

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ ТА ТРАКТОРІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: “ Дослідження ефективності системи екстреного гальмування  
автомобіля ”

Виконав: студент  
Спеціальності 274 "Автомобільний транспорт"  
(шифр і назва)  
Климчук Віктор Ігорович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Паславський Р. І.  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 631.3.004.

Климчук В. І. Дослідження ефективності системи екстреного гальмування автомобіля: кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський НУП, 2024.

85 с.

21 рис., 7 табл., 30 літ. джерел.

У кваліфікаційній роботі представлена математична модель вдосконаленого алгоритму функціонування САЕТ, що включає механізм прогнозування зчірних властивостей поверхні дороги, розроблена методика оцінки можливої величини коефіцієнта зчеплення шин з опорною поверхнею що складається з двох етапів: попереднього прогнозування на базі математичного апарату нечіткої логіки стану дорожнього покриття на основі аналізу температури повітря і інтенсивності опадів і уточнення коефіцієнта зчеплення на основі аналізу параметрів контрольного гальмування, вироблюваного одночасно з активацією сигналу попередження про можливе зіткнення.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. СТАН ПИТАННЯ .....	7
1.1 Системи автоматичного екстреного гальмування .....	7
1.2 Пристрій та принцип роботи системи автоматичного екстреного гальмування .....	9
1.3 Огляд існуючих моделей САЕГ .....	14
1.4 Огляд методик визначення ефективності дії САЕГ .....	18
1.5 Висновки до розділу .....	21
2. ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ЕКСТРЕННОГО ГАЛЬМУВАННЯ .....	22
2.1. Математична модель існуючої САЕГ .....	22
2.2. Розробка математичної моделі САЕГ, що враховує зміну коефіцієнта зчеплення шин з опорною поверхнею .....	24
2.3. Моделювання алгоритму прогнозування .....	29
2.4. Результати моделювання .....	32
Висновки до розділу .....	36
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕКСТРЕННОГО ГАЛЬМУВАННЯ	37
3.1. Програма експериментальної оцінки ефективності дії САЕГ .....	37
3.2. Об'єкти випробувань .....	44
3.3. Випробувальна ділянка .....	46
3.4. Опис «першкод» .....	48
3.5. Параметри, що реєструвалися .....	50
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	52
4.1. Статистика відмов САЕГ за наслідками випробувань .....	52
4.2. Аналіз роботи САЕГ в деяких випробувальних заїздах .....	53
Висновки до розділу .....	58
5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЇ САЕГ З ДОПОМОГОЮ ВДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ .....	59

5.1. Оцінка ефективності дії САЕГ на сухому асфальтобетоні за низьких температур та відсутності опадів .....	59
5.2. Оцінка ефективності дії САЕГ на втрамбованому снігу, за від’ємної температури та відсутності опадів .....	64
Висновки до розділу .....	69
<b>6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>71</b>
6.1. Основні завдання охорони праці .....	71
6.2. Аналіз стану охорони праці .....	71
6.3. Фінансування заходів з охорони праці .....	73
6.4. Аналіз умов праці та травматизму у транспортному підприємстві ...	74
6.5. Розробка заходів з покращення стану охорони праці .....	77
6.6. Захист цивільного населення .....	79
Висновки до розділу .....	79
Загальні висновки .....	80
<b>БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК .....</b>	<b>82</b>

## ВСТУП

Група систем, які полегшують управління автомобілем та підвищують його активну безпеку, об'єднана під загальною назвою «Advanced Driving Assistance» (ADAS) - «Інтелектуальні системи допомоги водію».

Виходячи із спільної доповіді Motorand Equipmentangfe Manufacturer Association (MEMA) та The Boston Consulting Group (BSG): «Дорожна карта безпечного водіння за допомогою передових систем підтримки для управління автомобілем» [10] впровадження ADAS дозволить зменшити аварійність в США на 28%. До 2035 р. зниження аварійності може досягти 90%.

За досліджень, які проводяться в рамках Європейської програми оцінки нових автомобілів (Euro NCAP) застосування систем автоматичного екстреного гальмування (САЕГ) є одним з найперспективніших шляхів підвищення безпеки руху, оскільки дозволить зменшити аварійність на 38%. Також вагомим є економічний ефект впровадження даних систем - зі зменшенням кількості ДТП відповідно зменшиться загальний розмір страхових виплат.

Багато автовиробників вже пропонують САЕГ як додаткове устаткування до своєї продукції, що говорить про поступове застосування подібних систем в повсякденну експлуатацію. Основна функція цієї системи – запобігання зіткненню з іншим учасниками дорожнього руху та попередження водія про небезпеку. На даний момент вже існує декілька методик визначення ефективності дії САЕГ, але жодна з цих методик поки не введена в систему сертифікації. Основний недолік існуючих методик визначення ефективності дії систем полягає в умовах проведення випробувань, наближених до ідеальних - позитивна температура повітря, відсутність атмосферних опадів, сухе покриття з високим коефіцієнтом зчеплення. Система може виявитися не ефективною в реальних умовах експлуатації автомобіля. З аналізу технічної літератури видно, що ці системи поки не завжди можуть адаптувати свій алгоритм функціонування залежно від зміни покриття дороги і її коефіцієнта зчеплення, не дивлячись на те, що даний параметр є основним в ефективній роботі. Можливим розв'язанням цієї проблеми може бути прогнозування коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою на основі аналізу зовнішніх параметрів.

## 1. СТАН ПИТАННЯ

### 1.1. Системи автоматичного екстреного гальмування

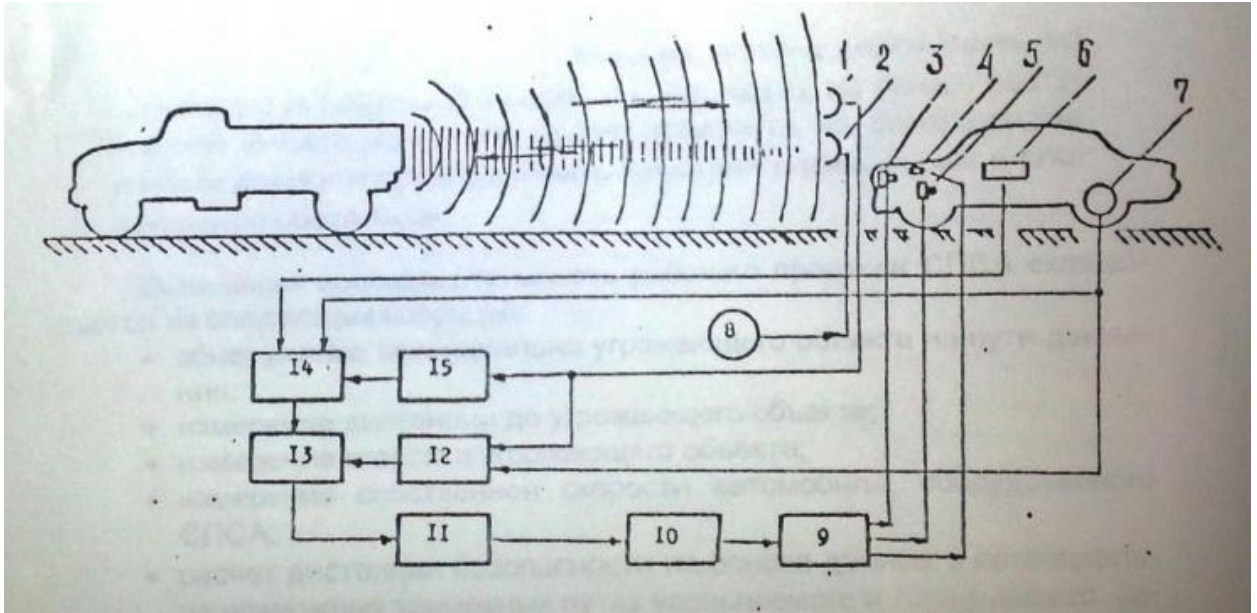
Передумови до створення САЕГ були закладені ще в 1975 році, коли в рамках нового напрямку по автоматизації управління автомобілем для «технічного зору» передбачалося використання СВЧ-локаторів [7]. В ті часи система автоматизованого гальмування під назвою: «Система запобігання зіткненням автомобілів» (СЗЗА) управляла швидкісним режимом руху транспортного засобу та функціонувала на основі інформації про його відносні координати.

Алгоритм робочого процесу система запобігання зіткненням автомобілів складається з наступних операцій:

- виявлення об'єкту, що являє перешкоду для подальшого руху;
- вимірювання дистанції до даного об'єкту;
- вимірювання швидкості цього об'єкту;
- вимірювання власної швидкості ТЗ, обладнаного СЗЗА;
- розрахунок безпечної дистанції між двома ТЗ на основі даних про їх потенційно можливі гальмівні шляхи;
- порівняння розрахункового значення безпечної дистанції з дійсним значенням між ТЗ і перешкодою;
- висновок про необхідність зміни режиму руху ТЗ;
- визначення моменту часу, коли почнеться зміна режиму руху ТЗ;
- формування сигналу водію про початок зміни режиму руху ТЗ.

Функціональна схема системи запобігання зіткненням автомобілів приведена на рис.1.1.

Поява діючих зразків СЗЗА стримувалася існуючою на той момент елементною базою, яка не дозволяла створити компактну швидкодійну систему, включаючи блок управління.



1 - приймальна антена радіолокатора; 2 - випромінювальна антена радіолокатора; 3 - виконавчий механізм приводу гальма; 4 - виконавчий механізм приводу паливоподачі; 5 - акумуляторна батарея автомобіля; 6 - акселерометр; 7 - датчик швидкості; 8 - СВЧ генератор; 9 - селектор (блок логіки); 10 - модулятор командного сигналу; 11 - формувач команд; 12 - блок захисту від помилкових спрацьовувань; 13 - ключовий пристрій; 14 - бортовий комп'ютер; 15 - приймач сигналу про дистанцію до перешкоди.

Рисунок 1.1. Функціональна схема СЗЗА [7]

Перші розробки САЕГ, призначені для використання на автомобілях серійного виробництва, були ініційовані в січні 1995 року консорціумом на чолі з компанією Delphi-Delco Electronic Systems. До числа учасників входили як державні установи, так і крупні промислові компанії: General Motors Corporation/NAO Safety and Restraint Center, General Motors Research and Development, Hughes Research Laboratories і т.д. Демонстрація системи була проведена групою американських інженерів і учених з HRL Laboratories LLC (колишня Hughes Research Laboratories, Каліфорнія) у 1995 році [12]. Надалі американське Національне управління безпекою руху на трасах - National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) зробило обов'язковим застосування систем попередження зіткнень і систем контролю сходу зі смуги руху [14]. Поява та впровадження систем ADAS та САЕГ чітко супроводжується проведенням науково-дослідних робіт у частині їх впливу на

активну безпеку автомобіля. В основному такі роботи проводяться за кордоном і їх результати мало представлені у літературних джерелах. Одночасно продовжуються дослідження і в галузі гальмівної динаміки автомобіля.

Вивчення ефективності функціонування САЕГ неможливе без дослідження та уточнення механізму взаємодії пневматичної шини з опорною поверхнею.

## **1.2. Пристрій та принцип роботи системи автоматичного екстреного гальмування**

Комбінуванням різних датчиків для функціонування різних систем, у тому числі й САЕГ, займаються такі компанії як TRW, Continental, Bosch, VTI, SensorDynamics, BMW, Freescale, Invensense та STMicroelectronics, використовуючи мультиосьові та мультисенсорні рішення.

Системи допомоги водію, які розробляються в наш час, умовно можна розділити на дві групи: індикаторні та автоматичні.

В індикаторних системах використовуються локатори, що знаходять перешкоду на шляху руху і розраховують відстань до нього, а також швидкість зближення. Водій лише попереджується сигналом про можливе зіткнення. І водій сам повинен робити необхідні дії щоб запобігти зіткненню. Система не втручається в управління автомобілем.

Автоматичні системи не лише попереджають водія про небезпеку, але й за допомогою виконавчих механізмів впливають на систему подачі палива двигуна, приводи зчеплення та гальмівні механізми. В результаті система сама (без участі водія) здатна змінювати режими руху залежно від ситуації, що склалася на дорозі. Для стійкої роботи САЕГ, вона повинна одержувати достовірну інформацію про учасників дорожнього руху як про можливі перешкоди руху. Тому в структурній схемі пристроїв, що входять в систему, обов'язково повинен бути пристрій технічного зору. Сама структурна схема САЕГ (рис. 1.2) складається з трьох блоків: блоку технічного зору, блоку управління та системи автоматичного гальмування (САГ), яка базується на



виконавчих механізмах антиблокувальної системи (АБС) і системи електронного контролю стійкості (ЕКС).

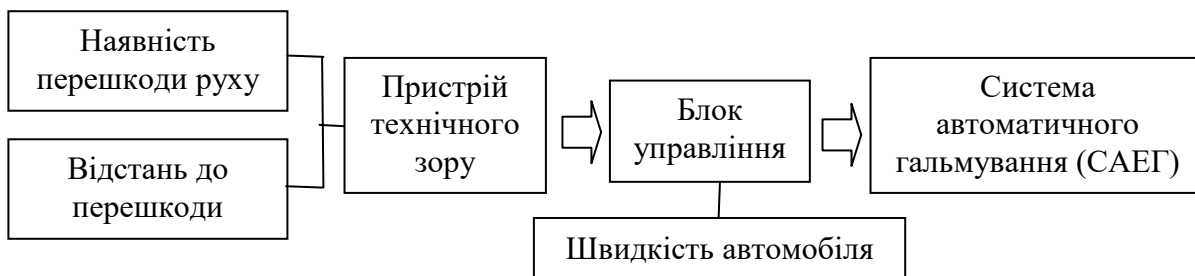


Рисунок 1.2. Структурна схема САЕГ

Пристроями технічного зору можуть слугувати: радары, лідари, сонари (ультразвукові локатори) і оптичні пристрої. У лідарах використовуються електромагнітні хвилі оптичного діапазону; у ультразвукових локаторах - акустичні хвилі, а в радарях - електромагнітні ультракороткі хвилі (мікрохвилі). Зараз для визначення загрози потенційного зіткнення використовуються радарні датчики, стереокамери (отримуючі об'ємне зображення) або пристрої, створені за технологією лідара. На рис. 1.3 показані основні місця автомобіля, де вмонтовуються прилади технічного зору. Пристрої технічного зору дозволяють вимірювати відносні параметри руху ТЗ та інших об'єктів, знаходити перешкоди на шляху руху.

Монокулярна камера

Мікрохвильовий радар

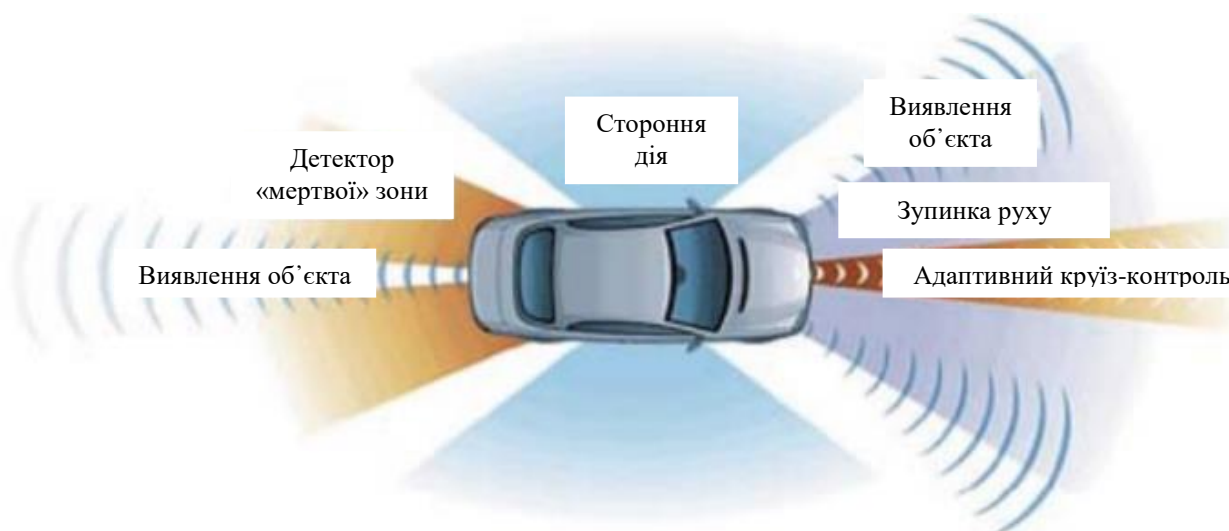


Рисунок 1.3. Розташування приладів технічного зору на автомобілі

Для виявлення об'єктів в зонах, близьких до автомобіля, використовуються радары діапазону 24 ГГц, а для більш дальніх діапазонів - радары з більшою частотою, наприклад, для відстані до 250 м, використовуються радары 77 ГГц. Відеокамери звичайно служать для виявлення пішоходів або для знаходження смуг на дорозі (у разі утримання на смузі). В даний момент задіюються всі засоби технічного зору, щоб системи могли знаходити перешкоди в діапазоні 360° навколо автомобіля.

В моделях САЕГ для бюджетних автомобілів, оснащених такими системами, використовується оптичний ІК-Сенсор. Також може застосовуватися електронно-скануючий радар від Delphi Automotive - Electronically Scanning Radar (ESR). Цей радар має широкий діапазон сканування, забезпечує два вимірювальні режими одночасно, тому його називають ще мультурежимним. Перший режим - середній діапазон, служить для ідентифікації інших автомобілів і пішоходів, другий - дальній діапазон, служить для отримання даних про швидкості, ідентифікацію шляху. Радары ESR об'єднують в собі адаптивний круїз-контроль, попередження про можливе зіткнення, а також про зменшення дистанції з автомобілем, що їде попереду.

