно використовувати якісні електронні компоненти, стійкі до механічних навантажень, температурних коливань та впливу навколишнього середовища [11].

Важливим напрямом модернізації є вдосконалення конструкції корпусу. Підвищення герметичності дозволяє захистити внутрішні елементи від пилу, вологи та агресивних речовин. Для додаткового захисту можуть використовуватися спеціальні ізоляційні та антикорозійні покриття.

Перспективним рішенням є застосування сучасних композитних матеріалів, зокрема карбонових конструкцій, які поєднують високу міцність, невелику масу та стійкість до зовнішніх впливів (рис. 1.11).

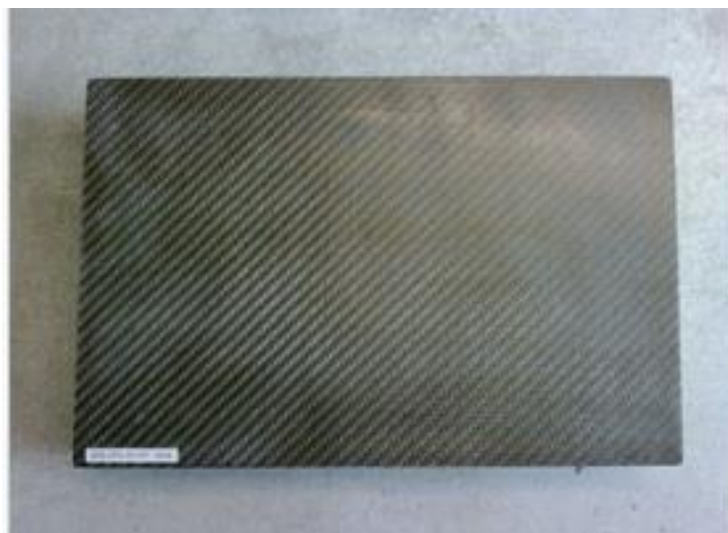


Рисунок 1.11 – Карбоновий матеріал для виготовлення давачів [11]

Не менш важливим етапом є організація контролю якості на всіх стадіях виробництва. Проведення випробувань готових виробів дозволяє своєчасно виявляти дефекти та забезпечувати стабільність технічних характеристик сенсорних пристроїв.

Для будь-якого давача існує теоретична залежність між величиною вхідного впливу та параметрами вихідного сигналу. В ідеальному випадку вихідна характеристика повністю відповідає б реальному значенню контрольованої величини без похибок і спотворень. Така залежність може бути представлена у вигляді математичної моделі, графічної характеристики або таблиці калібрувальних значень. Аналіз відхилень реальних параметрів від теоретичних дозволяє оцінити якість роботи давача та визначити напрями його подальшого вдосконалення.

Отже, модернізація електромагнітних давачів є важливою складовою розвитку сучасних систем попередження зіткнення. Удосконалення характеристик дальності дії, точності вимірювань, енергоефективності, засобів зв'язку та конструктивної надійності дозволить створювати більш ефективні сенсорні системи, здатні забезпечувати високий рівень безпеки транспортних засобів та інших технічних об'єктів.

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕННЯ

2.1 Вибір відповідних давачів

Проектування систем попередження зіткнення транспортних засобів на основі електромагнітних давачів є одним із важливих напрямів розвитку сучасних засобів активної безпеки. Такі системи призначені для своєчасного виявлення об'єктів, розташованих у зоні руху автомобіля, та формування попереджувальних сигналів у разі виникнення потенційно небезпечної ситуації. Ефективність функціонування системи значною мірою залежить від правильного вибору сенсорних елементів і врахування їхніх технічних характеристик.

Під час вибору давачів для систем попередження зіткнення необхідно аналізувати низку параметрів, серед яких особливе значення мають робоча частота, дальність виявлення, сектор огляду, точність визначення координат об'єкта, швидкодія та стійкість до зовнішніх завад. Одним із ключових параметрів є робоча частота сенсора. Її значення визначає компроміс між точністю вимірювання та максимальною дальністю виявлення об'єктів. Зі збільшенням частоти покращується точність визначення відстані та швидкості руху об'єктів, однак одночасно зменшується ефективна дальність дії системи через більший рівень поглинання сигналу навколишнім середовищем (рис. 2.1).

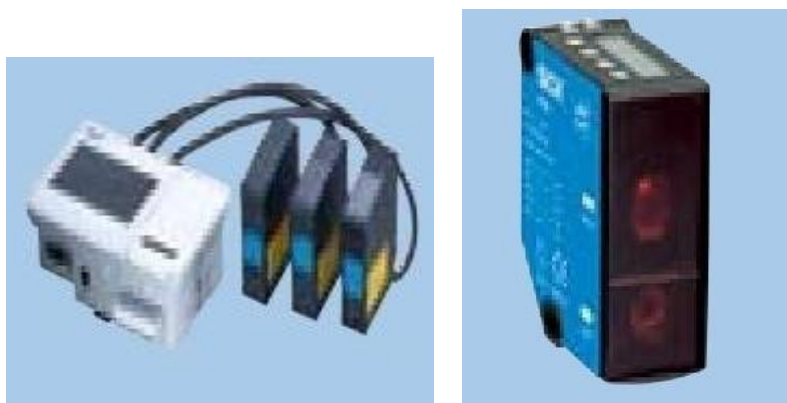


Рисунок 2.1 – Приклади електромагнітних давачів 1 – високоточний 0D Precision; 2 – оптичний DT20 HI [8]

Для оцінювання характеристик було проведено порівняння давачів OD Precision та DT20 HI за частотою вимірювання і діапазоном контролю. Результати наведено в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Порівняння частоти вимірювання

	Високоточний давач OD Precision	Оптичний давач відстані DT20 HI
Частота виміру	10 кГц 1,25 кГц	400 кГц 200 кГц

Високочастотні сигнали характеризуються меншою довжиною хвилі, тому більшою мірою піддаються впливу атмосферних явищ та сторонніх перешкод. Дощ, туман, пил або інші об'єкти можуть послаблювати сигнал, що негативно впливає на максимальну дальність виявлення.

Однією з найважливіших характеристик сенсорної системи є дальність вимірювання. Від цього параметра залежить можливість своєчасного виявлення перешкод і формування попереджувальних повідомлень для водія. Тому для систем безпеки доцільно використовувати давачі, які забезпечують достатній запас дальності контролю відповідно до умов експлуатації транспортного засобу.

Таблиця 2.2 – Порівняння діапазону вимірювання

	Високоточний давач OD Precision	Оптичний датчик відстані DT20 HI
Діапазон вимірів	250 мм ... 450 мм 300 мм ... 700 мм	100 мм ... 600 мм 100 мм ... 1000 мм

Не менш важливим параметром є кут огляду. Він визначає площу простору, яку здатний контролювати давач. Збільшення кута огляду сприяє розширенню контрольованої зони та підвищенню ефективності виявлення потенційно небезпечних об'єктів. Разом із тим надмірно широкий сектор огляду може призводити до збільшення кількості хибних спрацьовувань через фіксацію сторонніх об'єктів, які фактично не становлять загрози.

Для покращення оглядовості часто застосовується декілька давачів,

розташованих у різних частинах транспортного засобу. Такий підхід дозволяє мінімізувати «сліпі зони» та забезпечити більш повний контроль навколишнього простору. Водночас використання декількох сенсорів ускладнює структуру системи та підвищує її вартість.

Важливими характеристиками також є точність визначення відстані та швидкості переміщення об'єктів. Високі значення цих параметрів безпосередньо впливають на ефективність роботи системи попередження зіткнення та її здатність своєчасно реагувати на зміни дорожньої обстановки.

Для визначення відстані сучасні електромагнітні давачі використовують принципи радіолокації або лазерного зондування. У радарних системах відстань розраховується за часом проходження радіохвилі до об'єкта та назад. Лідарні системи працюють за аналогічним принципом, але використовують лазерне випромінювання. Висока точність таких вимірювань досягається завдяки значній роздільній здатності сенсорів та швидкій обробці сигналів.

Порівняння часу реакції давачів OD Precision і DT20 HI наведено в таблиці 2.3. Менший час відгуку забезпечує швидше реагування системи на зміну дорожньої ситуації, що є важливою перевагою для систем активної безпеки [8].

Таблиця 2.3 – Порівняння часу відгуку

	Високоточний давач OD Precision	Оптичний датчик відстані DT20 HI
Час відгуку	0,1 мс 0,8 мс	1 мс /8,5 мс /32,5 мс 5 мс /20 мс /80 мс

Для визначення швидкості рухомих об'єктів використовується ефект Доплера (рис. 2.2). Його сутність полягає у зміні частоти відбитого сигналу залежно від напрямку та швидкості руху об'єкта. Якщо об'єкт наближається до давача, частота прийнятого сигналу збільшується, а при віддаленні — зменшується. Аналіз цих змін дозволяє визначати швидкість переміщення з високою точністю.

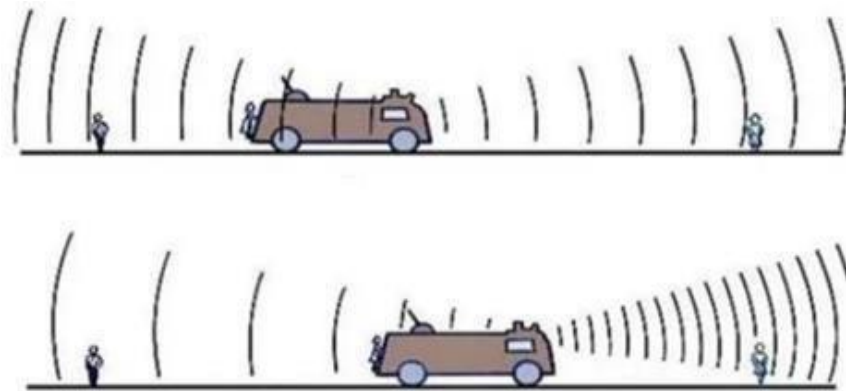


Рисунок 2.2 – Ефект Доплера [17]

Під час розроблення системи необхідно враховувати вплив зовнішніх факторів, які можуть погіршувати якість вимірювань. До таких факторів належать електромагнітні завади, вібрації транспортного засобу, зміни температури та інші умови експлуатації. Наявність перешкод може призводити до спотворення сигналів і появи помилок у процесі виявлення та класифікації об'єктів.

Для підвищення завадостійкості використовуються різноманітні методи фільтрації. Спеціалізовані електронні фільтри дозволяють придушувати небажані сигнали та покращувати співвідношення сигнал/шум. Додатково застосовуються засоби екранування, які обмежують вплив зовнішніх електромагнітних полів на чутливі елементи системи.

Значний вплив на точність роботи можуть чинити механічні коливання, що виникають під час руху автомобіля. Для компенсації їхнього впливу використовуються алгоритми цифрової обробки сигналів, які дозволяють відокремлювати корисну інформацію від вібраційних складових.

Окрему увагу необхідно приділяти захисту сенсорів від механічних пошкоджень. Під час експлуатації транспортного засобу давачі можуть зазнавати впливу ударів, дорожнього сміття, вологи та інших несприятливих факторів.

З метою підвищення довговічності їх доцільно встановлювати в захищених місцях конструкції автомобіля, наприклад усередині бампера або в корпусах зовнішніх дзеркал (рис. 2.3).

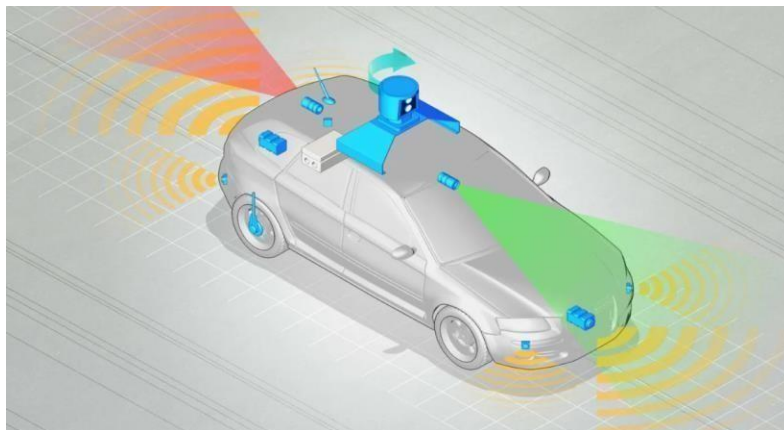


Рисунок 2.3 – Електромагнітні давачі, встановлені всередині бампера [6]

Крім конструктивного захисту, важливу роль відіграє вибір сенсорів із високим ступенем захисту від пилу, вологи та механічних навантажень. Навіть за умови використання надійних компонентів необхідно проводити регулярне технічне обслуговування системи та контроль справності її елементів.

Для оцінки можливості експлуатації давача DT20 Ні в різних умовах навколишнього середовища було проаналізовано його кліматичні характеристики, які наведені в таблиці 2.4. Давач має ступінь захисту IP65, може працювати в широкому температурному діапазоні, характеризується достатньою вібростійкістю та удароміцністю відповідно до міжнародних стандартів.

Таблиця 2.4 – Умови навколишнього середовища [8]

Параметр	Оптичний давач відстані DT20 Ні
Ступінь захисту	IP 65
Клас захисту	II
Температура довкілля	Діапазон робочих температур: $-20^{\circ}\text{C} \dots +55^{\circ}\text{C}$ Діапазон температур зберігання: $-40^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$
Температурний дрейф	0,25 мм/К
Типові параметри безпечного освітлення	Штучне світло: ≤ 3000 лк Сонячне світло: $\leq 10\,000$ лк
Вібростійкість	EN 60068-2-6/-2-64
Удароміцність	EN 60068-2-27/-2-29

Таким чином, правильний вибір давачів та реалізація комплексу заходів щодо захисту від зовнішніх впливів є важливою умовою створення ефективної

системи попередження зіткнення. Раціональний підбір характеристик сенсорів дозволяє забезпечити високу точність виявлення об'єктів, стабільність роботи системи та підвищення рівня безпеки транспортного засобу.

2.2 Оптимізація алгоритмів обробки інформації

Однією з найважливіших складових систем попередження зіткнення є підсистема обробки інформації, яка забезпечує аналіз даних, отриманих від сенсорних пристроїв, та формування відповідних керувальних рішень. Після виявлення об'єктів у навколишньому середовищі система повинна в реальному масштабі часу визначити їхнє положення, швидкість переміщення та напрямок руху. Від швидкодії та точності алгоритмів обробки значною мірою залежить ефективність функціонування всієї системи безпеки транспортного засобу.

Для аналізу інформації, що надходить від датчиків, використовуються спеціалізовані алгоритми цифрової обробки сигналів та даних. На основі результатів аналізу формується оцінка дорожньої ситуації, визначається рівень потенційної небезпеки та обирається оптимальний спосіб реагування. Отримані результати можуть використовуватися для попередження водія або автоматичного керування окремими системами транспортного засобу.

Особливе значення має оптимізація алгоритмів обробки інформації. Недостатня швидкість виконання обчислень може призвести до запізнення реакції системи на небезпечну ситуацію, тоді як надмірна чутливість або неправильне налаштування алгоритмів здатні спричинити хибні спрацьовування та необґрунтовані керувальні дії.

Основні показники продуктивності датчика відстані DT20 HI наведено в таблиці 2.5. Аналіз характеристик показує, що пристрій забезпечує швидкість видачі результатів менше 2,8 мс та підтримує широкий набір функцій налаштування, що дозволяє адаптувати його до різних умов експлуатації [14].

Підвищення ефективності обробки даних може здійснюватися різними способами. До найбільш поширених методів належать удосконалення програмного коду, використання високопродуктивних алгоритмів цифрової

обробки сигналів, оптимізація структур даних та застосування сучасних методів пригнічення шумів. При цьому необхідно враховувати вимоги до швидкодії системи, точності вимірювань і обчислювальні можливості апаратної платформи.

Таблиця 2.5 – Продуктивність електромагнітного давача відстані DT20 HI

Параметр	Значення
Швидкість видачі результату виміру	<2,8 мс
Джерело світла	Лазер червоний
Додаткові функції	Встановлення усереднення переміщення: швидко / помірно / повільно Режим перемикавання: відстань до об'єкта (DtO)
	Навчання перемикаючого виходу Інвертований перемикаючий вихід Навчання аналогового виходу Інвертований аналоговий вихід
	Багатофункціональний вхід: вимкнення лазера, зовнішнє навчання, вимкнено
	Блокування інтерфейсу користувача

Для прискорення математичних обчислень можуть використовуватися алгоритми швидкого перетворення Фур'є (FFT), які забезпечують ефективний аналіз спектральних характеристик сигналів. Також доцільним є застосування алгоритмів пошуку оптимальних маршрутів та обробки графових структур даних, зокрема алгоритму Флойда-Воршелла, який використовується для визначення найкоротших шляхів між вузлами складних систем [14].

Важливим етапом обробки інформації є усунення шумів та випадкових спотворень сигналів. Для цього використовуються різні методи цифрової фільтрації, серед яких широке поширення отримали фільтри Калмана, адаптивні фільтри та фільтри нижніх частот.

Фільтр нижніх частот є одним із базових засобів обробки сигналів. Його призначення полягає у пропусканні корисних низькочастотних складових та пригніченні високочастотних шумів, що дозволяє покращити якість отриманих даних (рис. 2.4). Найпростішим прикладом реалізації такого фільтра є RC-коло,

яке широко використовується в електронних пристроях.

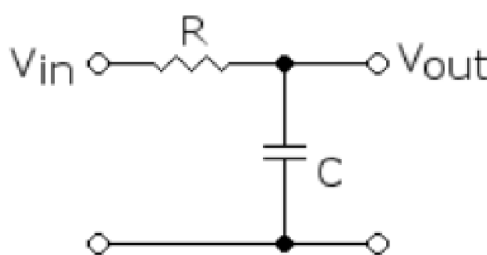


Рисунок 2.4 – Фільтр нижніх частот побудований у вигляді RC-кола

Під час проєктування систем попередження зіткнення особливу увагу приділяють забезпеченню високої швидкості реагування. Для транспортних засобів, що рухаються з великими швидкостями, навіть незначна затримка в обробці інформації може суттєво вплинути на безпеку руху. Тому алгоритми повинні забезпечувати максимально швидке прийняття рішень за збереження необхідної точності.