Цей радар має діапазон 76 - 81 ГГц і забезпечує описані вище діапазони роботи, така система заснована на мультіканальних ресиверах та трансмітерах. Область дії такої радарної системи представлена на рис. 1.4. Трансміттер на 77 ГГц випромінює сигнали, які відбиваються від об'єкта, який знаходиться біля автомобіля, ресивер захоплює їх.



#### Рисунок 1.4. Застосування радарної технології в системах ADAS

За допомогою 32-бітового мікроконтролера з одним або двома ядрами з вбудованою RAM та флеш-пам'яттю, радарна система може знаходити і відстежувати об'єкти, з якими потенційно можливе зіткнення, попереджаючи водія візуальними, звуковими або тактичними сигналами про можливе зіткнення, а також може гальмувати.

Delphi розробила систему, яка об'єднує багато систем безпеки за допомогою одного інтегрального модуля. Цей продукт носить назву RASam (рис. 1.5) - інтегрована система на основі радара та відеокамери. Можливості цього модуля не обмежені лише САЕГ, він розроблений для використання в багатьох інших системах ADAS. Перше представлення такої системи відбулося в 2011 році, а автомобілі, оснащені нею, поступили в продаж уже в 2014 році.



Рисунок 1.5. Модуль RASam фірми Delphi

Основою цієї системи є електронно-скануючий радар Delphi ESR середнього та дальнього діапазону, відеокамера й блок обчислення. Часто радарні системи вмонтовують за декоративними ґратами радіатора, але ця область уразлива під час зіткнень. Дану систему можна закріпити на вітровому склі або дзеркалі заднього вигляду. Сенсорні системи, вони ж сенсорні відеокамери, в превентивних системах безпеки відповідають за безпеку не лише водія та пасажирів, але й пішоходів, велосипедистів та мотоциклістів. Компанія TRW пропонує спеціальну систему виявлення пішоходів. Дані з камери

поєднуються з даними радара частотою 24 ГГц, якщо наявність пішохода підтверджується останнім, то починають здійснюватися спеціальні алгоритми, що прораховують імовірність ДТП. Якщо імовірність велика, то активується сигнал попередження.

Continental пропонує стереокамери - сенсорний блок, основою якого є дві камери. Вони забезпечують повний аналіз зображення за допомогою одного блоку, тим самим стереокамера може визначити зміни зображення за один кадр, розрізнити чи стаціонарна перешкода чи рухома. Вхідні дані використовуються для визначення висоти перешкоди відносно поверхні та відстані до неї і навіть швидкості, з якою рухається автомобіль. Така система розміщується за вітровим склом.

Одержувані вхідні дані про розміри, відстані та швидкості (тріангуляція даних) є результатом системної оцінки відмінностей в перспективі між лівим та правим оптичними шляхами, аналогічно зору людини і дає можливість зрозуміти, наскільки змінилося видиме положення об'єкта щодо заднього фону залежно від зміни положення автомобіля, так званого паралакса. Наприклад, при відстанях 25 - 35 метрів, така камера зможе визначити діапазон відстаней до об'єкта з точністю до 25 - 35 сантиметрів. Така точність дозволяє стереокамері знайти об'єкти, що близько знаходяться, які можуть практично зливатися з фоном. Це є перевагою і в умовах поганої видимості. Після того, як одержана і проаналізована інформація зі всіх камер, система подає звуковий або світловий сигнал, або тактичний сигнал, шляхом вібрації об'єкта керма/сидіння (Cadillac). Система автоматичного гальмування здійснює уповільнення автомобіля, без участі водія, реагуючи на сигнал блоку управління САЕГ. Для виконання автоматичного гальмування використовуються в першу чергу такі елементи, як датчики кутової швидкості коліс, гідроблок АБС/ЕКС та інші елементи АБС/ЕКС, необхідні для функціонування САЕГ.

В алгоритмі роботи САЕГ, системі автоматичного гальмування відведена важлива функція - управління уповільненням автомобіля, а при необхідності - управління гальмівними механізмами аж до зупинки автомобіля (у випадку

виявлення перешкоди). При цьому вона працює паралельно з АБС, не втручаючись в алгоритм її дії. У разі виходу з ладу САЕГ, водій повинен мати можливість гальмувати самостійно. Якщо розглядати пристрій САЕГ з конструкторської точки зору, то вона базується на двох інших системах, що входять в ADAS - це система адаптивного круїз-контролю (за допомогою її функціональних можливостей здійснюється контроль відстані) і система електронного контролю стійкості, яка відповідає за автоматичне гальмування.

### **1.3. Огляд існуючих моделей САЕГ**

Система Collision Prevention Assist Plus (Mercedes-Benz) призначена для зниження ризику наїзду ТЗ на перешкоду і пом'якшення тяжкості наслідків попутного зіткнення або наїзду. Функціонування даної САЕГ базується на контролі безпечної дистанції до перешкоди за допомогою засобів технічного зору. Також система виконує функції «асистента гальмування» у випадках, коли водій неправильно оцінює уповільнення свого ТЗ й дистанцію до перешкоди. У режимі автоматичного гальмування Collision Prevention Assist Plus здатна зупинити автомобіль, за умови того, що його швидкість була відносно невисокою. На вищих швидкостях система може лише понизити важкість наслідків зіткнення.

Заявлений виробником робочий діапазон швидкостей, на якому функціонує дана система: 30 - 250 км/год. У випадку зменшення безпечної дистанції до перешкоди, САЕГ активує на приладовій панелі візуальний сигнал попередження про можливе зіткнення. Якщо тенденція до зниження дистанції від перешкоди зберігається, то САЕГ додатково активує звуковий сигнал попередження про зіткнення. Засоби технічного зору і алгоритм функціонування даної системи дозволяють виявляти небезпеку зіткнення з рухомими об'єктами в діапазоні швидкостей: 7 - 250 км/год. З нерухомими перешкодами: 7 - 70 км/год. Тоді САЕГ активує функцію «асистента гальмування». У випадках відсутності реакції водія на застережливі сигнали,

Collision Prevention Assist Plus виконує гальмування з уповільненням не більш  $4 \text{ м/с}^2$  й активує тактильний сигнал попередження у вигляді вібрації обруча рульового колеса. Функція автоматичного уповільнення перед рухомими об'єктами дієздатна до швидкості 105 км/год. У поєднанні з функціонуючою системою адаптивного круїз-контролю DISTRONIC PLUS - до 200 км/год.

САЕГ оснащена засобами технічного зору на базі стереокамери, розташованої у верхній частині лобового скла (рис.1.6).



Рисунок 1.6. Стереокамери системи Collision Prevention Assist Plus

Крім стереокамер, дана САЕУ також використовує два датчики радарного типу, встановлені за декоративними ґратами радіатора (рис. 1.7). Перший радарний датчик має радіус дії до 70 метрів і кут огляду в 90 градусів. Другий датчик сканує простір в діапазоні від 20 до 250 метрів перед автомобілем.



Рисунок 1.7. Радарні датчики, розташовані за декоративною ґраткою радіатора

### Основні функції системи Collision Prevention Assist Plus:

- попередження водія про небезпечне зближення з перешкодою шляхом послідовної подачі візуального, звукового та тактильного сигналів попередження про можливе зіткнення;
- допомога водію при гальмуванні, методом збільшення гальмівної сили,;
- активація автоматичного гальмування за відсутності реакції водія на сигнали попередження про зіткнення.

Система City Safety (Volvo) [12] призначена для зниження ризику наїзду на рухомі та нерухомі об'єкти. Функціонування САЕГ засноване на контролі безпечної дистанції до перешкоди. При її скороченні до критичних значень, активується візуальний сигнал попередження про зіткнення, який проектується на нижню частину лобового скла. Далі активується звуковий сигнал попередження й тактильний у вигляді коротких імпульсів вібрації на педалі гальма. Крім функції попередження про зіткнення, САЕГ може активувати функції «асистента гальмування» й автоматичне гальмування, яке починається приблизно за 1 секунду до зіткнення. Таким чином, City Safety дозволяє понизити тяжкість наслідків зіткнення, за відсутності можливості його запобігання.

Засоби технічного зору даної системи представлені камерою й датчиком радарного типу, які встановлюються єдиним блоком у верхній частині лобового скла (рис. 1.8). Характерною особливістю камери є висока роздільна здатність матриці та інтелектуальна система регулювання експозиції. Завдяки цьому підвищена ефективність виявлення об'єктів, у тому числі і в темний час доби.



Рисунок 1.8. Блок засобів технічного зору системи City Safety

Система Autonomous Emergency Braking (Land Rover) виконує функції попередження водія про можливе зіткнення і зниження швидкості в автоматичному режимі для зменшення важкості наслідків зіткнення. САЕГ здатна розпізнавати загрозу виникнення аварійної ситуації в діапазоні швидкостей руху автомобіля: 5 - 80 км/год. Функція запобігання зіткненню, за допомогою автоматичного гальмування доступна на швидкостях до 50 км/год.

Як засоби технічного зору передбачена стереокамера, встановлена у верхній частині лобового скла (рис. 1.9). Радарні датчики в даній системі відсутні.



Рисунок 1.9. Стереокамери системи Autonomous Emergency Braking

Система Smart City Brake Support (Mazda) розроблена для експлуатації в міських умовах руху. Для даних умов характерні невеликі швидкості руху, близько рухомі поряд інші ТЗ, а також раптові уповільнення, аж до повної зупинки.

Основні функції системи схожі з аналогічними САЕГ. Максимальна швидкість функціонування Smart City Brake Support обмежена 80 км/год. Одночасно дана система може забезпечувати ефективне автоматичне гальмування в діапазоні від 4 до 30 км/год.

Засоби технічного зору представлені камерою, змонтованою у верхній частині лобового скла (рис. 1.10).





Рисунок 1.10. Камера системи Smart City Brake Support

#### 1.4. Огляд методик визначення ефективності дії САЕГ

Європейська програма оцінки нових автомобілів (EuroNCAP) з'явилася на початку 2014 року: тестовий протокол версії 1.0. Сьогодні використовується тестовий протокол версії 2.0.1 [23]. Дані документи описують методику оцінки ефективності дії САЕГ. Визначається ефективність функції автономного гальмування (АЕВ), ефективність функції попередження про зіткнення (FCW) та людино-машинний інтерфейс (НМІ). Підсумковою оцінкою є сума балів, нарахованих за наслідками випробувань окремих функцій САЕГ.

Як основний елемент випробувань передбачається *тестовий сценарій* - алгоритм проведення випробувального заїзду, що має змоделювати реальну дорожню ситуацію. Тестовим протоколом передбачено три сценарії: CCRs, CCRm, CCRb.

Сценарій CCRs - цей сценарій передбачає перевірку функцій АЕВ і FCW в ситуації, що імітує можливе зіткнення з нерухомим автомобілем [23]. Швидкість рухомого автомобіля в першому варіанті змінюється в межах 10-50 км/год. а в другому 30-80 км/год.

Сценарій CCRm - даний сценарій передбачає перевірку функцій АЕВ і FCW в ситуації, що імітує можливе зіткнення з рухомим автомобілем, який має

швидкість 20 км/год. Швидкість рухомого автомобіля 30-80 км/год.

Сценарій CCRb - даний сценарій передбачає перевірку функцій FEB і FCW в ситуації, що імітує можливе зіткнення з автомобілем, що сповільнює рух.

Для проведення випробувальних заїздів за методикою EuroNCAP передбачене застосування спеціалізованого автомобіля-перешкоди (АПЕ). АПЕ аналогічний автомобілю по характеристиках віддзеркалення і поглинання радіосигналу. Також він має зовнішню схожість з реальним автомобілем для можливості розпізнавання за допомогою відеокамер і лазерних радарів. Випробувальний протокол EuroNCAP версії 2.0.1 передбачає використання саморухомого автомобіля-перешкоди (рис 1.11, А) [24]. Для цього конструкція, що представляє зовнішній контур автомобіля вмонтовується на спеціальній саморухомій платформі (рис 1.11, Б), яка управляється дистанційно. По характеристиках розпізнавання він аналогічний першій версії АПЕ.



А – зовнішній вигляд; Б - платформа

Рисунок. 1.11. Автомобіль-перешкода (тестовий протокол EuroNCAP ver.2.0.1)

Під час проведення випробувань САЕГ відповідно тестовому протоколу версії 1.0 застосовується автомобіль-перешкода, переміщення якого відбувається за рахунок буксирування за допоміжним автомобілем.

Даний АПЕ створений у вигляді надувної конструкції виконаної з синтетичних матеріалів (рис. 1.12). На зовнішню оболонку нанесене зображення автомобіля. Зовнішні розміри надувної конструкції: ширина - 1600 мм, висота - 1350 мм.



Рисунок 1.12. Автомобіль-перешкода (тестовий протокол EuroNCAP ver. 1.0)  
[24]

В елементі бампера АПЕ вмонтований радіолокаційний відбивач, який має внутрішню довжину ребра 55 мм та імітує поверхню 2,5 м<sup>2</sup> й розрахований на радар з частотою 77 GHz.

На задню поверхню зовнішньої оболонки АПЕ наклеєна світловідбивна плівка, з метою відтворення відбивної здатності задніх ліхтарів автомобіля та номерного знаку.

Стандарт ISO 15623:20131 встановлює вимоги експлуатаційних режимів та методики випробувань системи попередження про можливе зіткнення [21].

У стандарті вказується, що основною функцією Системи попередження зіткнень з транспортним засобом, що рухається попереду (FVCWS), є попередження водія про те, що транспортний засіб, який рухається попереду, і потрапляє на траєкторію його руху, створює потенційно небезпечну ситуацію. Попередження формується на основі аналізу наступної інформації:

- 1) відстань до транспортного засобу, який знаходиться попереду;
- 2) швидкість руху ТЗ відносно транспортного засобу, що рухається попереду;
- 3) наявність попереду рухомого транспортного засобу на траєкторії руху випробовуваного транспортного засобу.

## Висновки до розділу.

Аналіз результатів досліджень, проведених в першому розділі, дозволяє зробити наступні висновки:

1. Конструкція сучасних САЕГ складається з трьох блоків: блоку технічного зору, блоку управління і системи автоматичного гальмування (САГ), яка базується на виконавчих механізмах антиблокувальної системи (АБС) і системи електронного контролю стійкості (ЕКС).

2. Більшість систем оснащується декількома засобами технічного зору, в якості яких використовуються: радари, лазерні радари (лідари), камери і стереокамери.

3. Одночасно з розвитком конструкції й алгоритмів функціонування САЕГ, розробляються та вдосконалюються вимоги щодо визначення ефективності їх дії. На сьогодні момент відсутня загальновизнана методика оцінки ефективності вказаних систем автомобілів категорії М1 і N1.

4. Існуючі методики випробувань дозволяють проведення тестових заїздів в ідеалізованих умовах (відсутність опадів, суха поверхня тестового асфальтобетонного майданчика, денне освітлення, додатня температура повітря) і не охоплюють весь діапазон реальних умов експлуатації.

## 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ЕКСТРЕННОГО ГАЛЬМУВАННЯ

### 2.1. Математична модель існуючої САЕГ

На основі аналізу результатів експериментального дослідження ефективності дії САЕГ, встановлених на двох об'єктах випробувань, можна створити спрощену математичну модель даної системи. Надалі на основі даної моделі буде створена модель, що включає вдосконалений алгоритм функціонування.

Спрощена модель складається з трьох блоків:

- блоку «технічного зору» (БТЗ);
- блоку управління (БУ);
- системи автоматичного гальмування (САГ).

У дану модель не включена реакція САЕГ на дії водія, які він робить після активації сигналу попередження про зіткнення. Введення даного спрощення не впливає на функціонування САЕГ на різних типах поверхонь. На рис. 2.1 представлена функціональна схема САЕГ.

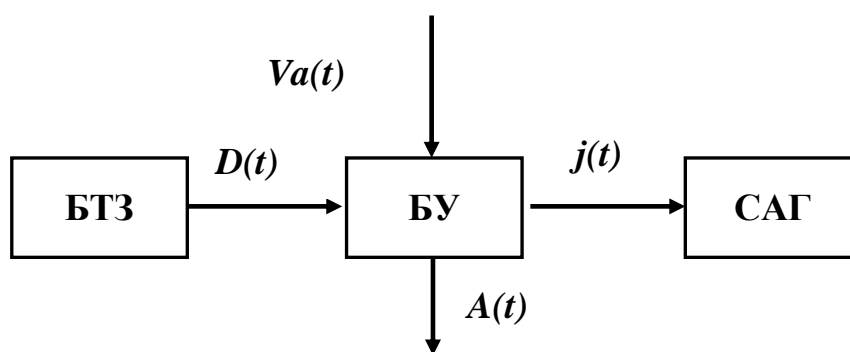


Рисунок 2.1. Функціональна схема САЕГ

САЕГ працює в дискретному режимі, оскільки реалізована на базі ЕОМ. Блок «технічного зору» визначає наявність перешкоди руху та дистанцію  $D$  до неї. Дані про дистанцію поступають на вхід блоку управління. Також на вхід блоку управління поступає інформація про власну швидкість  $V_a$  руху автомобіля. На основі цих даних блок управління розраховує відносну

швидкість  $V_{відн}$  зближення з перешкодою. Далі відбувається порівняння актуального значення дистанції до перешкоди з розрахунковим значенням залишкового шляху  $S_{зал}$  при даній відносній швидкості зближення. При виникненні умови:  $D \geq S_{зал}$ , активується сигнал  $A$  попередження водія про можливе зіткнення. При виникненні умови  $D = S_{гальм}$ , на вхід системи автоматичного гальмування подається запит на активацію гальмування з уповільненням  $j$ .