Сучасні системи все частіше використовують технології штучного інтелекту та машинного навчання. Такі методи дозволяють автоматично аналізувати великі обсяги даних та формувати рішення без участі людини. Вибір конкретного алгоритму залежить від функціонального призначення системи та поставлених завдань.

Для визначення рівня небезпеки можуть застосовуватися алгоритми класифікації. Їх основне завдання полягає в розподілі виявлених об'єктів на потенційно небезпечні та безпечні категорії. Серед найбільш поширених методів класифікації використовуються метод опорних векторів, дерева рішень, графові алгоритми та штучні нейронні мережі (рис. 2.5. та рис. 2.6) [15].

Метод опорних векторів забезпечує побудову оптимальної межі між різними класами об'єктів, що дозволяє ефективно виконувати їх розпізнавання навіть за наявності складних умов спостереження. Графові методи, у свою чергу, використовуються для аналізу взаємозв'язків між об'єктами та моделювання складних структур даних.

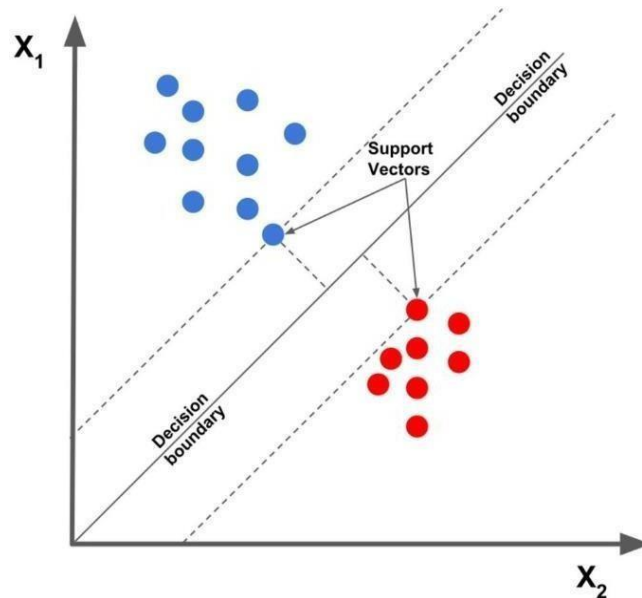


Рисунок 2.5 – Приклад реалізації методу опорних векторів [12]

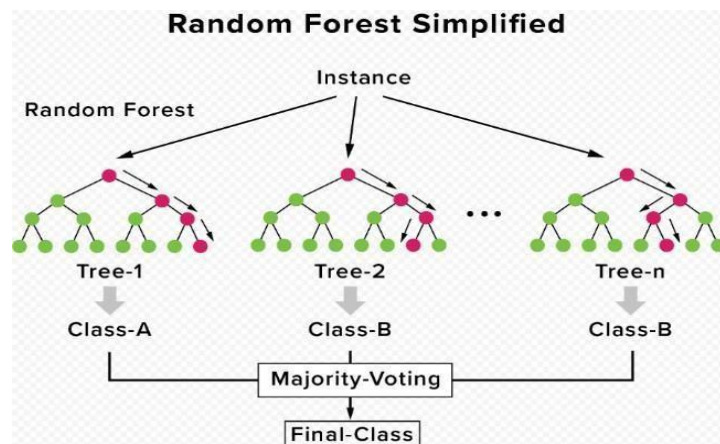


Рисунок 2.6 – Приклад використання методу дерева рішень [12]

Важливим напрямом є також застосування алгоритмів розпізнавання образів. Вони дозволяють ідентифікувати тип виявленого об'єкта, оцінити його характеристики та визначити оптимальний маневр для уникнення небезпечної ситуації. Наприклад, після виявлення транспортного засобу система може розрахувати його швидкість, траєкторію руху та прогнозоване положення через певний проміжок часу (рис. 2.7).

Для реалізації таких функцій використовуються методи комп'ютерного зору, аналіз контурів об'єктів, а також сучасні нейромережеві технології, здатні виконувати розпізнавання складних образів із високою точністю.

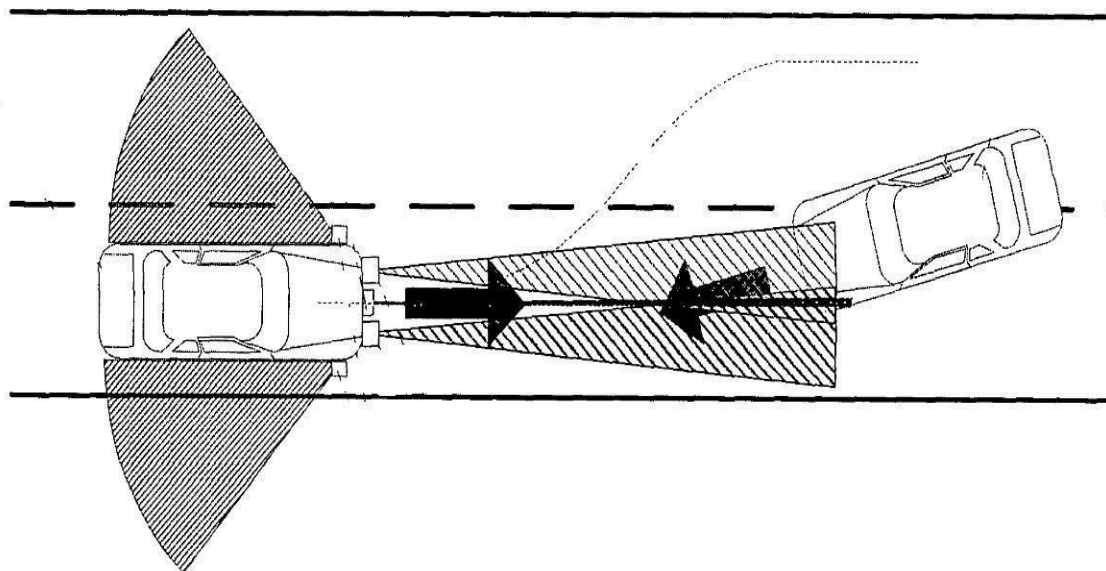


Рисунок 2.7 – Схема спрацьовування датчика, що розрахував маневр автомобіля, що рухається на зустріч [15]

Додатковим напрямом оптимізації є вдосконалення алгоритмів пригнічення шумів. Для підвищення достовірності розпізнавання можуть використовуватися гаусові, медіанні та інші цифрові фільтри, які забезпечують очищення сигналів від випадкових перешкод та покращують якість аналізу інформації.

Для скорочення часу обробки великих масивів даних у сучасних системах застосовуються спеціалізовані апаратні засоби. До них належать графічні процесори (GPU), цифрові сигнальні процесори (DSP) та інші високопродуктивні обчислювальні модулі. Завдяки можливості паралельного виконання значної кількості операцій вони суттєво підвищують швидкодію системи та забезпечують обробку інформації в режимі реального часу.

Таким чином, оптимізація алгоритмів обробки інформації є одним із визначальних факторів ефективності систем попередження зіткнення. Використання сучасних методів цифрової обробки сигналів, технологій машинного навчання та високопродуктивних обчислювальних засобів дозволяє підвищити точність виявлення об'єктів, зменшити кількість хибних спрацьовувань і забезпечити своєчасне реагування на потенційно небезпечні ситуації.

2.3 Вибір найбільш ефективних методів запобігання зіткненню

Одним із ключових напрямів підвищення рівня безпеки транспортних засобів є впровадження ефективних методів запобігання дорожньо-транспортним пригодам. Сучасні системи активної безпеки формуються як багаторівневі комплекси, що поєднують функції раннього виявлення небезпеки, інформування водія та автоматичного втручання в процес керування автомобілем. Їх головним призначенням є зменшення ймовірності виникнення аварійних ситуацій та мінімізація наслідків можливих зіткнень (рис. 2.8) [12].



Рисунок 2.8 – Автоматичне гальмування та попереджувальний сигнал на панелі

Однією з найпоширеніших технологій є система автоматичного екстреного гальмування (Automatic Emergency Braking, AEB). Її робота базується на використанні комплексу сенсорів і засобів моніторингу навколишнього середовища, які здійснюють безперервний контроль дорожньої обстановки та виявляють потенційно небезпечні об'єкти. У разі виникнення загрози система здатна самостійно ініціювати зниження швидкості руху або повну зупинку транспортного засобу, що дозволяє уникнути зіткнення або суттєво зменшити силу удару.

Для функціонування системи AEB застосовуються різноманітні типи давачів, зокрема радари, лідари, відеокамери та електромагнітні сенсори.

Радіолокаційні пристрої забезпечують визначення відстані до об'єктів, лідари формують тривимірну модель навколишнього простору, камери виконують розпізнавання дорожньої ситуації, а електромагнітні давачі використовуються для контролю близьких зон навколо автомобіля.

Після виявлення перешкоди система аналізує її розташування, швидкість руху транспортного засобу та інші параметри, на підставі чого формується рішення щодо необхідності втручання. В залежності від рівня небезпеки може застосовуватися часткове або повне гальмування. Якщо водій уже почав виконувати гальмування, система здатна підсилити його ефективність або продовжити процес уповільнення у разі недостатньої реакції (рис. 2.9).

Практика використання АЕВ підтверджує високу результативність даної технології у зниженні кількості дорожньо-транспортних пригод. Саме тому більшість сучасних автовиробників інтегрують її до базового або додаткового оснащення своїх моделей.

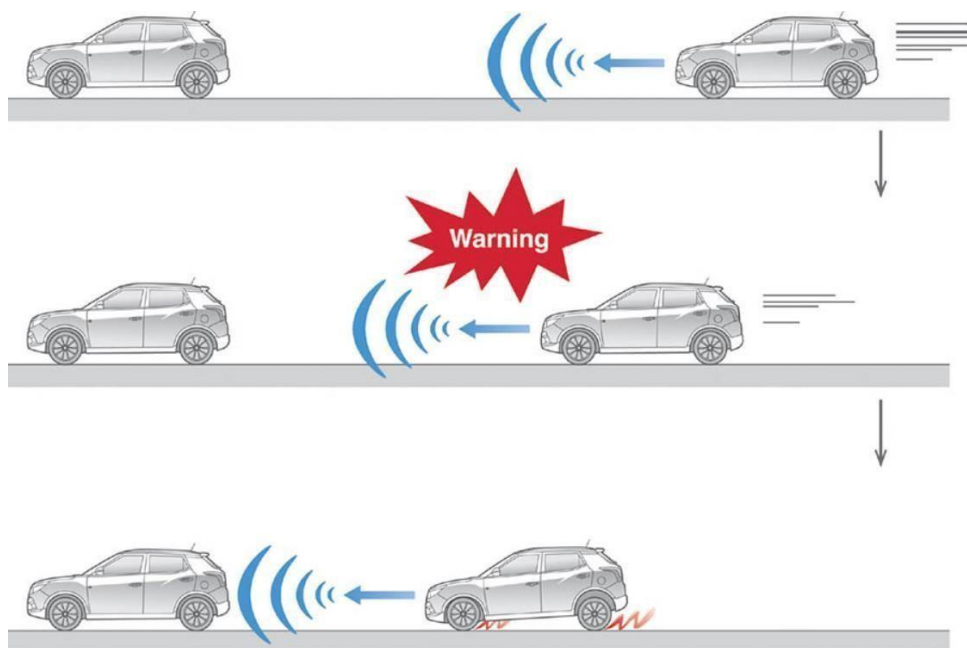


Рисунок 2.9 – Спрацювання системи АЕВ (Automatic Emergency Braking) [6]

Ще одним важливим елементом активної безпеки є система попередження про можливе фронтальне зіткнення (Forward Collision Warning, FCW). Її основним завданням є своєчасне інформування водія про наближення до небезпечного об'єкта або виникнення ризику аварійної ситуації. Для цього

використовуються візуальні повідомлення на панелі приладів, звукові сигнали та тактильні сповіщення, зокрема вібрація кермового колеса (рис. 2.10).

У більшості випадків система FCW працює спільно з автоматичним екстреним гальмуванням. Якщо водій не реагує на попередження або його реакція є недостатньо швидкою, керування ситуацією може бути передано системі АЕВ, яка виконає необхідні дії для уникнення зіткнення. (рис. 2.11).

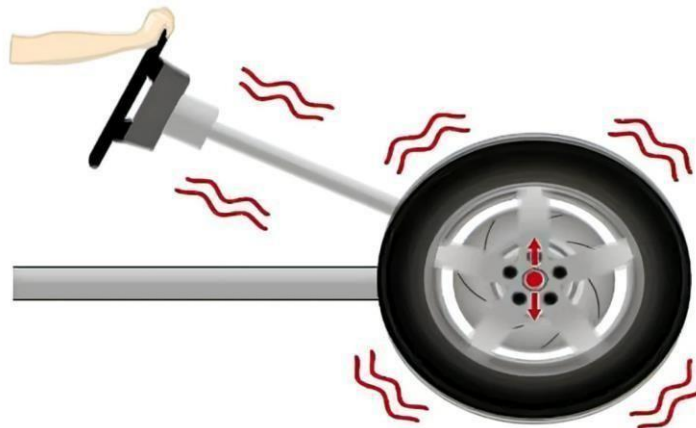


Рисунок 2.10 – Вібрація керма [6]

Крім того, технологія FCW може інтегруватися із системами адаптивного круїз-контролю. У такому випадку транспортний засіб автоматично підтримує безпечну дистанцію до об'єктів попереду шляхом регулювання швидкості руху відповідно до дорожньої ситуації.

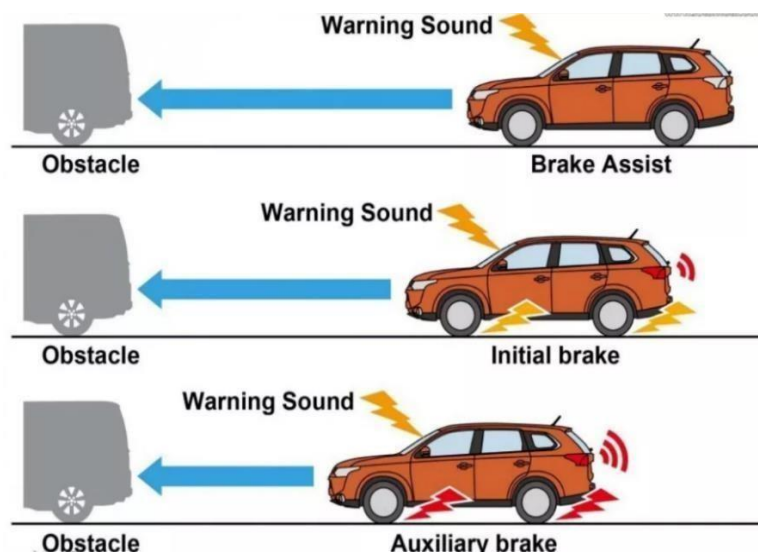


Рисунок 2.121 – Спрацювання системи та АЕВ [6]

Важливе місце серед сучасних засобів активної безпеки займає система утримання автомобіля в межах смуги руху (Lane Keeping Assist, LKA). Її призначення полягає у запобіганні ненавмисному виїзду транспортного засобу за межі дорожньої розмітки, що є однією з поширених причин аварій.

Функціонування системи ґрунтується на постійному контролі положення автомобіля відносно дорожньої смуги за допомогою відеокамер та спеціалізованих датчиків. У разі виявлення відхилення від заданої траєкторії водій отримує відповідне попередження у вигляді звукового сигналу, світлової індикації або вібрації керма.

Якщо реакція водія відсутня, система може самостійно виконати коригування курсу шляхом короткочасного впливу на рульовий механізм, повертаючи автомобіль у межі смуги руху. Такий підхід дозволяє суттєво знизити ризик виникнення аварій через втому водія або втрату концентрації уваги (рис. 2.12).

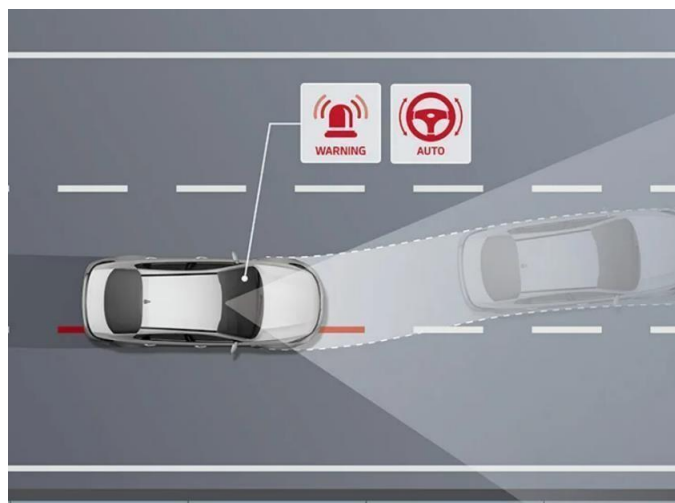


Рисунок 2.12 – Система утримання смуги [6]

Більш сучасні реалізації системи LKA здатні аналізувати дорожню ситуацію комплексно та оцінювати доцільність зміни смуги руху. У випадку виявлення потенційної небезпеки, пов'язаної з наближенням до іншого транспортного засобу або перешкоди, система може рекомендувати виконання безпечного маневру перестроювання.

Таким чином, вибір методів запобігання зіткненням є одним із

визначальних етапів проєктування сучасних систем безпеки транспортних засобів. Поєднання технологій автоматичного гальмування, попередження про небезпеку та утримання смуги руху дозволяє створювати комплексні рішення, що забезпечують високий рівень захисту водія, пасажирів і інших учасників дорожнього руху. Комплексне використання таких систем сприяє підвищенню надійності транспортних засобів та зниженню аварійності на дорогах.

2.4 Тестування та калібрування системи

Важливими складовими процесу розроблення системи попередження зіткнень є її тестування та подальше калібрування. Дані етапи дають змогу оцінити працездатність розробленого рішення, перевірити коректність функціонування окремих компонентів та забезпечити необхідний рівень точності під час експлуатації в реальних дорожніх умовах. Основним завданням тестування є визначення ефективності роботи системи в різноманітних експлуатаційних сценаріях.

Для всебічної оцінки функціональних можливостей системи проводяться випробування за різних умов руху та на дорогах різних типів. Під час тестових перевірок можуть застосовуватися спеціальні манекени, які моделюють поведінку пішоходів, велосипедистів або транспортних засобів, а також реальні об'єкти, характерні для дорожньої інфраструктури. Випробування виконуються як на спеціалізованих полігонах, так і на дорогах із контрольованими умовами руху. (рис. 2.13).