Залежність дистанції попередження  $D_{спрац.}$  від відносної швидкості зближення з перешкодою розраховується за формулою 2.1:

$$D_{спрац.} = S_{зал.} \cdot k_S \quad (2.1)$$

Даний коефіцієнт дозволяє створити запас по відстані, пов'язаний з розкидом часів реакції водія і не точним визначенням значення коефіцієнта зчеплення шин з дорогою в поздовжньому напрямі  $\varphi_x$ . Залежність коефіцієнта запасу від зупинного шляху може змінюватися із зростанням відносної швидкості зближення з перешкодою.

За відсутності реакції водія гальмуванням на сигнал попередження, блок управління САЕГ розраховує необхідне уповільнення  $j$  з урахуванням актуального значення дистанції до перешкоди і відносної швидкості зближення. У разі нерухомої перешкоди:

$$j = \frac{V_a^2}{2S_{гальм.} - 2V_a \cdot \tau_c - V_a \cdot \tau_H}, \quad (2.2)$$

де:  $S_{гальм.}$  - гальмівний шлях автомобіля (м).

Гальмівний шлях  $S_{гальм.}$  автомобіля задається характеристикою  $S_{гальм.} = f(V_{відносн.})$ . У разі нерухомої перешкоди, гальмівний шлях розраховується за формулою:

$$S_{гальм.} = V_a \cdot \left( \tau_c + \frac{\tau_a}{2} \right) + \frac{V_a^2}{2\varphi_x \cdot g}, \quad (2.3)$$

Коефіцієнт зчеплення  $\varphi_x$  задається постійним значенням та не змінюється під час функціонування САЕГ.

## 2.2. Розробка математичної моделі САЕТ, що враховує зміну коефіцієнта зчеплення шин з опорною поверхнею

Основним напрямом підвищення ефективності дії САЕГ є розширення діапазону дорожніх умов, за яких забезпечуватиметься коректна робота даної системи. Для цього слід внести зміни в алгоритм функціонування САЕГ - коефіцієнт зчеплення шин  $\varphi_x$  з опорною поверхнею повинен бути змінною величиною і враховуватися ще при визначенні  $S_{зал}$ , коли активується сигнал попередження водія про можливе зіткнення [25].

Оскільки  $\varphi_x$  не може бути точно визначений на стадії, що передуює гальмуванню, пропонується створити алгоритм його прогнозування на основі інформації, одержуваної від датчиків розташованих на автомобілі [27]. Таким чином в якомусь ступені імітується процес аналізу дорожньої обстановки на основі зовнішніх чинників, скоюваний досвідченим водієм, з тією лише різницею, що точність прогнозування не залежатиме від випадкових подій [29].

У якості початкових даних для прогнозування пропонується використовувати дані про температуру навколишнього середовища  $t_{нов.}(t)$  та інтенсивності опадів  $w(t)$ . Ці дані надходять на вхід блоку прогнозування (БП), де обробляються та на виході з БП формується спрогнозоване значення коефіцієнта  $\varphi'_x$ . На рис. 2.2 представлена функціональна схема вдосконаленої САЕГ.

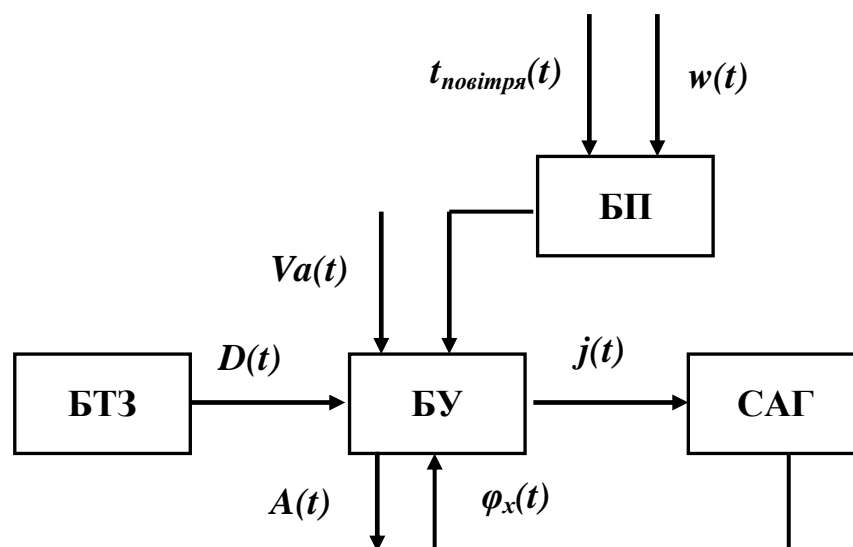


Рисунок 2.2. Функціональна схема вдосконаленої САЕГ

Алгоритм функціонування даної САЕГ у загальних рисах повторює алгоритм традиційної САЕГ. Основна відмінність полягає у включенні у функціональну схему блоку прогнозування, який подає на вхід блоку управління САЕГ спрогнозоване значення коефіцієнта зчеплення  $\phi'_x$ . Друга відмінна особливість полягає у наявності зворотного зв'язку між системою автоматичного гальмування та блоком управління САЕГ. Включення даного зворотного зв'язку зумовлене необхідністю уточнення спрогнозованого значення коефіцієнта зчеплення  $\phi'_x$ . Для цього пропонується передбачити процедуру «контрольного гальмування», яка виконується одночасно з активацією сигналу  $A$  попередження водія про можливе зіткнення. У цей момент на вхід САГ подається запит на активацію гальмування коліс ведучої осі з гальмівним зусиллям, достатнім для їх істотного уповільнення. Далі визначається уточнене значення коефіцієнта зчеплення  $\phi_x$ , яке подається на вхід блоку управління САЕГ і враховується при розрахунку гальмівного шляху  $S_{\text{гальм.}}$  і значення сповільнення  $j$ , яке подається на вхід САГ в режимі автоматичного гальмування.

При упровадженні алгоритмів прогнозування коефіцієнта зчеплення та контрольного гальмування величину розрахункового зупинного шляху можна представити як  $S_{\text{зал}} = f(V_{\text{відн}} \phi'_x)$ , а величину гальмівного шляху як:  $S_{\text{гальм.}} = f(V_{\text{відн}} \phi_x)$ . При цьому коефіцієнт  $k_S$  може бути зменшений, що позитивно позначиться на точності функціонування САЕГ.

У якості математичного апарату прогнозування вибрано апарат нечіткої логіки [15], який найкраще підходить для вирішення подібних завдань. Застосування апарату нечіткої логіки також пояснюється тим фактом, що при оцінці дорожньої обстановки водій також оперує нечіткими поняттями при визначенні тих або інших зовнішніх чинників.

Нечітка множина є сукупністю елементів довільної природи [17], щодо яких не можна з упевненістю стверджувати, - чи належить той або інший елемент даної сукупності даній множині чи ні. Формальна нечітка множина  $A$  визначається як безліч впорядкованих пар виду:

$$\langle x, \mu_A(x) \rangle, \quad (2.5)$$



де  $x \in E$  елементом деякої універсальної множини - універсуму  $E$ ,  $\mu_A(x)$  - функція належності, яка ставить відповідність кожному з елементів  $x \in E$  деяке дійсне число з інтервалу  $[0,1]$ . Дана функція визначається в наступній формі відображення:

$$\mu_A(x) \in E \rightarrow [0,1]. \quad (2.6)$$

При цьому  $\mu_A(x) = 1$  для деякого  $x \in E$  означає, що елемент  $x$  безумовно належить нечіткій множині  $A$ , а значення  $\mu_A(x) = 0$  означає, що елемент  $x$  безумовно не належить нечіткій множині  $A$ .

Функція приналежності може бути визначена явно у вигляді функціональної залежності, наприклад:

$$\mu_A = \exp\left(-\left(\frac{x-1}{2}\right)^2\right) \quad (2.7)$$

Також функція належності може бути задана в дискретному вигляді:

$$A = \{\mu_A(x_1)/x_1 + (\mu_A(x_2))/x_2 + \dots + \mu_A(x_n)/x_n\} \quad (2.8)$$

Якщо функція приналежності для всіх елементів нечіткої множини  $E$  тотожно рівна одиниці ( $\mu_E=1$ ), то така множина називається універсумом.

В якості змінних в теорії нечітких множин можуть використовуватися лінгвістичні змінні - ті змінні значеннями яких можуть бути слова або словосполучення деякої природної або штучної мови. Безліч всіх можливих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною. Термом називається будь-який елемент терм- множини. У теорії нечітких множин терм формалізується нечіткою множиною за допомогою функції приналежності.

Формальне визначення нечіткої множини не обмежує вибір конкретної форми функції приналежності для її уявлення. Проте, в практичному застосуванні апарату нечіткої логіки, використовуються лише функції приналежності, що допускають аналітичне уявлення у вигляді простої математичної функції. Це спрощує відповідні чисельні розрахунки і дозволяє застосовувати програмні інструменти, наприклад MATLAB. Найчастіше в нечіткій логіці для завдання функцій приналежності використовуються наступні типові форми функцій [17]:

- трикутна (trimf);

- трапецеїдальна (trmf);
- гаусова (gaussmf);
- подвійна гаусова (gauss2mf);
- узагальнена дзвоноподібна (gbellmf);
- сигмоїдальна (sigmf);
- подвійна сигмоїдальна (dsigmf);
- добуток двох сигмоїдальних функцій (psigmf);
- Z - функція;
- S - функція;
- Pi - функція.

Уточнений вид даних функцій визначається значеннями параметрів, що входять в їх аналітичні уявлення. У даній роботі застосовані трикутна і трапецеїдальна функції. Трикутна функція може бути задана наступним чином:

$$\text{trimf}(x, a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2.9)$$

На рис. 2.3 показано приклад графічного представлення функції приналежності трикутної форми [17].

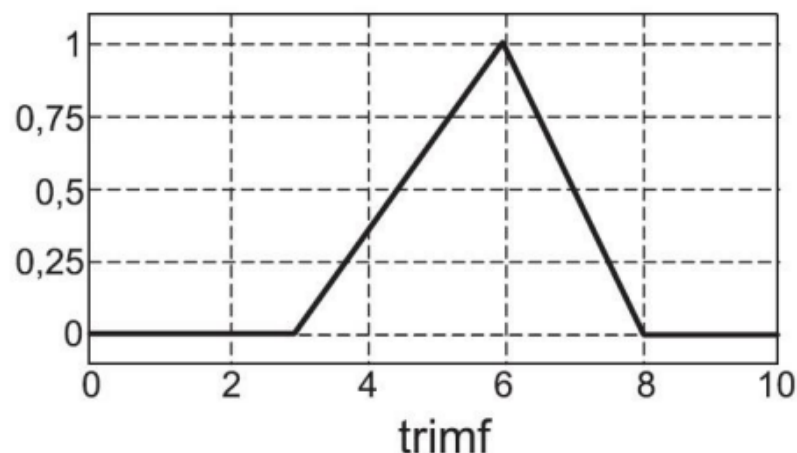


Рисунок 2.3. Трикутна форма функції приналежності

Функція приналежності трапецеїдальної форми задається наступною формулою:

$$\text{trapmf}(x, a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{d-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2.10)$$

На рис. 2.4 показаний приклад графічного представлення функції приналежності трапецеїдальної форми.

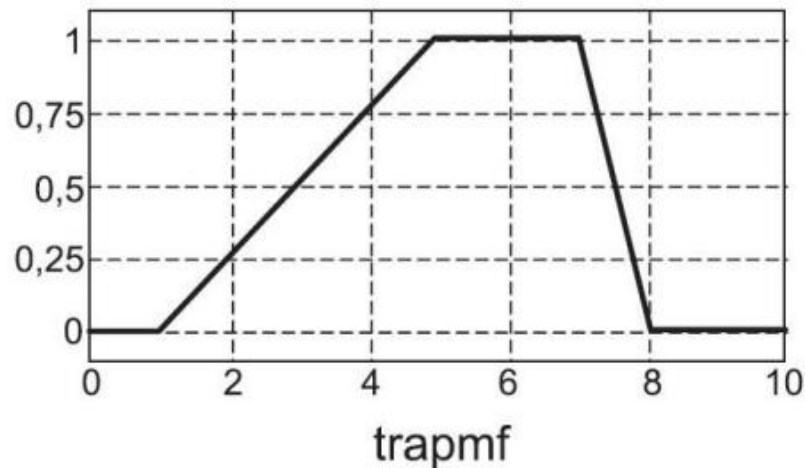


Рисунок 2.4. Трапецеїдальна форма функції приналежності

З нечіткими множинами можна проводити наступні логічні операції [18]: - включення однієї нечіткої множини в іншу; - рівність; - доповнення; - перетин; - об'єднання; - різниця.

Також з нечіткими множинами можна виконувати наступні алгебраїчні операції: - алгебраїчний добуток; - алгебраїчна сума; - декартовий (прямий) добуток двох нечітких множин.

Одним з основних понять теорії нечітких множин є поняття нечіткого відношення. Ці відношення дозволяють формалізувати неточні твердження типу: «x майже дорівнює y» або «x значно більший ніж y».

З нечіткими відношеннями також можна проводити алгебраїчні операції, зокрема операцію композиції або верстки двох нечітких відношень. Нехай R1 - нечітке відношення R1 : (X\*Y) → [0, 1] між X та Y; R2 - нечітке відношення R2: (X\*Y) → [0, 1] між X та Z. Нечітке відношення між X та Z, що позначається R1 · R2, визначене через R1 та R2 наступним виразом:

$$\mu_{R_1 \cdot R_2}(x, y) = v_y [\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(x, y)] = \max [\min [\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(x, y)]]$$

де символом «V» позначена операція вибору найбільшого значення по  $y$ , називається (max-min) -композицією відносин R1 та R2.

Нечітка імплікація зберігає значення, аналогічне значенню даної операції для звичної логіки, з тією лише відмінністю, що в нечіткій логіці «ступінь істиності» може мати будь-яке значення між 0 та 1.

### 2.3. Моделювання алгоритму прогнозування

Початковими даними для прогнозування взято: температуру навколишнього середовища ( $t_{\text{повітря}}$ ) та інтенсивність опадів ( $w$ ). Ці параметри легко визначаються з допомогою датчика температури повітря та «датчика дощу», що є у багатьох сучасних автомобілях. «Інтенсивність опадів» також може бути задана самим водієм при управлінні режимом роботи склоочисника, навіть якщо автомобіль не обладнаний «датчиком дощу». Як вихідна змінна використовується прогнозований коефіцієнт зчеплення ( $\phi'_x$ ). Реалізація даного алгоритму вироблялася в програмному комплексі MATLAB.

Для вхідної змінної температура повітря вибрана як два терми: низька та висока {Н, В}. Як функції приналежності вибрана трапецеїдальна форма (trapezmf). На рис. 2.5 представлені графіки функцій приналежності відповідних термів.

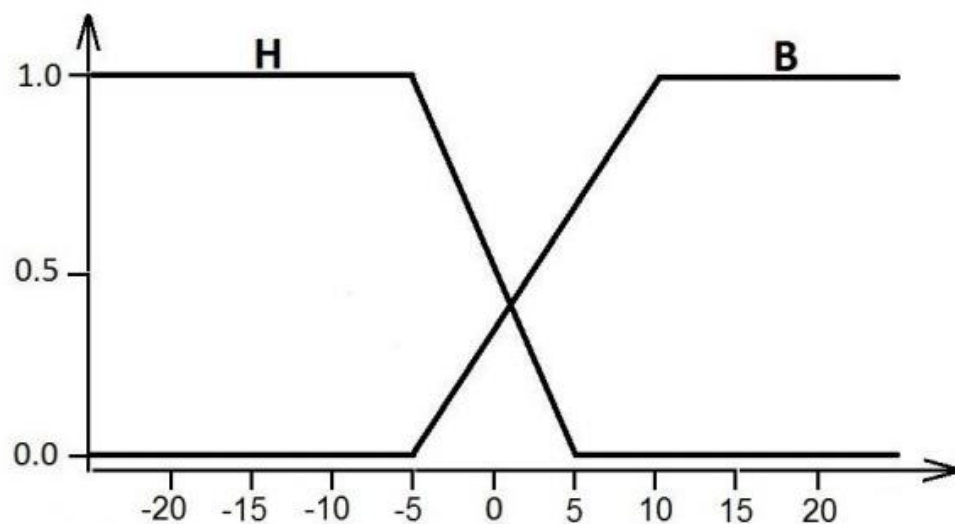


Рисунок 2.5. Терми вхідної змінної температура повітря ( $t$ )

Для вхідної змінної інтенсивність опадів вибрано також два терми: низька та висока {Н, В}. Як функції приналежності вибрана трикутна форма (trimf). На рис. 2.6 представлені графіки функцій приналежності відповідних термів.