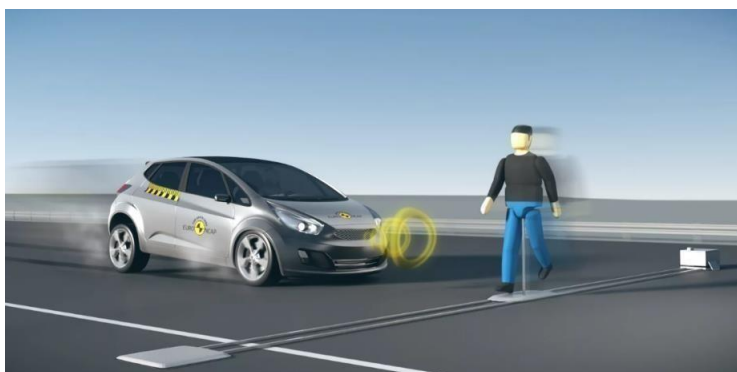


Рисунок 2.13 – Тестування системи запобігання зіткненню [11]

Особлива увага приділяється перевірці роботи системи в типових та критичних дорожніх ситуаціях. Зокрема, аналізується її здатність виявляти рухомі об'єкти, до яких належать автомобілі, мотоцикли та велосипедисти, а також стаціонарні перешкоди, наприклад припарковані транспортні засоби, дорожні огороження або бордюри. Такий підхід дозволяє оцінити рівень адаптивності системи до різних умов експлуатації.

Під час проведення випробувань також враховуються несприятливі зовнішні фактори, що можуть впливати на якість роботи сенсорної системи. До таких факторів належать атмосферні опади, туман, недостатня освітленість, ожеледиця, сніговий покрив та інші складні погодні умови. Додатково досліджується реакція системи на зміну швидкості руху транспортного засобу та варіацію відстані до потенційно небезпечних об'єктів.

Після завершення випробувань виконується процедура калібрування, метою якої є налаштування параметрів системи для досягнення максимальної точності та стабільності роботи. Калібрування може здійснюватися як у лабораторних умовах із використанням спеціалізованого обладнання, так і безпосередньо під час експлуатаційних випробувань транспортного засобу. (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Система часткового цифрового калібрування для камери та радара (системи допомоги водієві) LM8328 [11]

Лабораторне калібрування забезпечує можливість детальної перевірки характеристик давачів та алгоритмів обробки інформації в контрольованому

середовищі. Водночас найбільш об'єктивні результати досягаються під час калібрування в реальних дорожніх умовах, де враховується вплив великої кількості зовнішніх чинників, характерних для повсякденної експлуатації автомобіля.

У процесі налаштування можуть коригуватися такі параметри, як чутливість сенсорів, дальність виявлення об'єктів, порогові значення спрацювання системи та швидкість її реакції на небезпечні ситуації. Крім того, виконується оптимізація алгоритмів аналізу даних, що дозволяє підвищити точність розпізнавання перешкод та мінімізувати кількість хибних спрацювань.

Необхідною умовою якісного калібрування є його виконання кваліфікованими спеціалістами, які володіють відповідними знаннями щодо будови та принципів функціонування систем активної безпеки. Помилки під час налаштування можуть призвести до зниження ефективності роботи системи, некоректного визначення загроз та виникнення потенційно небезпечних ситуацій під час руху.

Таким чином, тестування та калібрування є невід'ємними етапами створення систем попередження зіткнень. Комплексне проведення випробувань і точне налаштування всіх функціональних компонентів забезпечують високу надійність роботи системи, підвищують ефективність виявлення небезпек та сприяють покращенню безпеки дорожнього руху загалом.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ ЗІТКНЕННЯ

3.1 Вибір комплектуючих макетної частини

Для реалізації макета системи попередження зіткнення транспортного засобу було здійснено підбір апаратних компонентів, які забезпечують виконання функцій виявлення перешкод, обробки інформації, керування виконавчими механізмами та передачі даних. Вибір елементної бази здійснювався з урахуванням технічних характеристик, надійності роботи та сумісності між окремими вузлами системи.

1. Модуль керування двигунами L298N. Одним із ключових елементів макетної конструкції є драйвер двигунів L298N, призначений для керування електродвигунами постійного струму та кроковими двигунами. Основою модуля є інтегральна схема типу Н-мосту, яка забезпечує зміну напрямку обертання двигуна та регулювання його швидкості (рис. 3.1) [9].

Основними перевагами модуля є можливість одночасного керування двома незалежними каналами, що дозволяє реалізувати диференціальне керування рухом мобільної платформи. Максимальний струм навантаження становить до 2 А на кожен канал, що забезпечує сумісність із більшістю малогабаритних електродвигунів. Робоча напруга живлення знаходиться в межах від 5 до 35 В, що дозволяє використовувати різні джерела живлення. Для регулювання швидкості обертання передбачена підтримка широтно-імпульсної модуляції, завдяки якій можна плавно змінювати режим роботи двигунів.

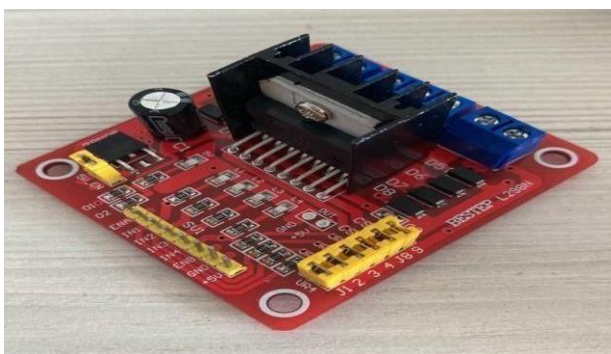


Рисунок 3.1 – Драйвер двигуна L298N [9]

2. Мікроконтролерна плата Arduino Uno. Центральним елементом системи керування обрано плату Arduino Uno, яка побудована на базі мікроконтролера ATmega328P. Дана платформа широко використовується у навчальних, дослідницьких та промислових проєктах завдяки простоті програмування та значній кількості доступних периферійних інтерфейсів [3].

Мікроконтролер оснащений 32 кБ флеш-пам'яті для зберігання програмного коду, 2 кБ оперативної пам'яті SRAM та 1 кБ енергонезалежної пам'яті EEPROM. Тактова частота процесора становить 16 МГц, що забезпечує достатню продуктивність для реалізації алгоритмів керування та обробки сигналів від давачів (рис. 3.2).

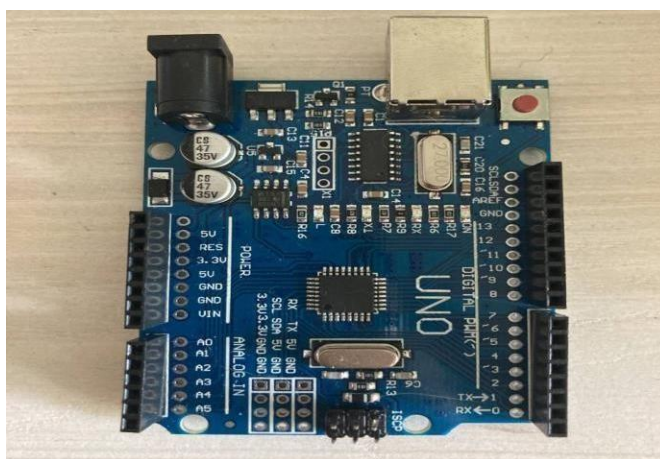


Рисунок 3.2 – Arduino Uno [3]

Плата містить 14 цифрових входів-виходів, серед яких шість підтримують генерацію ШІМ-сигналів, а також шість аналогових входів. Такі можливості дозволяють підключати широкий спектр виконавчих механізмів, сенсорів і комунікаційних модулів. Рекомендований діапазон напруги живлення становить 7–12 В. Для програмування та обміну даними використовується вбудований USB-інтерфейс, що значно спрощує процес налагодження пристрою.

Важливою перевагою Arduino Uno є сумісність із великою кількістю модулів розширення та підтримка програмування за допомогою середовища Arduino IDE, яке базується на мовах програмування C/C++.

3. Плата розширення для Arduino Uno. Для спрощення монтажу

електронних компонентів використовується плата розширення Arduino Uno Shield. Її застосування дозволяє суттєво збільшити кількість доступних роз'ємів підключення та підвищити зручність інтеграції додаткових модулів у систему (рис. 3.3).

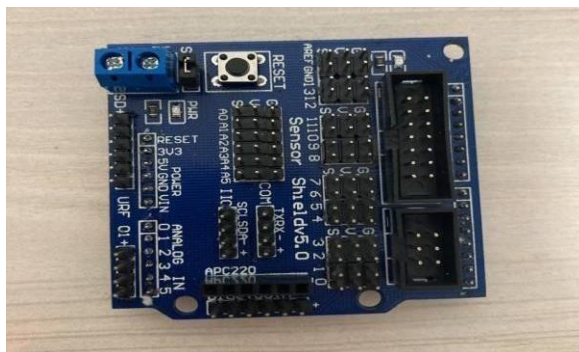


Рисунок 3.3 – Плата розширення для Arduino Uno [3]

Подібні плати встановлюються безпосередньо на Arduino через стандартні штирьові роз'єми та можуть містити додаткові функціональні вузли. Залежно від модифікації вони забезпечують підтримку бездротового зв'язку, керування двигунами, підключення сенсорів та інших периферійних пристроїв. Окрім цього, окремі моделі плат розширення оснащуються системами стабілізації напруги, захистом від перевантажень та іншими допоміжними схемами.

4. Бездротовий модуль HC-06. Для організації дистанційного обміну даними між мобільною платформою та зовнішніми пристроями застосовується Bluetooth-модуль HC-06. Даний модуль забезпечує бездротовий зв'язок через протокол Bluetooth і широко використовується в робототехнічних системах та пристроях автоматизації (рис. 3.4) [4].

HC-06 функціонує в режимі Slave, тобто виконує роль підлеглого пристрою, який очікує на встановлення з'єднання з боку головного пристрою, наприклад смартфона чи персонального комп'ютера. Типова дальність стабільного зв'язку становить близько 10 м. Модуль підтримує стандарт Bluetooth 2.0, що забезпечує достатню швидкість передачі інформації при невисокому рівні енергоспоживання.



Рисунок 3.4 – Bluetooth-модуль HC-06 [4]

5. Індуктивний давач LJ12A3-4-Z/BX. Для реалізації функції виявлення металевих перешкод використовується індуктивний давач LJ12A3-4-Z/BX типу NPN NO. Його принцип роботи базується на зміні параметрів електромагнітного поля під час наближення металевого об'єкта до активної зони чутливості (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Індуктивний давач LJ12A3-4-Z/BX NPN NO (нормально відкритий) [3]

Індуктивні давачі характеризуються високою надійністю, швидкодією та стійкістю до впливу пилу, вологи й механічних навантажень. Модель LJ12A3-4-Z/BX забезпечує безконтактне виявлення металевих предметів на невеликій відстані та формує дискретний вихідний сигнал.

Тип виходу NPN NO означає, що за відсутності об'єкта на виході підтримується високий логічний рівень, тоді як при виявленні металевого предмета сигнал переходить у низький логічний стан. Робоча напруга живлення знаходиться в межах від 6 до 36 В постійного струму. Корпус пристрою виготовляється з металу або ударостійкого пластику, що забезпечує його захист від зовнішніх впливів під час експлуатації.

У таблиці 3.1 наведено перелік комплектуючих, використаних під час складання макетного зразка системи попередження зіткнення.

Таблиця 3.1 – Склад макетної конструкції

Кількість	Найменування
1 шт.	основна плата управління Uno R3
1 шт.	плата розширення Uno R3 V5.0
1 шт.	USB кабель Uno R3
1 шт.	чотириканальний інфрачервоний модуль відстеження (давач лінії)
1 шт.	модуль драйвера для двигуна L298N
1 шт.	сервопривід SG90
1 шт.	ультразвуковий далекомір HC-SR04
4 шт.	колеса для роботизованої машини
4 шт.	мотор-редуктор (1:48) з чорним та червоним проводом
1 шт.	модуль Bluetooth HC-06
1 шт.	макетна плата 180 пікселів
1 шт.	батарейний відсік 4xAA
1 шт.	індуктивний давач LJ12A3-4-Z/BX NPN NO

Таким чином, обрана сукупність апаратних засобів забезпечує реалізацію всіх необхідних функцій експериментального зразка системи попередження зіткнення. Використання доступних та сумісних компонентів дозволяє створити надійну платформу для дослідження алгоритмів виявлення перешкод, аналізу отриманих даних та перевірки ефективності роботи системи безпеки транспортного засобу.

3.2 Макетна версія системи зіткнення транспортного засобу на базі електромагнітного давача

Для практичної перевірки працездатності запропонованої системи було розроблено експериментальний макет, що імітує функціонування транспортного засобу з інтегрованою системою попередження зіткнення. Конструкція макета включає виконавчі, керувальні та вимірювальні елементи, об'єднані в єдину інформаційно-керувальну систему.

До складу макетного комплексу входять чотири мотор-редуктори з колесами, мікроконтролерна плата Arduino Uno, драйвер керування двигунами L298N, плата розширення, модуль бездротового зв'язку Bluetooth HC-06, індуктивний електромагнітний давач, ультразвуковий далекомір та автономне джерело живлення. Загальний вигляд зібраного макета наведено на рисунку 3.6.

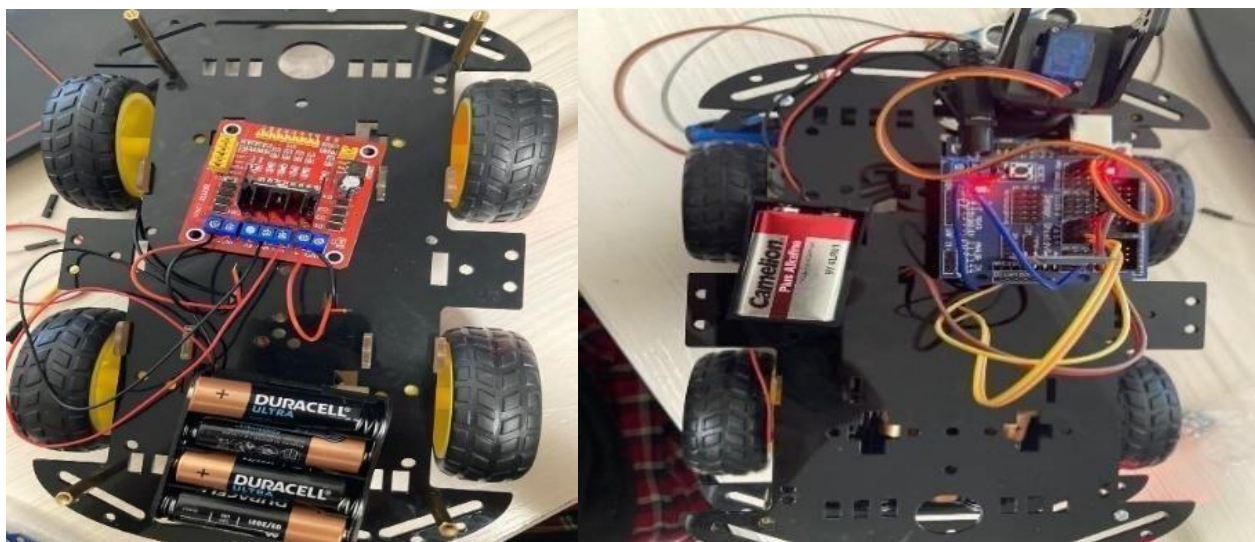


Рисунок 3.6 – Макетна частина

Основною функцією розробленої системи є виявлення потенційних перешкод у зоні руху транспортного засобу та формування відповідних керувальних сигналів для зміни режимів руху. Для реалізації цієї функції мікроконтролер здійснює постійне опитування давачів, аналізує отримані дані та формує команди для драйвера двигунів.

Структурна схема електричних з'єднань між основними вузлами системи наведена на рисунку 3.7. Вона демонструє взаємодію між мікроконтролером, виконавчими механізмами та інформаційними давачами. Окрема схема підключення індуктивного давача показана на рисунку 3.8, що дозволяє детально проаналізувати процес передавання сигналу від сенсорного елемента до контролера.

Під час функціонування системи індуктивний давач виконує контроль наявності металевих об'єктів у зоні виявлення, тоді як ультразвуковий давач

забезпечує визначення відстані до навколишніх перешкод. Поєднання двох різних принципів вимірювання підвищує достовірність отриманих результатів та зменшує ймовірність помилкових спрацьовувань.

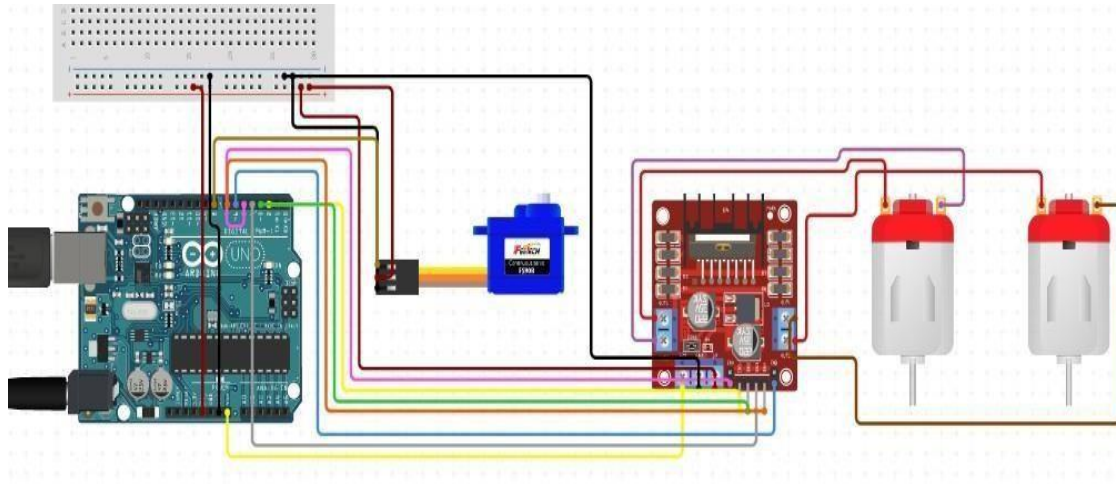


Рисунок 3.7 – Схема підключення плат [2]

Повна схема пропонованої системи зображена на рисунку 3.8.