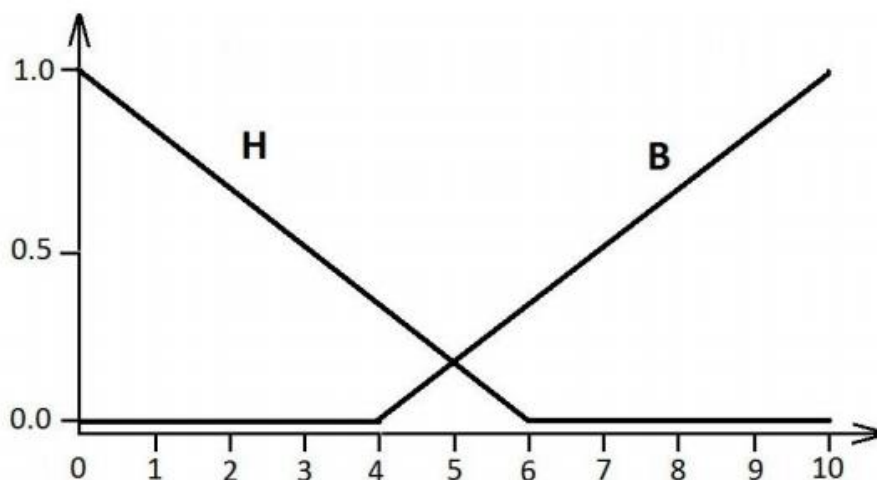


Рисунок. 2.6. Терми вхідної змінної інтенсивність опадів ( $w$ )

На даних графіках по осі абсцис розташовані значення: температури повітря (рис. 2.5) в градусах Цельсія та інтенсивність опадів (рис. 2.6) в умовних одиницях. По осі ординат на обох графіках нанесена імовірність. Вихідна змінна - коефіцієнт зчеплення, задана за допомогою трьох термів: низький, середній і високий {Н, С, В}. На рис 2.7 представлені графіки функцій приналежності відповідних термів. Форма функцій приналежності - трикутна.

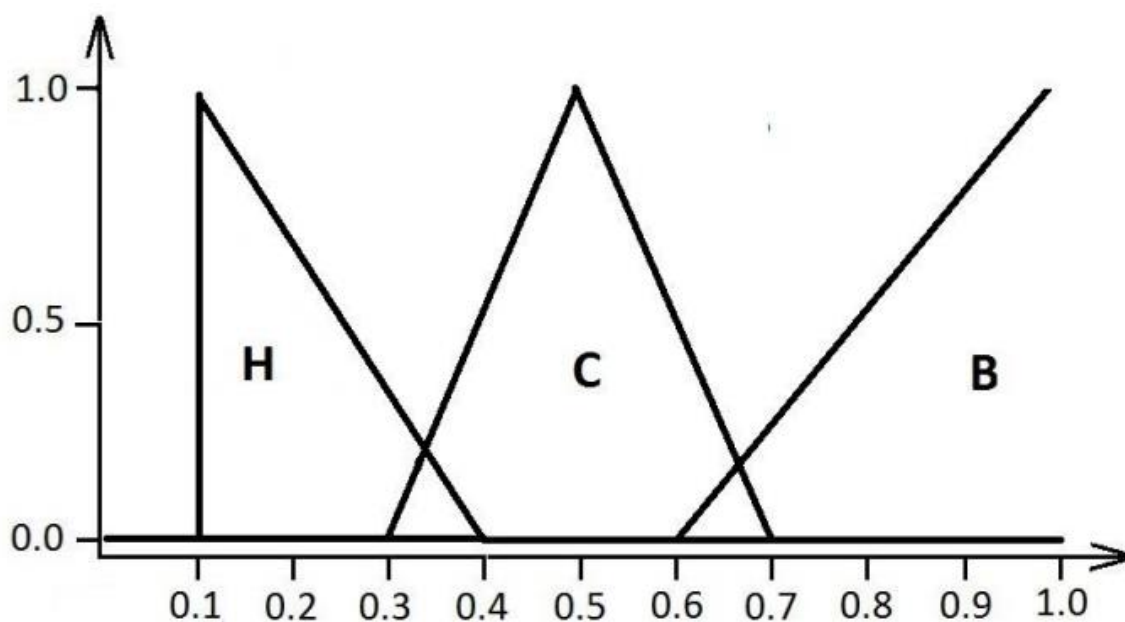


Рисунок 2.7. Терми вихідної змінної коефіцієнт зчеплення ( $\phi_x$ )

Слід відзначити, що розташування даних термів, їх кількість та форми функцій приналежності були вибрані виходячи із загальних міркувань логіки й інтуїтивних припущень, оскільки отримання точних значень даних елементів механізму прогнозування вимагає окремих широкомасштабних статистичних досліджень, пов'язаних з трудомісткими експериментальними дослідженнями. Також встановлено наступні правила:

- Якщо температура повітря низька й інтенсивність опадів низька, то коефіцієнт зчеплення середній.
- Якщо температура повітря низька, а інтенсивність опадів висока, то коефіцієнт зчеплення низький.
- Якщо температура повітря висока, а інтенсивність опадів низька, то коефіцієнт зчеплення високий.
- Якщо температура повітря висока й інтенсивність опадів висока, то коефіцієнт зчеплення середній.

Дані правила можуть бути представлені у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

$t_{\text{повітря}}$	$(w)$	$(\varphi'_x)$
Н	Н	С
Н	В	Н
В	Н	В
В	В	С

Як алгоритм логічного висновку був застосований поширений алгоритм Мамдані. В даному випадку логічний висновок складається з наступних етапів:

1. Введення нечіткості - фазифікація. Функції приналежності, визначені на вхідних змінних, застосовуються до їх фактичних значень для визначення ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

2. Логічний висновок. Обчислене значення істинності для передумов кожного правила застосовується до висновків кожного правила. Це призводить до однієї нечіткої підмножини, яка буде призначена змінною висновку кожного правила. В якості правила логічного висновку застосоване правило

МІНІМУМУ (min) при якому функція приналежності висновку «відсікається» по висоті, відповідному обчисленому ступеню істинності передумови правила.

3. Агрегація. Всі нечіткі підмножини, призначені до змінної висновку (у всіх правилах), об'єднуються разом, щоб сформувати одну нечітку підмножину для змінної висновку. При подібному об'єднанні була використана операція МАКСИМУМУ (max) - комбінований висновок нечіткої підмножини конструюється як поточковий максимум по всіх нечітких підмножинах.

4. Приведення до чіткості - дефазифікація. Перетворення нечіткого набору висновків в чітке число. Був застосований центроїдний метод: чітке значення вихідної змінної визначається як центр ваги для кривої.

## 2.4. Результати моделювання

Результати моделювання алгоритму прогнозування коефіцієнта зчеплення в програмному комплексі MATLAB [19] можуть бути представлені у вигляді поверхні (рис. 2.8).

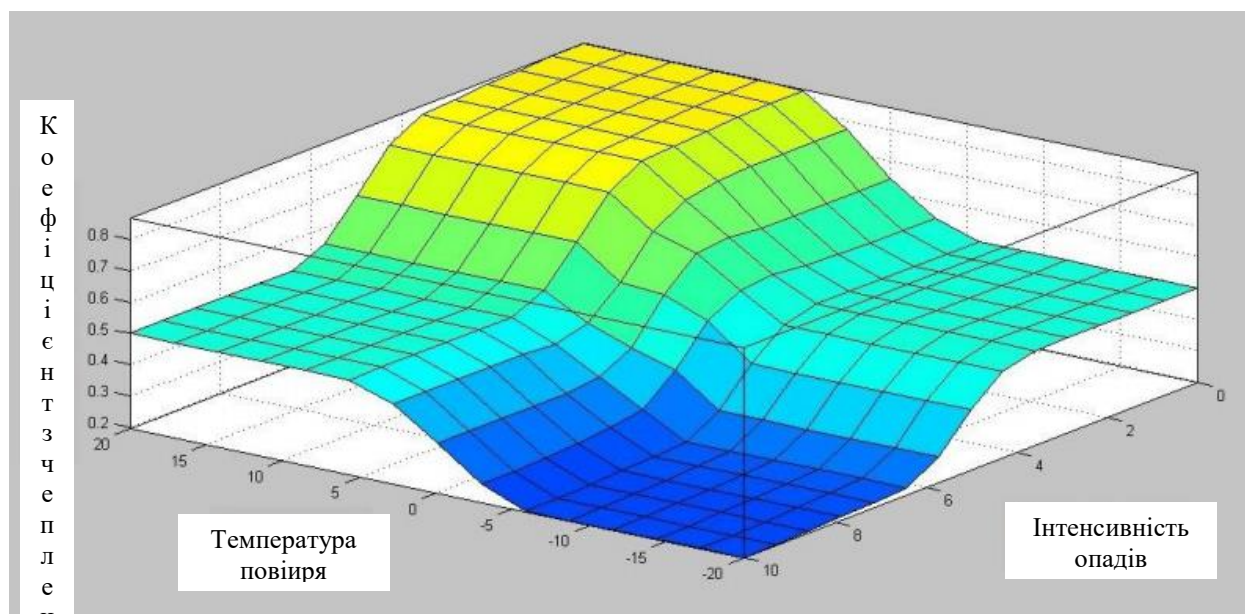


Рисунок 2.8. Графічне представлення результатів моделювання

З метою підвищення ефективності САЕГ розроблений метод «контрольного гальмування». Таким чином, може бути підвищена точність роботи САЕГ на основі алгоритму прогнозування. Застосування «контрольного гальмування» викликане необхідністю уточнення спрогнозованого значення коефіцієнта зчеплення ( $\varphi'_x$ ) коліс ТЗ з опорною поверхнею.

Блок управління (БУ) САЕГ (рис. 2.2) обчислює значення зупинного шляху ( $S'_{\text{зал}}$ ) з урахуванням спрогнозованого значення коефіцієнта зчеплення і коефіцієнта запасу  $k_S$ . Коли виконується умова:  $D_{\text{спрац}} = S'_{\text{зал}} \cdot k_S$  САЕГ активує сигнал попередження про зіткнення і «контрольне гальмування» - система автоматичного гальмування короткочасно проводить один цикл загальмовування - розгальмовування коліс однієї з осей автомобіля. Таким чином, стає можливим точне визначення поточного значення коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою ( $\varphi_x$ ), на основі якого БУ САЕГ розраховує точне значення  $S_{\text{зал}}$  та визначає величину необхідного уповільнення, а також дистанцію активації автоматичного гальмування.

На рис. 2.9 представлена схема сил, діючих на колесо в режимі розгальмовування.

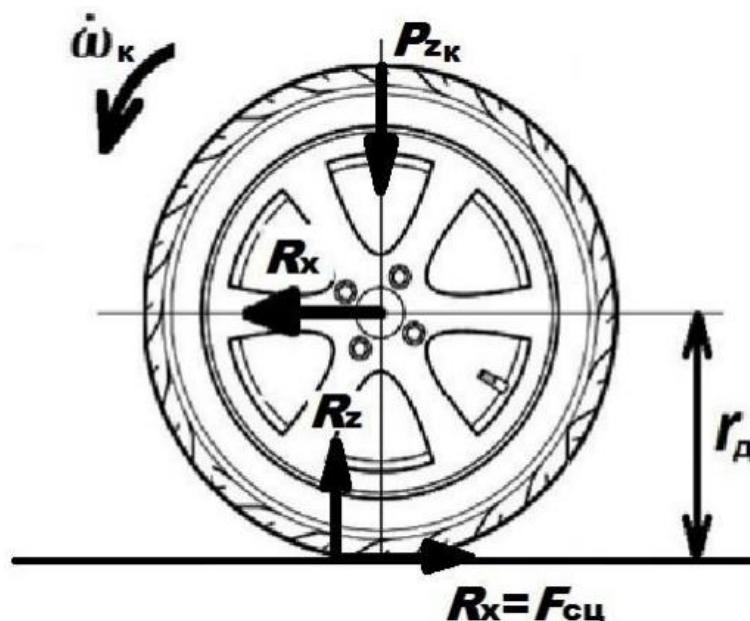


Рисунок 2.9. Сили, діючі на колесо в режимі розгальмовування



Кутове прискорення  $\dot{\omega}_k$  колеса залежить від сили зчеплення  $F_{зч}$  в зоні контакту, динамічного радіусу колеса  $r_D$  в гальмівному режимі і моменту інерції колеса  $J_K$  (опором кочення в даному випадку можна нехтувати):

$$w_k = \frac{F_{зч} \cdot r_D}{J_K} = \frac{(\varphi_{x_k} \cdot P_{Z_k}) \cdot r_D}{J_K} \quad (2.11)$$

Перетворюючи формулу (3.11) можна визначити силу зчеплення в зоні контакту колеса з дорогою:

$$(\varphi_{x_k} \cdot P_{Z_k}) = \frac{w_k \cdot J_K}{r_D} \quad (2.12)$$

Перетворюючи яку, можна визначити уточнене значення коефіцієнта зчеплення колеса з опорною поверхнею  $\varphi_{x_k}$

$$\varphi_{x_k} = \frac{w_k \cdot J_K}{r_D \cdot P_{Z_k}} \quad (2.13)$$

Формула (3.13), представлена для коліс задньої осі автомобіля, матиме наступний вигляд:

$$\varphi_{x_2} = \frac{2 \cdot w_k \cdot J_K}{r_D \cdot P_{Z_{2дин}}} \quad (2.14)$$

де:  $\varphi_{x_2}$  - коефіцієнт зчеплення коліс задньої осі ТЗ з опорною поверхнею;

$P_{Z_{2дин}}$  - навантаження на задню вісь ТЗ з урахуванням перерозподілу навантаження при уповільненні.

Кутове прискорення колеса  $\dot{\omega}_k$  можливо визначити під час виконання «контрольного гальмування». Динамічний радіус колеса можна прийняти рівним статичному:  $r_D = r_{ст}$ . Момент інерції колеса  $J_K$  є постійною величиною. Навантаження  $P_{Z_{2дин}}$  залежить від сповільнення автомобіля  $j_c$  при гальмуванні однією віссю. Уповільнення  $j_c$  при виконанні «контрольного гальмування» може бути розраховано за формулою:

$$j_c = \frac{\varphi_{x_2} \cdot P_{Z_{2дин}}}{m_a \cdot \delta_{об2}} \quad (2.15)$$

де:  $m_a$  - маса ТР;

$\delta_{o\delta 2}$  - коефіцієнт обліку обертових мас для коліс передньої осі ТЗ.

Коефіцієнт обліку обертових мас  $\delta_{o\delta 1}$  для коліс передньої осі, які не задіяні в процесі виконання «контрольного гальмування», визначається за наступною формулою:

$$\delta_{o\delta 1} = 1 + \frac{\sum j_K}{m_a \cdot r_D^2} \quad (2.16)$$

Навантаження  $P_{Z_{2\text{дин}}}$  обчислюється за формулою [13]:

$$P_{Z_{2\text{дин}}} = \frac{m_a \cdot g \left( a - h_g \frac{j_c}{g} \right)}{L}, \quad (2.17)$$

Де  $a$  – відстань від центру мас ТЗ до центру передньої осі;

$h_a$  – висота центру мас ТЗ;

$L$  – колісна база ТЗ.

Відстань від центру мас ТЗ до центру передньої осі визначаємо за формулою

$$a = L - \frac{P_{z1}}{m_a \cdot g} \quad (2.18)$$

де  $P_{z1}$  – статичне навантаження на передню вісь ТЗ.

Величину висоти центру ваги  $h_g$  приймаємо рівною діаметру колеса, що підтверджено в [12].

Підставивши значення (2.15) в формулу (2.17), отримаємо:

$$P_{Z_{2\text{дин}}} = \frac{m_a \cdot g \left( a - h_g \left( \frac{\varphi_{c2} \cdot P_{x_{2\text{дин}}}}{m_a \cdot \delta_{o\delta 1} \cdot g} \right) \right)}{L}, \quad (2.19)$$

Після перетворення (2.19), отримуємо

$$P_{Z_{2\text{дин}}} = \frac{m_a \cdot g \cdot a}{L + \frac{\varphi_{x2} \cdot h_g}{\delta_{o\delta 1}}}, \quad (2.20)$$

Підставивши (2.20) в формулу 2.14), отримаємо:

$$\varphi_{x2} = \frac{2 \cdot w_K \cdot j_K \left( L + \frac{\varphi_{x2} \cdot h_g}{\delta_{o\delta 1}} \right)}{r_D \cdot m_a \cdot g \cdot a} \quad (2.21)$$

Після перетворення формули (2.21), одержуємо формулу для визначення коефіцієнта зчеплення коліс задньої осі ТЗ з опорною поверхнею при виконанні «контрольного гальмування» колесами тільки задньої осі:

$$\varphi_{x_2} = \frac{2 \cdot w_{\kappa} \cdot j_K \cdot L}{r_D \cdot m_a \cdot g \cdot a - \frac{2 \cdot w_{\kappa} \cdot j_K \cdot h_g}{\delta_{об1}}} \quad (2.22)$$

За допомогою аналогічних міркувань одержуємо формулу для визначення коефіцієнта зчеплення коліс передньої осі ТЗ з опорною поверхнею під час виконання «контрольного гальмування» колесами тільки передньої осі:

$$\varphi_{x_1} = \frac{2 \cdot w_{\kappa} \cdot j_K \cdot L}{r_D \cdot m_a \cdot g \cdot b - \frac{2 \cdot w_{\kappa} \cdot j_K \cdot h_g}{\delta_{об2}}} \quad (2.23)$$

Вибір для виконання контрольного гальмування передньої або задньої осі автомобіля залежить від типу його приводу і розподілу ваги по осях.

### Висновки до розділу

1. Запропонований алгоритм функціонування САЕГ, що враховує зміну коефіцієнта зчеплення шин з поверхнею.