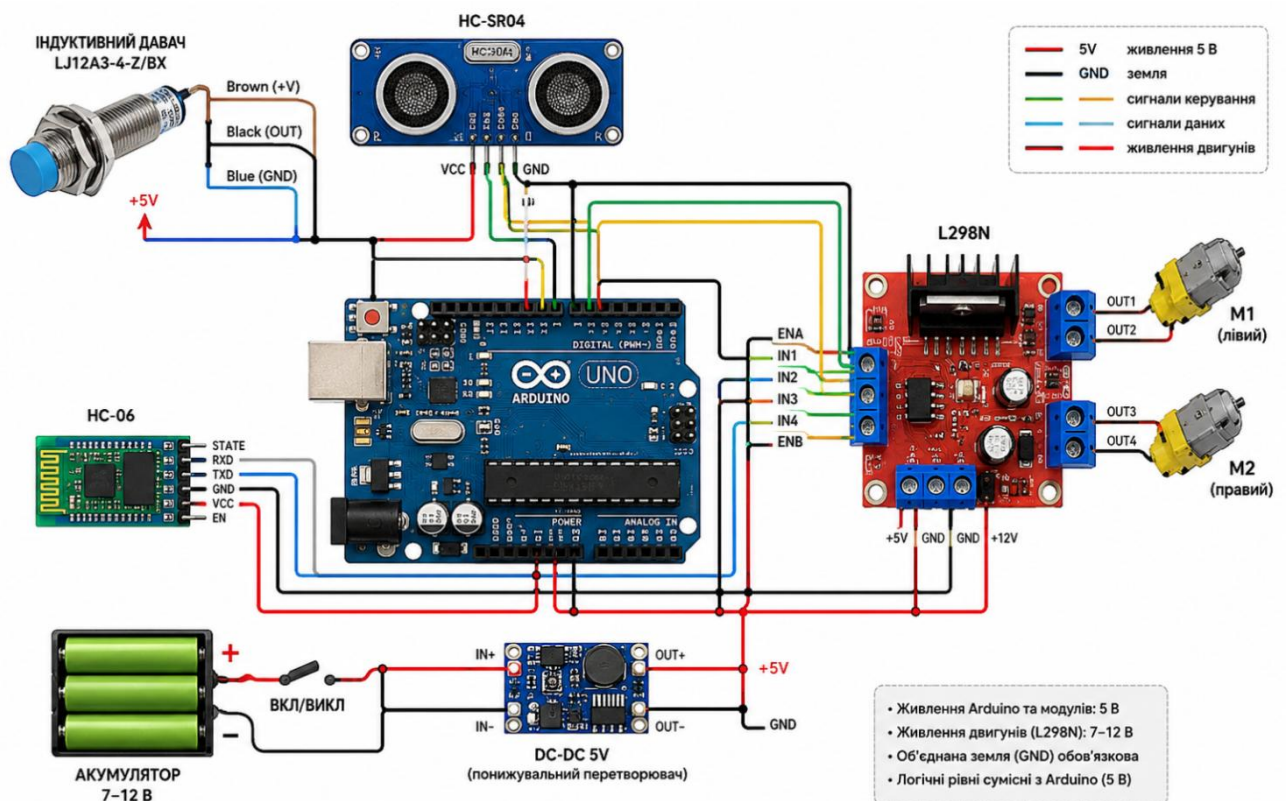


Рисунок 3.8 – Електрична схема системи попередження зіткнення

Використання апаратно-програмної платформи Arduino дало змогу реалізувати систему з мінімальними фінансовими витратами та забезпечити можливість подальшої модернізації шляхом підключення додаткових модулів або зміни алгоритмів керування. Розроблений макет може використовуватися як дослідницький стенд для перевірки ефективності різних методів виявлення перешкод та алгоритмів запобігання зіткненням.

Таким чином, створений макетний зразок підтверджує можливість практичної реалізації системи попередження зіткнення на основі електромагнітних датчиків та є основою для подальших експериментальних досліджень у галузі транспортної безпеки.

3.3 Налаштування та програмна реалізація системи попередження зіткнення на базі Arduino

Опис скетч управління між усіма компонентами включає взаємодію між драйвером двигуна L298N, Arduino Uno, платою розширення для Arduino Uno, Bluetooth-модулем HC-06 та індуктивним датчиком LJ12A3-4-Z/BX NPN NO:

1. Підключення драйвера двигуна L298N до Arduino Uno :
 - підключаємо піни керування (наприклад, IN1, IN2, ENA) драйвера двигуна до відповідних пінам на Arduino Uno;
 - налаштовуємо відповідні піни на Arduino Uno як виходи (OUTPUTS) за допомогою функції `pinMode ()`.
2. Підключення Bluetooth-модуля HC-06 до Arduino Uno:
 - підключаємо піни TX і RX Bluetooth-модуля до відповідних пінів Serial-порту Arduino Uno (наприклад, TX до RX та RX до TX);
 - налаштовуємо швидкість передачі даних Serial-порту Arduino Uno на відповідну швидкість Bluetooth-модуля за допомогою функції `Serial.begin ()`;
 - використовуємо функції `Serial.available ()` і `Serial.read ()` для прийому даних з Bluetooth-модуля, а `Serial.print ()` або `Serial.write ()` для відправки даних на Bluetooth-модуль.
3. Підключення індуктивного датчика LJ12A3-4-Z/BX NPN NO до Arduino

Uno:

- підключаємо піни виходу давача (наприклад, OUT) до відповідного вхідного піну Arduino Uno;

- налаштовуємо відповідний пін на Arduino Uno як вхід (INPUT) за допомогою функції `pinMode ()`.

4. Використання плати розширення для Arduino Uno:

- встановлюємо плату розширення зверху Arduino Uno і підключаємо її через штирьові роз'єми;

- залежно від типу плати розширення, може знадобитися додаткове налаштування або підключення специфічних пінів та функцій.

У програмному коді Arduino можна використовувати функції та бібліотеки, пов'язані з кожним компонентом, для керування їх функціями та взаємодією. Наприклад, для керування двигунами через драйвер мотора L298N, можемо використовувати функції Arduino для встановлення пінів керування в потрібний стан (HIGH або LOW) та регулювання швидкості моторів за допомогою ШІМ-сигналу (PWM). Для обробки даних, отриманих через Bluetooth-модуль HC-06, можемо використовувати функції Serial-порту Arduino для читання та запису даних. Ми можемо використовувати функцію `Serial.available ()` для перевірки наявності доступних даних у вхідному буфері, а потім використовувати функцію `Serial.read ()` для читання цих даних. Для надсилання даних на Bluetooth-модуль можемо використовувати функцію `Serial.print ()` або `Serial.write ()` [2]/

Для виявлення стану індуктивного давача LJ12A3-4-Z/BX NPN NO використовуємо функцію `digitalRead ()` для читання стану піна, до якого він підключений. Наприклад, якщо пін, до якого підключений давач, налаштований як вхід, то функція `digitalRead ()` поверне значення HIGH або LOW залежно від того, чи виявлено металевий об'єкт поблизу давача.

На рисунках 3.9 та 3.10 наведено скеч-програми керування машинкою та підключення Bluetooth модуля [2].

```

#include <Servo.h>
#include <NewPing.h>

const int LeftMotorForward = 7;
const int LeftMotorBackward = 6;
const int RightMotorForward = 5;
const int RightMotorBackward = 4;

void moveForward(){
    if(!goesForward){
        goesForward=true;

        digitalWrite(LeftMotorForward, HIGH);
        digitalWrite(RightMotorForward, HIGH);

        digitalWrite(LeftMotorBackward, LOW);
        digitalWrite(RightMotorBackward, LOW);
    }
}

void moveStop(){
    digitalWrite(RightMotorForward, LOW);
    digitalWrite(LeftMotorForward, LOW);
    digitalWrite(RightMotorBackward, LOW);
    digitalWrite(LeftMotorBackward, LOW);
}

void moveBackward(){
    goesForward=false;

    digitalWrite(LeftMotorBackward, HIGH);
    digitalWrite(RightMotorBackward, HIGH);

    digitalWrite(LeftMotorForward, LOW);
    digitalWrite(RightMotorForward, LOW);
}

void turnRight(){
    digitalWrite(LeftMotorForward, HIGH);
    digitalWrite(RightMotorBackward, HIGH);

    digitalWrite(LeftMotorBackward, LOW);
    digitalWrite(RightMotorForward, LOW);

    delay(250);

    digitalWrite(LeftMotorForward, HIGH);
    digitalWrite(RightMotorForward, HIGH);

    digitalWrite(LeftMotorBackward, LOW);
    digitalWrite(RightMotorBackward, LOW);
}

void turnLeft(){
    digitalWrite(LeftMotorBackward, HIGH);
    digitalWrite(RightMotorForward, HIGH);

    digitalWrite(LeftMotorForward, LOW);
    digitalWrite(RightMotorBackward, LOW);

    delay(250);

    digitalWrite(LeftMotorForward, HIGH);
    digitalWrite(RightMotorForward, HIGH);

    digitalWrite(LeftMotorBackward, LOW);
    digitalWrite(RightMotorBackward, LOW);
}

```

Рисунок 3.9 – Налаштування керування машиною

```

SoftwareSerial bluetooth(2, 3);

bluetooth.begin(9600); // Скорость передачи данных

if (bluetooth.available()) {
    char command = (char)bluetooth.read();
    if (bluetooth.available()) { //
        char data = bluetooth.read(); //
        Serial.print(data); //
    }
}

if (Serial.available()) { //
    char data = Serial.read(); //
    bluetooth.print(data); //
}

```

Рисунок 3.10 – Підключення Bluetooth модуля

Алгоритм роботи (рис. 3.11) передбачає безперервне опитування підключених датчиків, аналіз отриманих результатів та формування відповідних команд керування. У випадку виявлення перешкоди система переходить у режим попередження та інформує користувача про потенційну небезпеку.