2. Розроблена методика прогнозування можливої величини коефіцієнта зчеплення шин з опорною поверхнею, що складається з двох етапів: попереднього прогнозування стану дорожнього покриття на основі аналізу температури повітря і інтенсивності опадів та уточнення коефіцієнта зчеплення на основі аналізу параметрів контрольного гальмування.

3. Виведені формули для визначення коефіцієнта зчеплення шин передньої та задньої осей ТЗ з опорною поверхнею при виконанні «контрольного гальмування». Виведені формули для визначення коефіцієнта зчеплення шин передньої та задньої осей ТЗ з опорною поверхнею при виконанні «контрольного гальмування».

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ САЕГ

#### 3.1. Програма експериментальної оцінки ефективності дії САЕГ

На основі аналізу існуючих методів оцінки САЕГ створена програма досліджень [8], що містить 9 випробувальних тестів. Всі випробувальні тести, окрім 8 - подовжні, тобто безпосередньо під час випробувального заїзду об'єкт рухається по прямолінійній траєкторії з постійною швидкістю. У ряді тестів водій-випробувач виконує маневр об'їзду «перешкоди» щоб уникнути зіткнення з нею. Даний маневр виконується на мінімально безпечній відстані від «перешкоди» [14].

Як «перешкоди» використовуються: м'яка стіна; автомобіль; макет мотоцикла; велосипед; надувний манекен.

Переважне застосування «м'якої перешкоди» пояснюється підвищенням безпеки випробувальних заїздів, при обов'язковій умові адекватного виявлення такої перешкоди з боку САЕГ об'єкту випробувань.

Група тестів функціональних випробувань передбачає тести, що дозволяють одержати дані про функціональні характеристики САЕГ: здібності до виявлення різних типів перешкод, дистанції до перешкоди, на якій спрацьовує сигнал попередження про зіткнення; уповільнення об'єкту за відсутності реакції водія на сигнал попередження про зіткнення. Випробувальні заїзди групи функціональних тестів проводяться на сухому, вологому і засніженому асфальтобетонному покритті, а також на зволоженому базальті (для деяких тестів), що імітує покриття з низьким коефіцієнтом зчеплення [24]. Тести провокаційних випробувань передбачають створення умов, що провокують помилкове спрацьовування САЕГ.

У частині тестів «перешкода» встановлюється (або здійснює рух) із зміщенням. Зміщення «перешкоди» - поперечна відстань між подовжніми осями об'єкту й «перешкодою», вимірювана у відсотках від ширини об'єкту. Якщо подовжні осі об'єкта і «перешкоди» співпадають, то значення зсуву дорівнює нулю. При зсуві «перешкоди», рівному 100%, остання знаходиться в сусідній смузі (рис. 2.1).

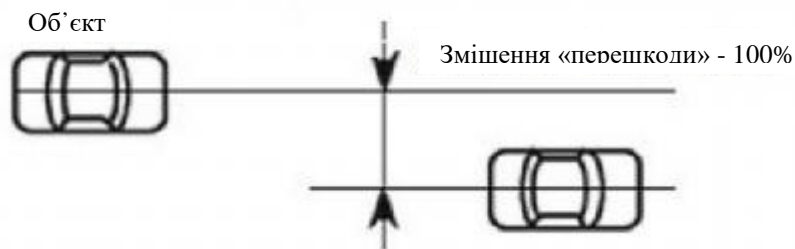


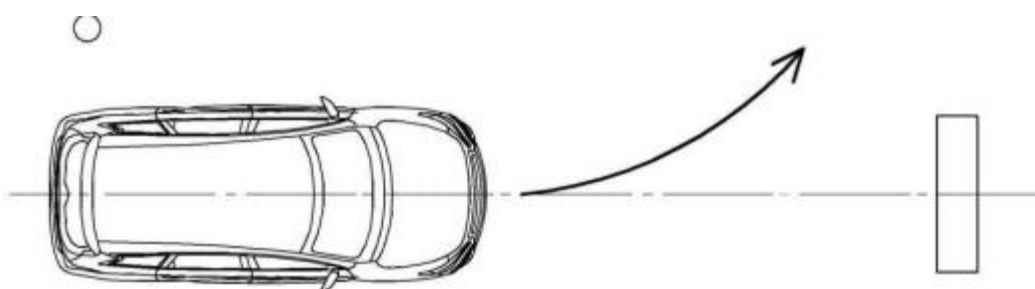
Рисунок 2.1. Розташування об'єкта випробувань і «перешкоди» при зсуві 100%  
Випробувальні тести та параметри представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Випробувальні тести та параметри

Тест	Маневр	«Перешкода»	Швидкість об'єкту, км/год	Зсув «перешкоди», %	Покриття
Функціональні випробування					
1	Ухилення	М'яка стіна	40 60 80	0	Сухий асфальтобетон, зволожений асфальтобетон, втрамбований сніг
2	Пряме гальмування (гальмує САЕГ)	М'яка стіна	40 60 80	0	Сухий асфальтобетон, Зволожений асфальтобетон, втрамбований сніг
3	Ухилення	Автомобіль	40 60 80	0	Сухий асфальтобетон, зволожений асфальтобетон, втрамбований сніг
4	Ухилення	Макет мотоцикла	40 60 80	0	Сухий асфальтобетон, зволожений асфальтобетон, втрамбований сніг
5	Ухилення	Велосипед	40 60 80	0	Сухий асфальтобетон, Зволожений асфальтобетон,
6	Ухилення	Манекен	40 60 80	0	Сухий асфальтобетон
Провокаційні випробування					
7	Пряме гальмування (гальмує САЕГ)	Автомобіль (сповіль- нюється)	70	100	Сухий асфальтобетон
8	Гальмування при повороті (гальмує САЕГ)	Автомобіль (сповіль- нюється)	40 60 70	100	Сухий асфальтобетон

9	Пряме гальмування (гальмує САЕГ)	Автомобіль (сповільнюється)	70	20	Сухий асфальтобетон
---	----------------------------------	-----------------------------	----	----	---------------------

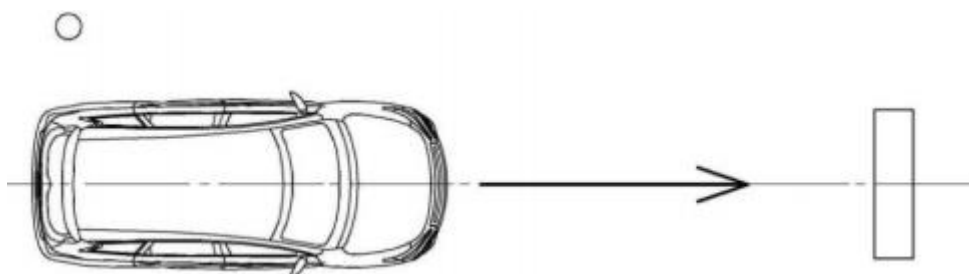
Тест 1 (рис. 3.2) передбачає випробування функціональних можливостей САЕГ з типом «перешкоди» - м'яка стіна, яка встановлюється з нульовим зсувом. Після отримання сигналу попередження про зіткнення, водій не вживає заходів до зниження швидкості. Для виключення можливого контакту з «перешкодою» водій-випробувач скоює маневр ухилення. Випробувальні заїзди проводяться на сухому, зволоженому асфальтобетоні і втрамбованом снігу.



$$V_1 = 40 \text{ км/год.}; V_2 = 60 \text{ км/год.}; V_3 = 80 \text{ км/год.}$$

Рисунок 3.2. Схема тесту 1.

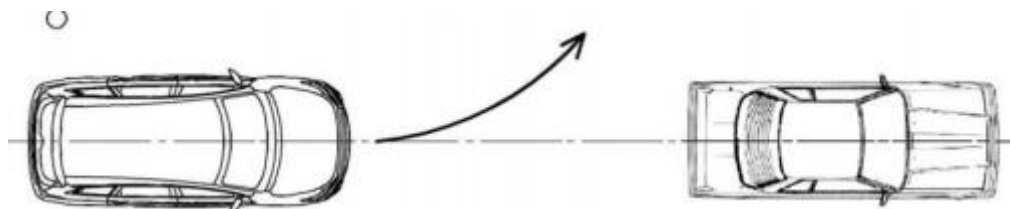
Тест 2 (рис. 3.3) передбачає випробування функціональних можливостей САЕГ з типом «перешкоди» - м'яка стіна, яка встановлюється без зсуву. Після отримання сигналу попередження про зіткнення, водій-випробувач не гальмує, а чекає уповільнення об'єкту від дії САЕГ. Об'єкт під час уповільнення залишається в смузі руху. Випробувальні заїзди проводяться на сухому, зволоженому асфальтобетоні, зволоженому базальті та втрамбованому снігу.



$$V_1 = 40 \text{ км/год.}; V_2 = 60 \text{ км/год.}; V_3 = 80 \text{ км/год.}$$

Рисунок 3.3. Схема тесту 2.

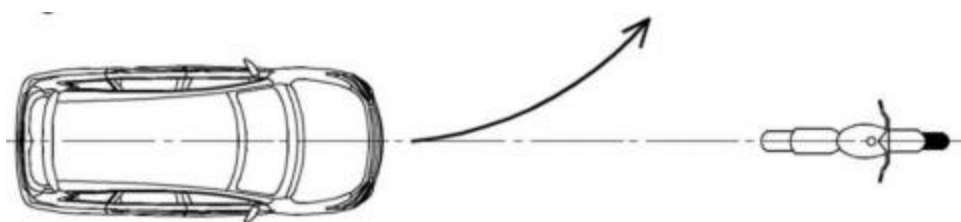
Тест 3 (рис. 3.4) передбачає випробування функціональних можливостей САЕГ з типом «перешкоди» - автомобіль. «Перешкода» встановлюється без зсуву. Після отримання сигналу попередження про зіткнення, водій не знижує швидкості. Щоб уникнути можливого контакту з «перешкодою» водій-випробувач скоює маневр ухилення. Випробувальні заїзди проводяться на сухому, зволоженому асфальтобетоні та втрамбованому снігу.



$$V_1 = 40 \text{ км/год.}; V_2 = 60 \text{ км/год.}; V_3 = 80 \text{ км/год.}$$

Рисунок 3.4. Схема тесту 3.

Тест 4 (рис. 3.5) передбачає випробування функціональних можливостей САЕГ з типом «перешкоди» - макет мотоцикла. «Перешкода» встановлюється без зсуву. Після отримання сигналу попередження про зіткнення, водій не знижує швидкості. Щоб уникнути можливого контакту з «перешкодою» водій-випробувач скоює маневр ухилення. Випробувальні заїзди проводяться на сухому, зволоженому асфальтобетоні та втрамбованому снігу.

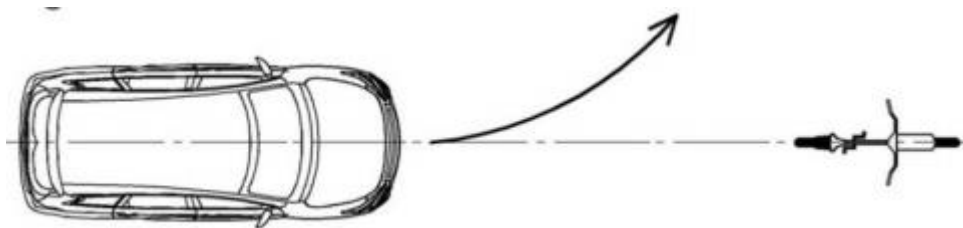


$$V_1 = 40 \text{ км/год.}; V_2 = 60 \text{ км/год.}; V_3 = 80 \text{ км/год.}$$

Рисунок 3.5. Схема тесту 4

Тест 5 (рис. 3.6) передбачає випробування функціональних можливостей САЕГ з типом «перешкоди» - велосипед. «Перешкода» встановлюється без зсуву. Після отримання сигналу попередження про зіткнення, водій не знижує швидкості. Щоб уникнути можливого контакту з «перешкодою» водій-

випробувач скоює маневр ухилення. Випробувальні заїзди проводяться на сухому, зволоженому асфальтобетоні та втрамбованому снігу.

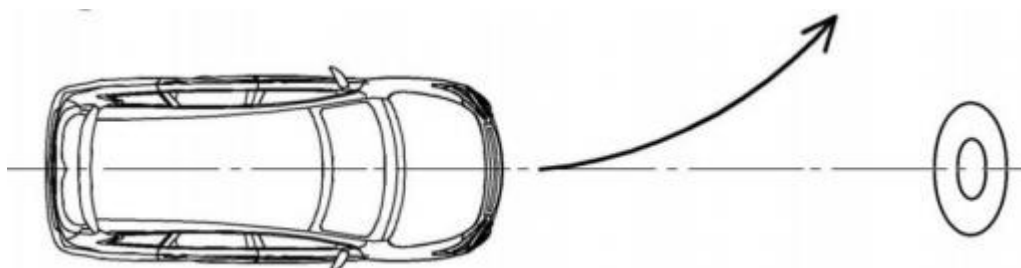


$$V_1 = 40 \text{ км/год.}; V_2 = 60 \text{ км/год.}; V_3 = 80 \text{ км/год.}$$

Рисунок 3.6. Схема тесту 5.

Тест 6 (рис. 3.7) передбачає випробування САЕГ на виявлення пішохода, роль якого виконує надувний манекен, з закріпленням на ньому контрастним жилетом зі світловідбиваючими полосками.

«Перешкода» встановлюється нерухомо, без зсуву. Після отримання сигналу попередження про зіткнення, водій не знижує швидкості. Щоб уникнути можливого контакту з «перешкодою» водій-випробувач скоює маневр ухилення. Випробувальні заїзди проводяться на сухому асфальтобетоні.



$$V_1 = 40 \text{ км/год.}; V_2 = 60 \text{ км/год.}; V_3 = 80 \text{ км/год.}$$

Рисунок 3.7. Схема тесту 6.

Тест 7 (рис. 3.8) передбачає випробування САЕГ на провокацію помилкового спрацьовування з типом «перешкоди» - рухомий автомобіль. «Перешкода» рухається в тій самій смузі, що і об'єкт випробувань. У сусідній смузі рухається допоміжний ТЗ - інший автомобіль. Після початку функціонального етапу випробувань, допоміжний ТЗ інтенсивно сповільнюється. Потім, через декілька секунд інтенсивно сповільнюється



«перешкода». САЕГ об'єкту випробувань не повинна реагувати на уповільнення допоміжного автомобіля і спрацювати при уповільненні автомобіля «перешкоди». Випробувальні заїзди проводяться на сухому асфальтобетоні.

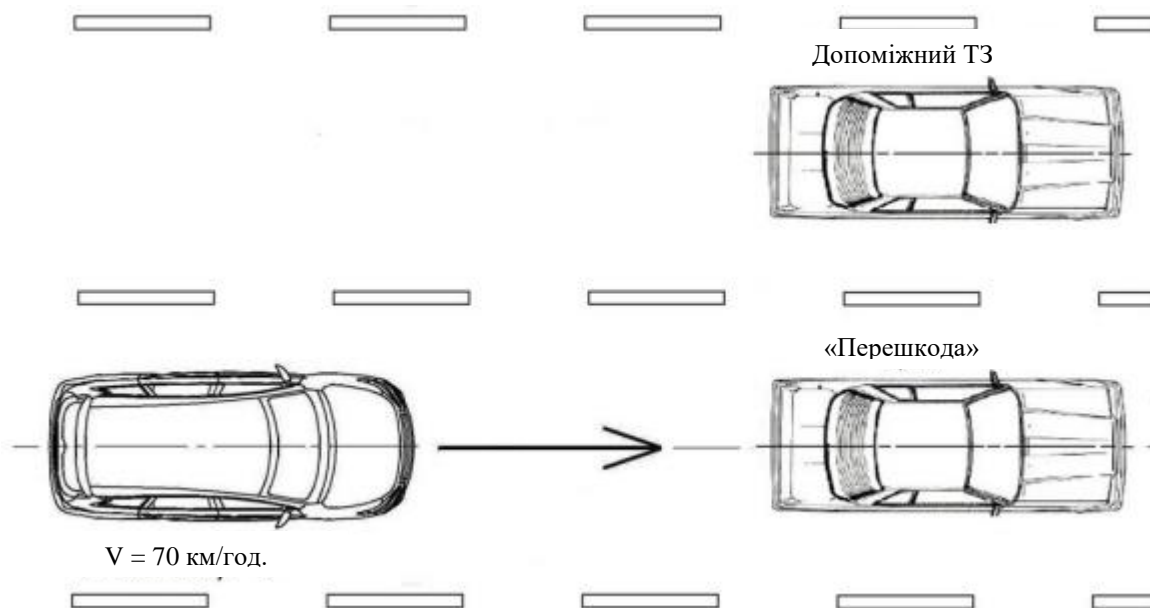


Рисунок 3.8. Схема тесту 7.

Тест 8 (рис. 3.9) передбачає випробування САЕГ на провокацію хибного спрацювання на повороті з типом «перешкоди» - автомобіль. «Перешкода» рухається в тій самій смузі, що і об'єкт випробувань. У сусідній (зовнішній відносно центру повороту) смузі рухається допоміжний ТЗ - інший автомобіль. Після початку функціонального етапу випробувань, допоміжний ТЗ інтенсивно сповільнюється. Потім, через декілька секунд інтенсивно сповільнюється «перешкода». САЕГ об'єкту випробувань не повинна реагувати на сповільнення допоміжного автомобіля і спрацювати при сповільненні автомобіля «перешкоди». Випробувальні заїзди проводяться на сухому асфальтобетоні.

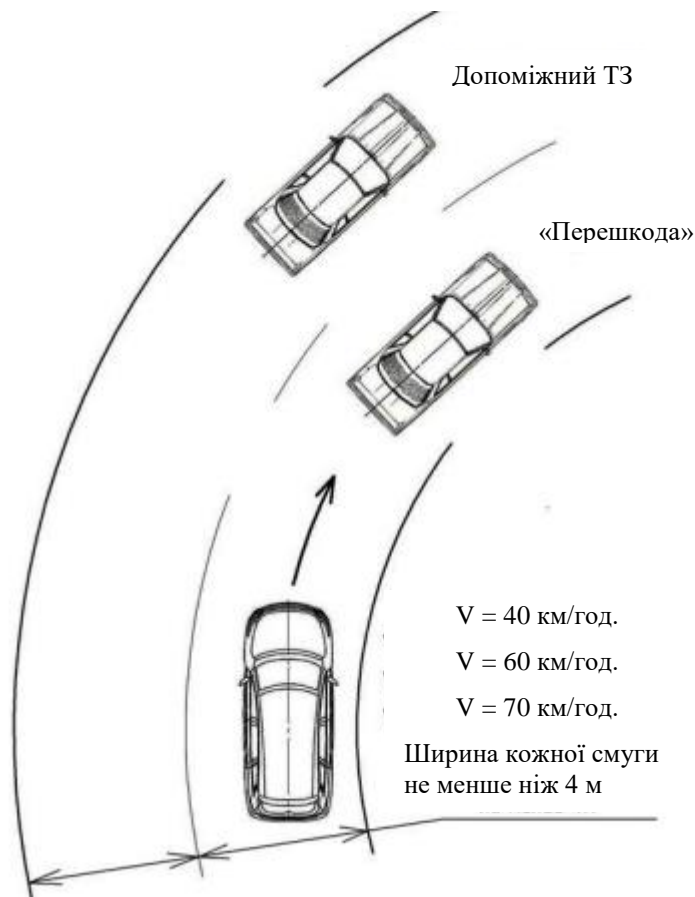


Рисунок 3.9. Схема тесту 8.

Тест 9 (рис. 3.10) передбачає випробування САЕГ на провокацію помилкового спрацьовування при русі по прямій. «Перешкода» рухається перед об'єктом випробувань із зсувом в 20%. Перед «перешкодою» рухається (без зсуву відносно об'єкта випробувань) допоміжний ТЗ. Після початку функціонального етапу випробувань «перешкода» інтенсивно сповільнюється. Допоміжний ТЗ продовжує рух з попередньою швидкістю. САЕГ об'єкта випробувань повинна спрацьовувати при сповільненні автомобіля «перешкоди». Випробувальні заїзди проводяться на сухому асфальтобетоні.

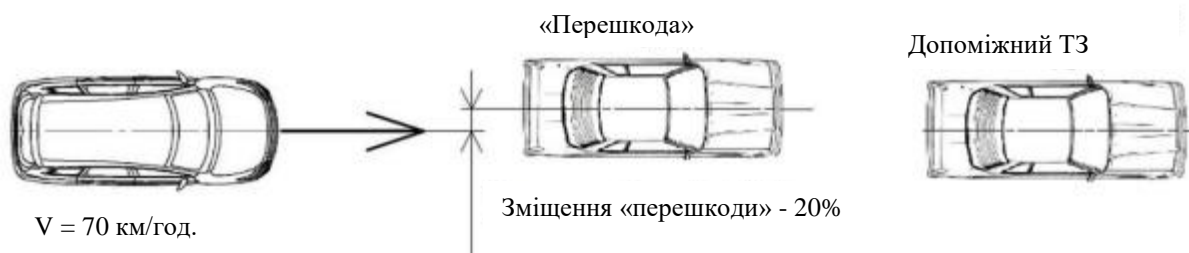


Рисунок 3.10. Схема тесту 9

### 3.2. Об'єкти випробувань

Як об'єкт випробувань було задіяно два автомобілі Infiniti QX 60 Hi-tech (код VIN:5N1AL0MM6GC528249) на першому етапі випробувань та повністю ідентичний автомобіль Infiniti QX 60 Hi-tech (код VIN: 5N1AL0MM7GC535114), на другому етапі випробувань. Надалі автомобіль, що використовувався на першому етапі випробувань, іменуватиметься об'єкт № 1, на другому етапі випробувань - об'єкт № 2. Технічні характеристики представлені в [8]. Зовнішній вигляд представлений на рис. 3.11.



**Рисунок 3.11. Зовнішній вигляд автомобіля Infiniti QX 60**

Пробіг об'єкта випробувань № 1 на початок проведення випробувань становив: 13064 км. Рік випуску ТЗ: 2016. Маса ТЗ з водієм і встановленим устаткуванням: 2221 кг, зокрема 1218 кг на передню вісь і 1003 на задню.

На об'єкті встановлені наступні системи допомоги водію:

- LDP - система запобігання відхиленню від смуги руху;
- BSW - система попередження про зони, що не проглядаються;
- ICC - інтелектуальна система круїз-контролю з повним діапазоном регулювання швидкості;
- DCA - система контролю дистанції;
- FCW - система попередження про можливість фронтального зіткнення;
- IBA - інтелектуальна система допомоги при гальмуванні;

- FEB (САЕГ) - система екстреного гальмування при небезпеці фронтального зіткнення з функцією виявлення пішоходів [28]. Система FEB (САЕГ), використовує радар, встановлений позаду нижньої ґратки переднього бампера, для вимірювання відстані до автомобіля, що рухається в тій же смузі руху. Для виявлення пішоходів, передбачена камера, встановлена за вітровим склом зверху. Система FEB функціонує при швидкостях більше 5 км/год. та від 10 км/год. до 60 км/год при виявленні пішоходів.

Під час першого етапу випробувань на об'єкті № 1 були встановлені шини марки Bridgestone, моделі Dueler H/P sport as, розміром 235/55 R20.

Під час першого етапу випробувань на об'єкті № 2 були встановлені шини марки Yokohama, моделі Geolandar I/T-S, розмірністю 235/55 R20.

Тиск в шинах був виставлений відповідно до рекомендацій заводу-виробника, за допомогою автомобільного компресора.

Як об'єкт випробувань №3 використано автомобіль Subaru XV (код VIN: JF1GT7LL5JGO10908). Технічні характеристики цього автомобіля представлені в [11]. Зовнішній вигляд показані на рис. 3.12.



Рисунок 3.12. Зовнішній вигляд автомобіля Subaru XV

Пробіг об'єкта випробувань №3 на початок випробувань склав 50008 км. Рік випуску ТЗ: 2018 р. Маса ТЗ з водієм і установленим вимірювальним комплексом: 1665 кг, зокрема 970,5 кг на передню вісь і 694,5 кг на задню.

На об'єкті випробувань №3 встановлені зимові шини Nokian Hakkapeliitta R2 SUV розмірністю 225/55 R18.

Тиск в шинах вставлений відповідно до рекомендацій заводу-виробника за допомогою автомобільного компресора.

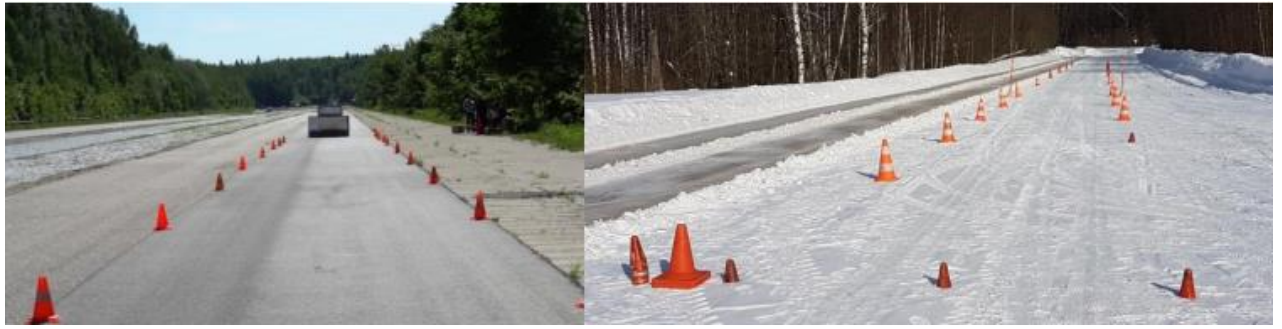
На автомобілі Subaru XV встановлена система автоматичного екстреного гальмування (САЕГ) Pre-Collision Braking System з функцією розпізнавання пішоходів [11]. Як засіб «технічного зору» використовується система EyeSight на основі стереокамери, розташованої у верхній частині лобового скла автомобіля (рис. 3.13).



Рисунок 3.13. Стереокамера системи EyeSight автомобіля Subaru XV

### 3.3. Випробувальна ділянка

Випробувальні заїзди були виконані на території комплексу спеціальних доріг. Безпосередньо для випробувальних заїздів використовувалася ділянка завдовжки 200 м та шириною 10 м, що має асфальтобетонне покриття. В кінці випробувальної ділянки (рис. 3.14 А) встановлюється нерухома «перешкода» (м'яка стіна, автомобіль та ін.). Оскільки в програму випробувань входили заїзди на покриттях з низьким коефіцієнтом зчеплення, був задіяний майданчик з базальтовим покриттям, а також аналогічна ділянка, з розміткою на втрамбованому снігу (рис. 3.14, Б). У зв'язку з тим, що методика випробувань передбачає різке маневрування об'єкта випробувань безпосередньо перед «перешкодою» щоб уникнути зіткнення з нею, поряд з випробувальною ділянкою знаходиться аналогічна по ширині смуга - допоміжна ділянка.



А - на сухому асфальтобетоні;                      Б - на втрамбованому снігу.

Рисунок 3.14. Випробувальні ділянки

Випробувальна ділянка розмічається сигнальними конусами, встановленими по обох його сторонах. Конуси встановлюються на заданій відстані від перешкоди та один від одного (рис. 3.15). Наявність конусів дозволяє здійснювати візуальний контроль по відеозаписах випробувальних заїздів і при обробці параметричних записів.

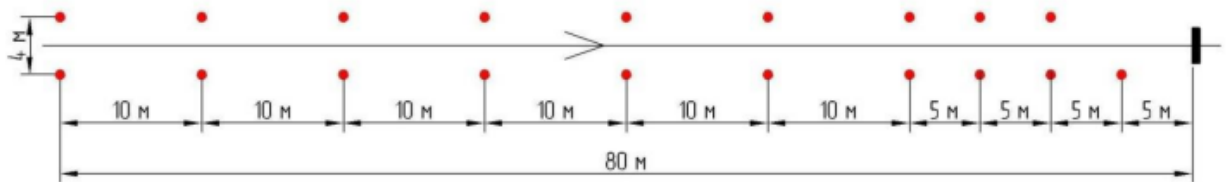


Рисунок 3.15. Розмітка випробувальної ділянки

Перед початком випробувань зафіксовано точні географічні координати всіх конусів (рис. 3.16) та розташування «перешкоди».



Рисунок 3.16. Параметричний запис розмітки випробувальної ділянки

### 3.4. Опис «першкод»

Як «перешкоди» при випробуваннях САЕГ задіяні: - «м'яка стіна» (рис. 3.17); - автомобіль; - макет мотоцикла (рис. 3.18); - велосипед (рис. 3.19); - надувний манекен (рис. 3.20).

З метою безпеки проведення випробувань, спочатку використовувалася м'яка стіна, виконана з картону (рис. 3.17). При можливому контакті з м'якою стіною, ризик пошкодження об'єкта мінімальний. Для поліпшення «видимості» на стіні було закріплене тонке металеве відбиваюче покриття.



Рисунок 3.17. Перешкода- «М'яка стіна»

З метою максимального наближення умов проведення випробувальних заїздів до реальних, як «перешкода» задіяний легковий автомобіль. Заїзди з автомобілем як «перешкоди» проводилися після того, як був визначений загальний характер функціонування САЕГ об'єкту. Це зроблено з метою зведення ризику зіткнення з «перешкодою» до мінімуму.

Також в якості «перешкоди» використовувалися: макет мотоцикла (рис. 3.18) та велосипед (рис. 3.19) зі встановленими водоналивними манекенами.



Рисунок 3.18. Макет мотоцикла



Рисунок 3.19. Велосипед

Для визначення характеристик САЕГ щодо “виявлення” пішоходів, використано надвний манекен, представлений на рис. 3.20



Рисунок 3.20. Надувний манекен

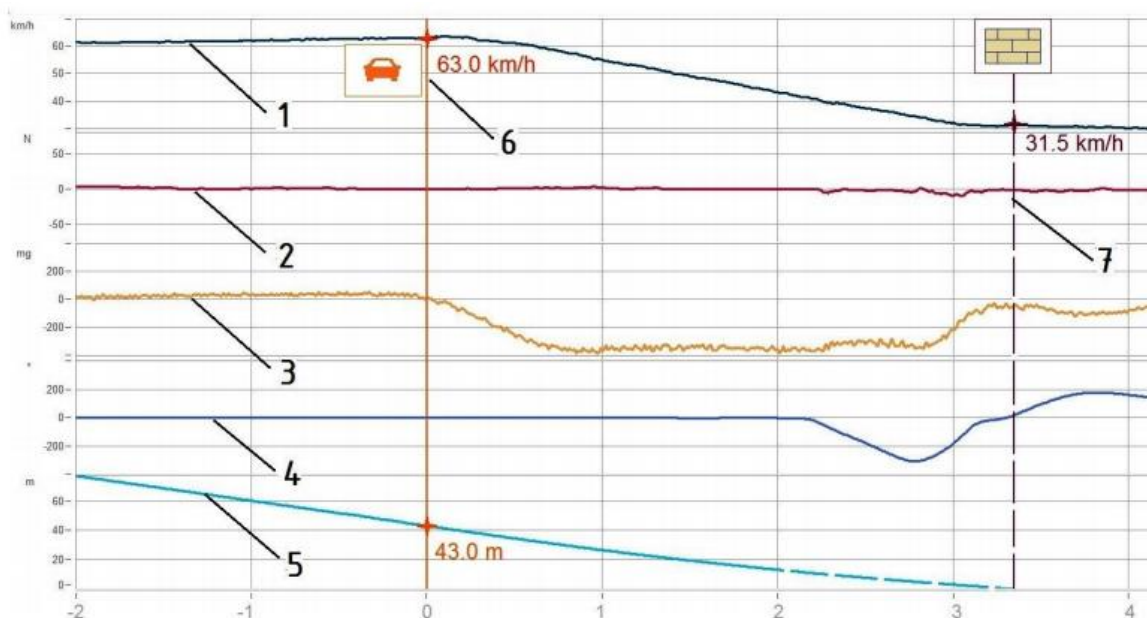


### 3.5. Параметри, що реєструвалися

В процесі дослідження вимірювалися і реєструвалися наступні показники руху об'єкта випробувань [19]:

- час ( $t$ );
- пройдений шлях ( $S$ );
- модуль вектора швидкості автомобіля до опорної поверхні ( $Va$ );
- кругова швидкість лівого переднього колеса ( $V_{лп}$ );
- зусилля на гальмівній педалі ( $F_T$ );
- момент на кермовому колесі ( $Mp$ );
- кут повороту кермового колеса ( $a$ );
- поздовжнє, поперечне та вертикальне прискорення автомобіля ( $j_x, j_y, j_z$ );
- кутова швидкість автомобіля відносно трьох координатних осей ( $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ );
- географічні координати 2 точок автомобіля за даними GPS.

Також під час експериментальних заїздів здійснювався відеозапис приладової панелі об'єкта випробувань з метою фіксації моменту спрацьовування аудіовізуального сигналу попередження про можливе зіткнення. В процесі подальшої обробки зареєстрованих даних здійснювалася синхронізація відеозапису з параметричними записами [24]. Для цього в комплексі вимірювальної та реєструючої апаратури передбачені відповідні лампи синхронізації. В результаті обробки експериментальних даних були одержані графічні залежності для кожного заїзду. На рис. 3.21 як приклад приведений параметричний запис заїзду.



1 - швидкість об'єкта випробувань; 2 - зусилля на педалі гальма об'єкта випробувань; 3 - поздовжнє прискорення об'єкта випробувань; 4 - кут повороту керма об'єкта випробувань; 5 - дистанція між об'єктом випробувань та «перешкодою»; 6 - момент активації функції попередження про зіткнення; 7 - умовне зіткнення об'єкта випробувань з «перешкодою».

Рисунок 3.21. Параметричний запис заїзду №14:

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1. Статистика відмов САЕГ за наслідками випробувань

При проведенні експериментального дослідження неодноразово спостерігалася відмова САЕГ - повна відсутність «реакції» на «перешкоду» (не активувалися функції САЕГ). При відмові, САЕГ не розпізнає «перешкоду» як загрозу. Залежність кількості відмов від типу «перешкоди» для всіх об'єктів випробувань представлена в таблиці 4. 1.

Таблиця 4.1 - Кількість заїздів/відмов САЕГ залежно від типу «перешкоди»

Тип «перешкоди»	Кількість проведених заїздів/відмов	
	Infiniti QX60	Subaru XV
М'яка стіна	78/14	5/0
Автомобіль	40/3	18/0
Макет мотоцикла	10/3	0/0
Велосипед	9/3	9/0
Надувний манекен	18/5	17/9
РАЗОМ	155/28	49/9

Достатньо велика кількість відмов САЕГ Infiniti QX 60, зафіксовано у випробуваннях з типом перешкоди «м'яка стіна» може бути зумовлене поганим розпізнаванням даної «перешкоди» як загрози, оскільки основним елементом «технічного зору» даної САЕГ є радарний датчик, а відеокамера призначена для розпізнавання пішоходів. Також САЕГ Infiniti QX 60 недостатньо ефективно розпізнає макет мотоцикла і велосипед. Дані відмови також можуть бути пов'язані з недостатньо досконалим алгоритмом розпізнавання зображень.