Після запуску програми виконується ініціалізація всіх периферійних пристроїв, налаштування цифрових входів і виходів, а також встановлення параметрів послідовного інтерфейсу для взаємодії з Bluetooth-модулем.

У процесі роботи мікроконтролер здійснює циклічний контроль сигналів від датчиків. Якщо зафіксовано наближення об'єкта до критичної відстані, активується звукова та світлова сигналізація. Одночасно через Bluetooth передається відповідне повідомлення користувачу.

У разі подальшого зменшення дистанції система формує команду на

зниження швидкості або повну зупинку транспортного засобу.

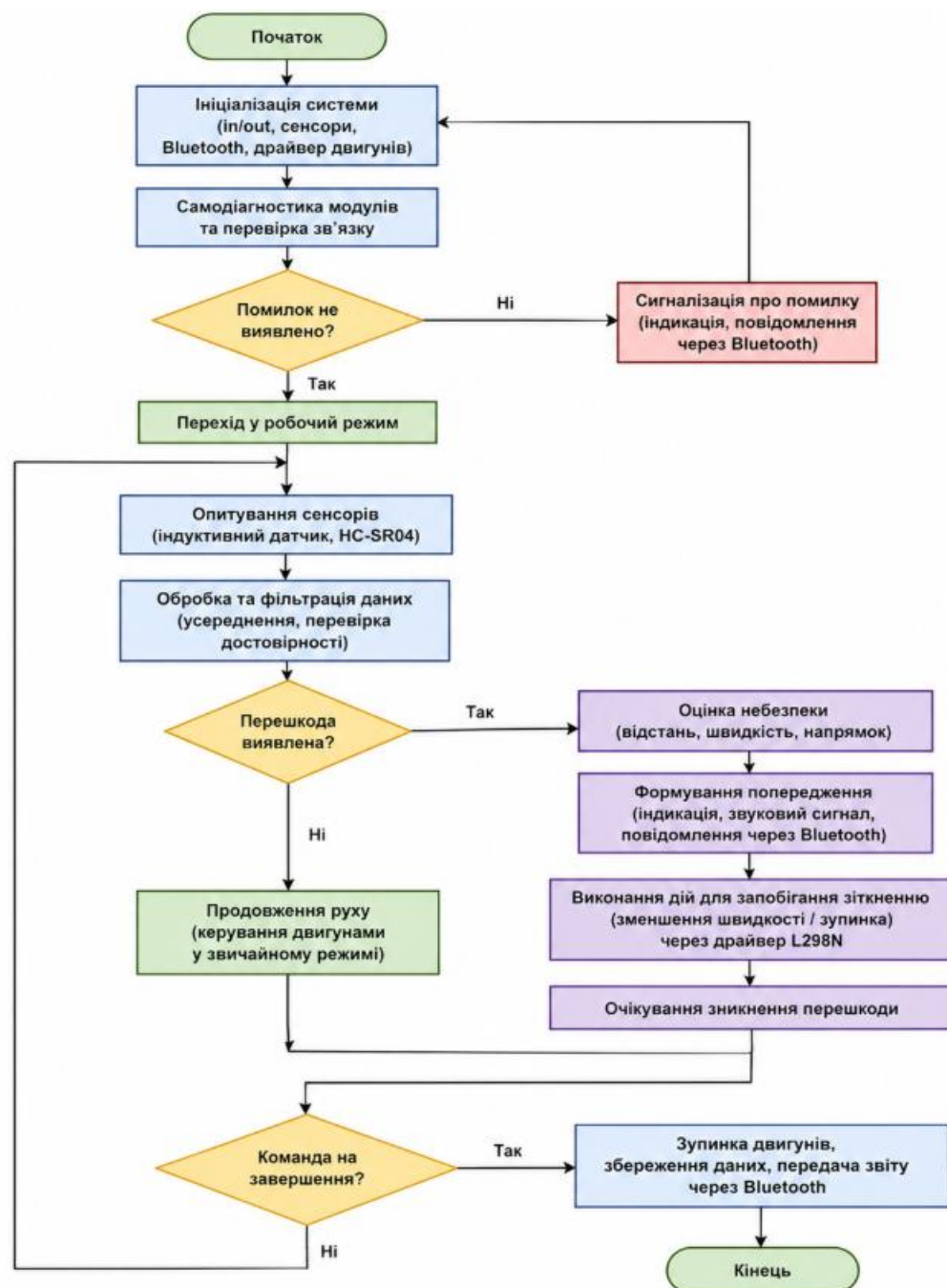


Рисунок 3.11 – Алгоритм роботи

Отримані результати підтвердили працездатність розробленого алгоритму керування та можливість його використання для створення більш складних систем активної безпеки транспортних засобів. Використання платформи Arduino дозволяє швидко модифікувати програмне забезпечення, розширювати функціональні можливості системи та проводити подальші дослідження в напрямку вдосконалення технологій запобігання дорожньо-транспортним.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз сучасних технологій попередження зіткнень показав, що електромагнітні давачі є перспективним рішенням для виявлення перешкод на малих відстанях завдяки високій швидкодії, надійності та стійкості до впливу несприятливих умов навколишнього середовища, а вдосконалення електромагнітних давачів шляхом розширення функціональних можливостей, підвищення точності вимірювання та інтеграції сучасних інтерфейсів передачі даних дозволить підвищити ефективність систем активної безпеки транспортних засобів.

2. Визначено основні критерії вибору давачів для систем попередження зіткнення, серед яких особливе значення мають дальність виявлення, точність вимірювань, швидкодія, кут огляду та стійкість до зовнішніх завад. Доведено, що використання оптимізованих алгоритмів обробки інформації, методів фільтрації шумів та сучасних систем автоматичного реагування забезпечує підвищення точності виявлення небезпечних ситуацій і сприяє зниженню ймовірності дорожньо-транспортних пригод.

3. Розроблено та реалізовано макетну версію системи попередження зіткнення на базі мікроконтролерної платформи Arduino із використанням електромагнітного давача, що підтвердило можливість практичної реалізації запропонованого технічного рішення.

4. Результати експериментального налаштування та тестування показали працездатність системи, здатність своєчасно виявляти перешкоди та передавати інформацію до керуючого модуля, що підтверджує перспективність її подальшого вдосконалення та впровадження у транспортні засоби.

5. Проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час монтажу, налагодження та експлуатації електронних компонентів системи попередження зіткнення та розроблено комплекс заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності, спрямованих на забезпечення нормативних умов праці, зменшення впливу шкідливих виробничих чинників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Liu C., Tomizuka M. Autonomous Driving and Advanced Driver-Assistance Systems. Boca Raton: CRC Press, 2023. 412 p.
2. Arduino IDE Documentation. URL: <https://docs.arduino.cc/software/ide/> (дата звернення: 05.05.2026).
3. Arduino Uno Rev3 Documentation. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/> (дата звернення: 08.04.2026).
4. HC-06 Bluetooth Module: Specifications and Applications. UTMEL Electronic Components, 2021.
5. ISO 26262:2024. Road Vehicles – Functional Safety. Geneva: International Organization for Standardization, 2024.
6. Rajamani R. Vehicle Dynamics and Control. 3rd ed. New York: Springer, 2022. 538 p.
7. SAE International. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016). Warrendale, PA, 2024.
8. SICK AG. Distance Sensor DT20 Hi. Technical Information. Waldkirch, Germany, 2023.
9. STMicroelectronics L298 Motor Driver Datasheet. Accessed URL: <https://www.st.com/en/motor-drivers/l298.html> (дата звернення: 10.04.2026).
10. UNECE Regulation No. 152. Advanced Emergency Braking Systems (AEBS). United Nations Economic Commission for Europe, 2023.
11. Winner H., Hakuli S., Lotz F., Singer C. Handbook of Driver Assistance Systems. Cham: Springer, 2022. 1840 p.
12. Zhao H. HC-06 Datasheet: Introduction to Pinout, Features, Applications and Working Principle. WellPCB, 2022.
13. Бойко Ю. В., Сторожук М. В. Автомобільні електронні системи безпеки. Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024. 312 с.
14. Гуменюк П. І., Кравець В. В. Мікроконтролерні системи керування на базі Arduino. Луцьк: ЛНТУ, 2022. 198 с.
15. ДСТУ ISO 26262-1:2025. Дорожні транспортні засоби. Функціональна

безпечність. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2025.

16. Кузьо І. В., Савчук В. С. Сучасні сенсорні системи в автомобільній електроніці. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2023. 248 с.

17. Петренко А. О., Литвин М. В. Сенсорні технології в робототехніці та транспортних системах. Харків: ХНУРЕ, 2024. 290 с.