САЕГ Subaru XV ефективніше розпізнає різні типи «перешкод» як загрозу руху. Це може бути зумовлено іншою концепцією «технічного зору», ніж Infiniti QX 60: застосування стереокамер і прогресивнішого алгоритму розпізнавання зображень підвищує ефективність дії САЕГ.

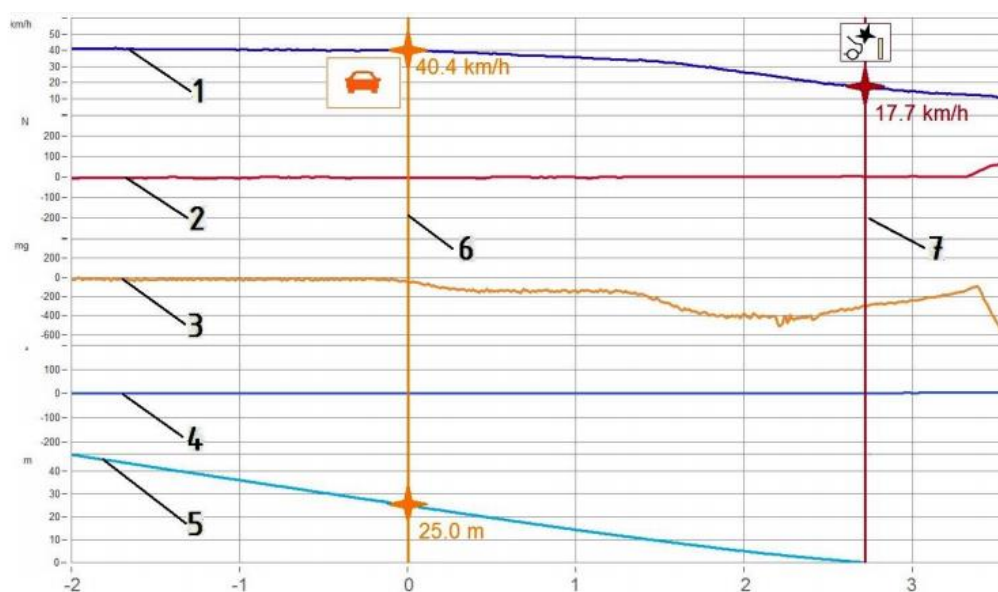
Велика кількість відмов САЕГ у двох об'єктів випробувань з типом «перешкоди» надувний манекен, може пояснюватися радіопрозорістю та вкрай

низьким ступенем подібності: нерухомість, відсутність кінцівок, обличчя та очей.

Результати заїздів «провокаційних» тестів дозволяють зробити висновок про високу стійкість САЕГ до помилкових спрацьовувань, ні в одному із заїздів САЕГ об'єкта випробувань не зреагувала на уповільнення допоміжного автомобіля, але спрацювала при уповільненні автомобіля «перешкоди».

#### 4.2. Аналіз роботи САЕГ в деяких випробувальних заїздах

На рис. 4.1. представлено параметричний запис заїзду тесту 2 для автомобіля Infiniti QX 60. Покриття - сухий асфальтобетон. Швидкість об'єкту випробувань - 40 км/год. Під час виконання автоматичного гальмування розвивається сповільнення  $4 \text{ м/с}^2$ , зіткненню не запобігає. Швидкість об'єкту випробувань у момент зіткнення з «перешкодою» становила 17,7 км/год.

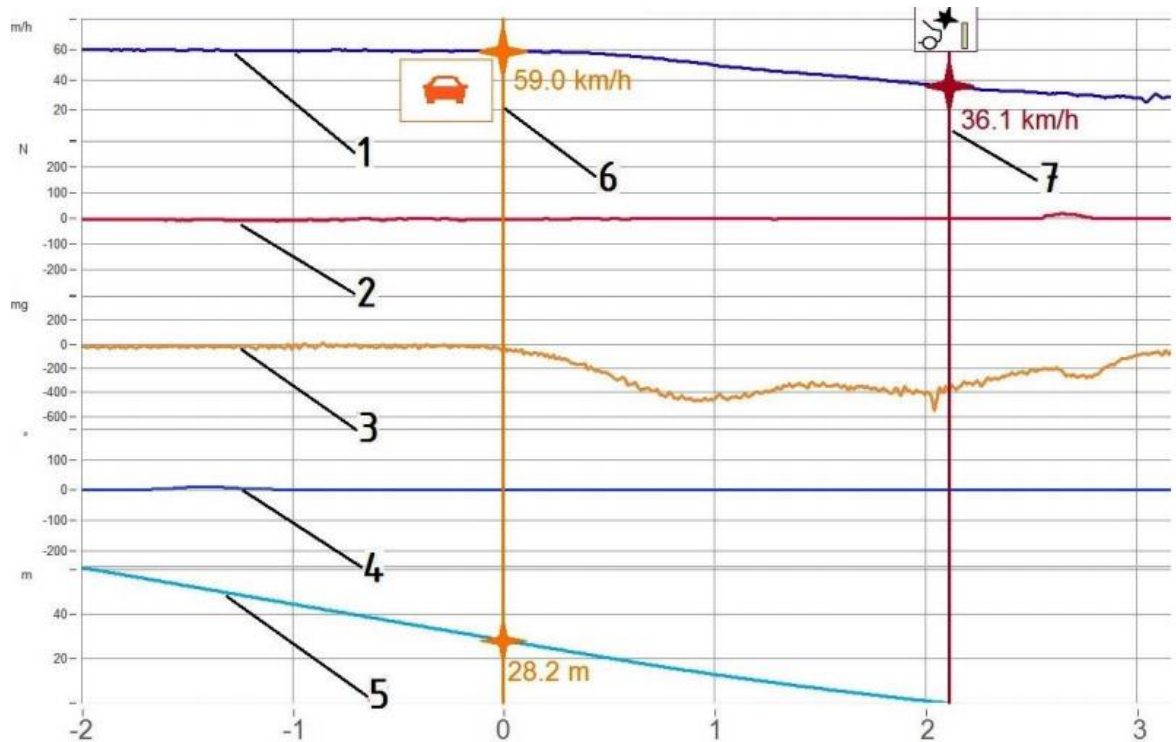


1 - швидкість об'єкта випробувань; 2 - зусилля на педалі гальма об'єкта випробувань; 3 - поздовжнє прискорення об'єкта випробувань; 4 - кут повороту керма об'єкта випробувань; 5 - дистанція між об'єктом випробувань та «перешкодою»; 6 - момент активації функції попередження про зіткнення; 7 - зіткнення об'єкта випробувань з «перешкодою».

Рисунок 4.1. Параметричний запис заїзду №58:

На рис. 4.2. представлено параметричний запис заїзду тесту 2б для автомобіля Infiniti QX 60. Покриття - сухий асфальтобетон. Швидкість об'єкта

випробувань - 60 км/год. Під час виконання автоматичного гальмування розвивається уповільнення  $4 \text{ м/с}^2$ , так само як і в попередньому заїзді. Швидкість об'єкта випробувань у момент зіткнення з «перешкодою» - 36,1 км/год. Таким чином, зниження швидкості при автоматичному гальмуванні: 22,7 км/год. та 22,9 км/год. для розглянутих заїздів відповідно.

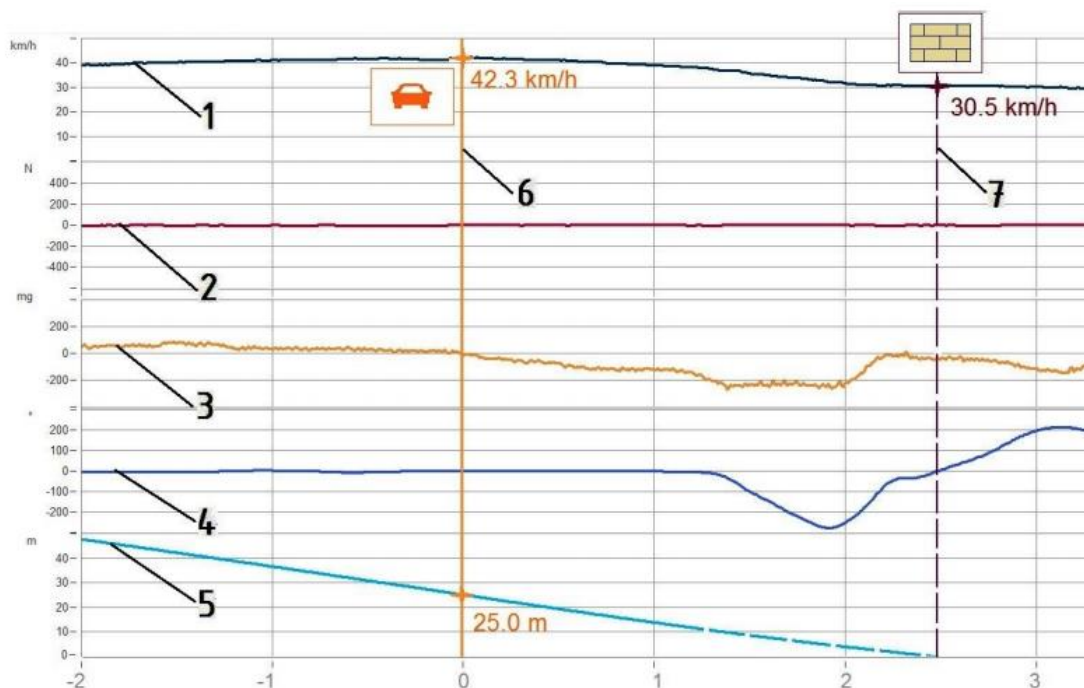


1 - швидкість об'єкта випробувань; 2 - зусилля на педалі гальма об'єкта випробувань; 3 - поздовжнє прискорення об'єкта випробувань; 4 - кут повороту керма об'єкта випробувань; 5 - дистанція між об'єктом випробувань та «перешкодою»; 6 - момент активації функції попередження про зіткнення; 7 - зіткнення об'єкта випробувань з «перешкодою».

Рисунок 4.2. Параметричний запис заїзду №59:

Таким чином, САЕГ випробуваного автомобіля незалежно від швидкості руху забезпечує навіть на дорозі з високим коефіцієнтом зчеплення стале уповільнення не більш  $4 \text{ м/с}^2$ . При цьому відстань до перешкоди, при якій спрацьовує сигнал попередження і починається автоматичне гальмування дуже мала, щоб при такому уповільненні запобігти наїзду на перешкоду. Алгоритм функціонування САЕГ вказаного автомобіля не забезпечує запобігання зіткненню з перешкодою, що стоїть, навіть на дорогах з високим зчепленням.

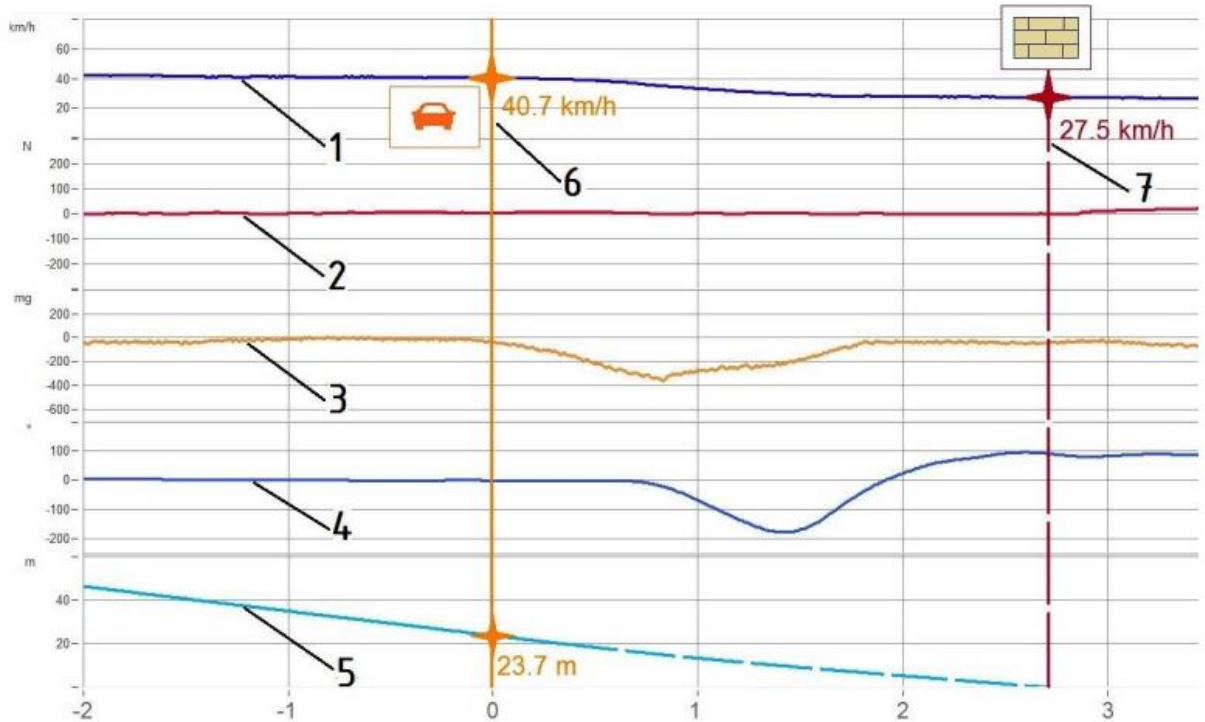
На рис. 4.3 представлено параметричний запис заїзду Тесту 3 для автомобіля Infiniti QX 60. Покриття - сухий асфальтобетон. Швидкість об'єкту випробувань - 40 км/год. Автоматичне гальмування об'єкта випробувань слабо виражене - уповільнення досягло  $2 \text{ м/с}^2$ , після чого САЕГ відключилася під час виконання маневру об'їзду перешкоди. Швидкість у момент умовного зіткнення з «перешкодою» (автомобіль) - 30,5 км/год. Таким чином, зниження швидкості становило 11,8 км/год.



1 - швидкість об'єкта випробувань; 2 - зусилля на педалі гальма об'єкта випробувань; 3 - поздовжнє прискорення об'єкта випробувань; 4 - кут повороту керма об'єкта випробувань; 5 - дистанція між об'єктом випробувань та «перешкодою»; 6 - момент активації функції попередження про зіткнення; 7 - умовне зіткнення об'єкта випробувань з «перешкодою».

Рисунок 4.3. Параметричний запис заїзду №9

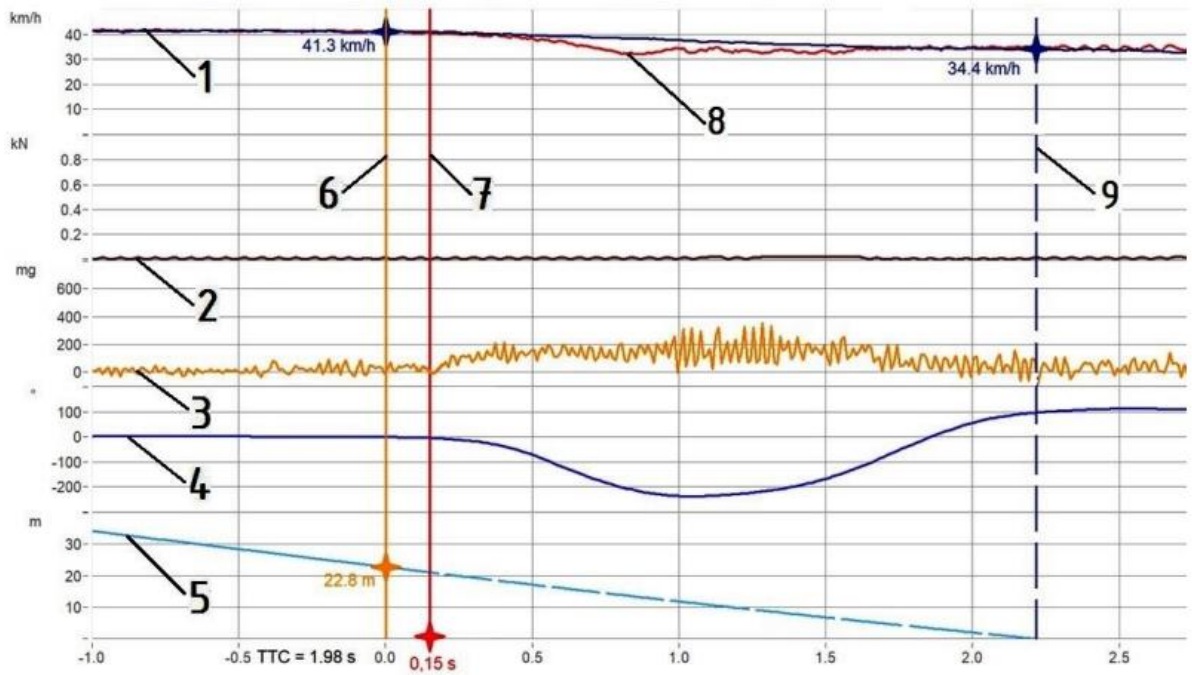
На рис. 4.4 представлено параметричний запис заїзду Тесту 3 для автомобіля Infiniti QX 60. Покриття - вологий асфальтобетон. Швидкість об'єкта випробувань - 40 км/год. Перед початком виконання маневру об'їзду перешкоди уповільнення збільшилося до  $3,9 \text{ м/с}^2$ , після чого САЕГ відключилася під час виконання маневру об'їзду перешкоди. Швидкість у момент умовного зіткнення з «перешкодою» (автомобіль) - 27,5 км/год. Таким чином, зниження швидкості склало 13,2 км/год.



1 - швидкість об'єкта випробувань; 2 - зусилля на педалі гальма об'єкта випробувань; 3 - поздовжнє прискорення об'єкта випробувань; 4 - кут повороту керма об'єкта випробувань; 5 - дистанція між об'єктом випробувань та «перешкодою»; 6 - момент активації функції попередження про зіткнення; 7 - умовне зіткнення об'єкта випробувань з «перешкодою».

Рисунок 4.4. Параметричний запис заїзду №62

На рис. 4.5 приведений параметричний запис заїзду Тесту 3 для автомобіля Infiniti QX 60. Покриття - втрамбований сніг. Швидкість об'єкта випробувань - 40 км/год. Під час виконання маневру об'їзду перешкоди уповільнення становило  $2,2 \text{ м/с}^2$ , після чого САЕГ відключилася під час виконання маневру об'їзду перешкоди. Моменти початку автоматичного гальмування та ухвалення водієм рішення про об'їзд перешкоди практично співпали. Швидкість у момент умовного зіткнення з «перешкодою» (автомобіль) - 34,4 км/год. Таким чином, швидкість знизилась на 6,9 км/год.



1 - момент активації функції попередження про зіткнення; 2 - зусилля на педалі гальма об'єкта випробувань; 3 - поздовжнє прискорення об'єкта випробувань; 4 - кут повороту керма об'єкта випробувань; 5 - дистанція між об'єктом випробувань та «перешкодою»; 6 - активація сигналу попередження; 7 - активація автоматичного гальмування; 8 - лінійна швидкість переднього колеса об'єкта випробувань; 9 - зіткнення об'єкта випробувань з «перешкодою».

Рисунок 4.5. Параметричний запис заїзду №131

Представлені вище графіки показують, що незалежно від стану дорожнього покриття сигнал попередження про зіткнення подається при швидкості 40 км/год. за 23 - 25 м до перешкоди. Це дозволяє зробити висновок про те, що алгоритм роботи САЕГ вказаного автомобіля не враховує реальні зчипні властивості дороги.

Аналіз даних заїздів показує, що алгоритм роботи САЕГ даного автомобіля істотно відрізняється від алгоритми роботи автомобіля Infiniti QX 60: стале уповільнення на дорогах з високим коефіцієнтом зчеплення складає близько  $8 \text{ м/с}^2$  та дозволяє гальмувати з максимальним використанням гальмівних сил по зчепленню; сигнал попередження про зіткнення на засніженій дорозі поступає раніше, ніж на дорозі з високим коефіцієнтом зчеплення (відстань до перешкоди 37,7 м проти 28,8 м) і раніше починається автоматичне гальмування. Але навіть при такому налаштуванні системи, вона не забезпечує запобігання



зіткненню на слизьких дорогах, швидкість удару в розглянутому прикладі 6,8 км/год.

### Висновки по розділу

За наслідками експериментального дослідження можна зробити наступні висновки:

- Розроблена оригінальна методика експериментальної оцінки систем автоматичного екстреного гальмування САЕГ, відмінна від існуючих можливістю перевіряти САЕГ при гальмуванні перед різними видами перешкод, включаючи реальні колісні транспортні засоби та припускаючи проведення заїздів на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення.

- При проведенні експериментального дослідження в 15-20% заїздів спостерігалася відмова САЕГ - повна відсутність реакції на «перешкоду» (не активувалися функції САЕГ). Встановити причини виникнення відмов не можливо.

- Досліджувані автомобілі відрізняються приладами технічного зору та алгоритмами роботи САЕГ. Так граничне стале уповільнення автомобіля Infiniti QX 60 не перевищувало  $4 \text{ м/с}^2$  навіть на покриттях з високим коефіцієнтом зчеплення, САЕГ Subaru XV забезпечує уповільнення до  $8 \text{ м/с}^2$ . Є відмінності за часом спрацьовування попередження про можливе зіткнення і моменту початку автоматичного гальмування.

- Встановлено, що алгоритм роботи САЕГ автомобіля Infiniti QX 60 не враховує зміну зчепних властивостей дорожнього покриття, автомобіль Subaru XV починає гальмувати раніше на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення, але при цьому, все одно відбувається зіткнення з перешкодою на засніжених дорогах.

## 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЇ САЕГ З ДОПОМОГОЮ ВДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ

Для перевірки вдосконаленого алгоритму функціонування використано дані, отримані в результаті експериментального дослідження ефективності дії САЕГ автомобіля Subaru XV. Перевірка проводилася для наступних типів опорної поверхні та погодніх умов:

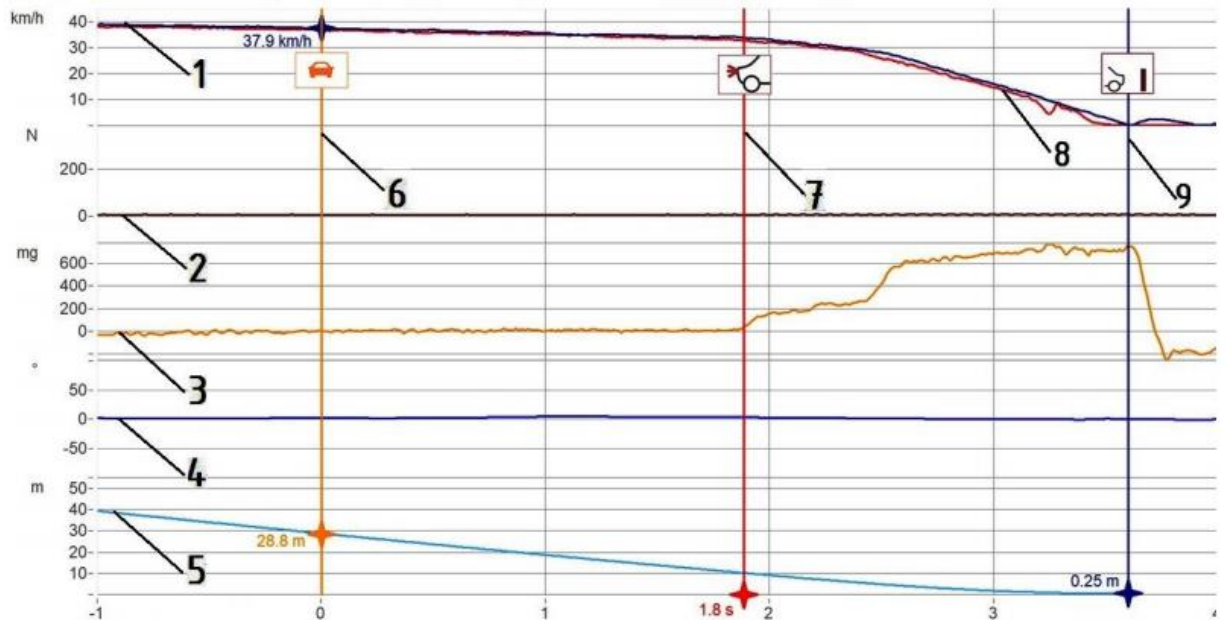
- сухий асфальтобетон, температура повітря нижча нуля, відсутність опадів;
- втрамбований сніг, температура повітря нижча нуля, відсутність опадів.

### 5.1. Оцінка ефективності дії САЕГ на сухому асфальтобетоні за низьких температур та відсутності опадів

Для оцінки ефективності дії САЕГ з допомогою вдосконаленого алгоритму на сухому асфальтобетоні були використані результати експериментального дослідження САЕГ автомобіля Subaru XV.

Як початкові дані для оцінки ефективності вибраний випробувальний заїзд, параметричний запис якого представлений на рис. 5.1.

В цьому заїзді функція попередження водія про можливе зіткнення була активована на дистанції  $D_{\text{спрац}} = 28,8$  м. Швидкість об'єкта випробувань у цей момент:  $V_{\text{спрац}} = 37,9$  км/год. Значення  $TTC_{\text{alarm}} = 2,74$  с. САЕГ активувала функцію автоматичного гальмування через 1,8 с після попередження. Об'єкт випробувань зупинився перед перешкодою на відстані 0,25 метри. Таким чином, шлях, пройдений з моменту попередження склав: 28,5 м. Стале уповільнення при автоматичному гальмуванні:  $j_x^{cm} = 7,8 \text{ м/с}^2$  Реалізоване значення коефіцієнта зчеплення коліс з поверхнею  $\phi_x = 0,79$ . Шлях зупинки ТЗ, розрахований за формулою (2.2) склав:  $S_{\text{зуп.}} = 15,3$  м. Значення коефіцієнта запасу по відстані:  $k_s = 1,88$ .



1 - швидкість об'єкту випробувань; 2 - зусилля на педалі гальма об'єкту випробувань; 3 - уповільнення об'єкту випробувань; 4 - кут повороту керма об'єкту випробувань; 5 - дистанція між об'єктом випробувань та «перешкодою»; 6 - момент активації функції попередження про зіткнення; 7 - активація автоматичного гальмування; 8 - швидкість переднього колеса об'єкта випробувань; 9 - зупинка об'єкта випробувань.

Рисунок 5.1. Параметричний запис заїзду

Температура повітря під час проведення випробувального заїзду становила  $t_{\text{повітря}} = -20,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оподи відсутні - інтенсивність опадів  $w=0$ . Спрогнозоване (рис. 5.2) значення коефіцієнта зчеплення шин з поверхнею:  $\phi'_x = 0,5$ .

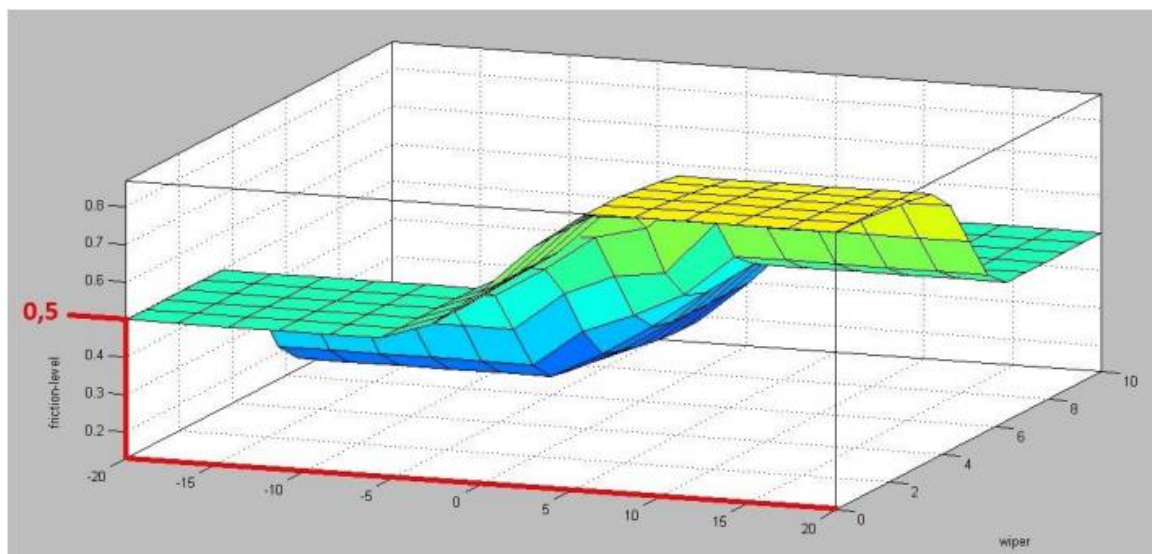


Рисунок 5.2. Прогноз коефіцієнта зчеплення шин з поверхнею для заїзду

На основі спрогнозованого значення  $\phi'_x$  розраховується значення шляху зупинки:  $S'_{зуп} = 19,5 \text{ м}$ . Також слід врахувати запас по відстані, який припускає повну зупинку ТЗ не менше ніж за 2,0 метри до перешкоди. Також задається коефіцієнт запасу  $k_S$  по відстані, який дорівнює 1,2. Таким чином, функція попередження водія про можливе зіткнення буде активована на дистанції, що розраховується за формулою:

$$D_{спрац} = (S'_{зуп} + 2)k_S \quad (5.1)$$

В даному випадку:  $D_{спрац} = 25,8 \text{ м}$ . У цей самий момент відбувається «контрольне гальмування». Коефіцієнт зчеплення коліс з опорною поверхнею розраховується за формулою (3.23) для передніх коліс об'єкта випробувань, оскільки в заїзді реєструвалася швидкість переднього колеса.

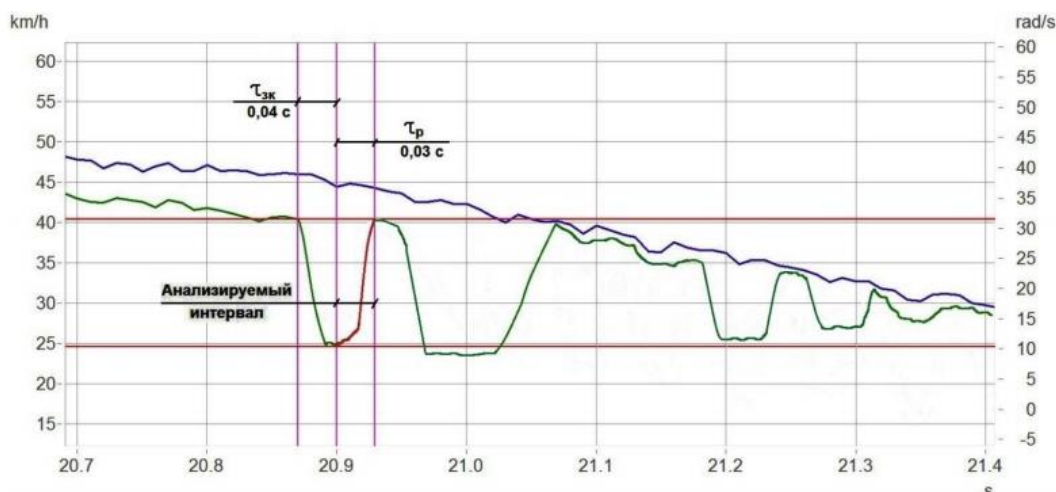
Момент інерції колеса  $j_K$  приймаємо:  $1,15 \text{ кг/м}^2$ . Маса об'єкта випробувань,  $m_a$  з водієм та встановленим вимірювальним комплексом:  $1665 \text{ кг}$ , зокрема  $970,5 \text{ кг}$  на передню вісь та  $694,5 \text{ кг}$  на задню. Динамічний радіус колеса  $r_D$  дорівнює  $0,33 \text{ м}$ . Колісна база  $L$  об'єкту випробувань дорівнює  $2,66 \text{ м}$ . Відстань  $b$  від центру ваги ТЗ до центру задньої осі становить  $1,55 \text{ м}$ . Висота центру мас об'єкта випробувань приймається рівною  $0,66 \text{ м}$ . Коефіцієнт обліку обертових мас для коліс задньої осі об'єкта випробувань розраховується за формулою:

$$\delta_{об2} = 1 + \frac{\sum j_K}{m_a \cdot r_D^2} \quad (5.2)$$

Для об'єкту випробувань Subaru XV коефіцієнт обліку обертових мас  $\delta_{об2}$ , для коліс задньої осі рівний  $1,01$ .

Для визначення кутового прискорення колеса при його розгальмуванні, був проведений експериментальний заїзд на об'єкті випробувань з відключеною антиблокувальною системою гальм і відключеними гальмівними механізмами задніх коліс. Під час заїзду проводилося переривчасте гальмування коліс передньої осі. На рис 5.3 представлений параметричний запис даного заїзду. Для визначення кутового прискорення колеса  $\acute{\omega}$ , була проаналізована ділянка розгону колеса першого циклу «загальмування - розгону» колеса. Кутове

прискорення колеса на фазі розгальмовування становить 645 рад/с . Даний заїзд проводився на такому ж покритті, як і попередній.



1 - швидкість автомобіля; 2 - кутова швидкість колеса.

Рисунок 5.3. Гальмування передньою віссю на сухому асфальтобетоні:

Коефіцієнт зчеплення коліс передньої осі ТЗ з опорною поверхнею  $\varphi_{x1}$  при виконанні «контрольного гальмування», обчислений за формулою (3.23) становить 0,79.

Час, необхідний для здійснення «контрольного гальмування»:

$$t_{кг} = \tau_z + \tau_{сп} + \tau_p \quad (5.3)$$

де:  $\tau_z = 0,05$  с - час запізнювання;

$\tau_{сп} = 0,04$  с - час сповільнення коліс (з експериментальних даних);

$\tau_p = 0,03$  с- час розгону коліс при розгальмовуванні (з експериментальних даних)

Під час «контрольного гальмування», його час складе:  $t_{кг} = 0,12$  с.

Уповільнення автомобіля під час виконання контрольного гальмування можна визначити за формулою:

$$j_{км} = \varphi_{x1} \cdot \frac{P_{z_{2дин}}}{m_a} \quad (5.4)$$

Навантаження на задню вісь ТЗ при виконанні «контрольного гальмування»  $P_{z_{2дин}} = 6533,5$  Н. Уповільнення, що розвивається автомобілем в процесі «контрольного гальмування», склало:  $j_{км} = 3,1$  м/с .

Зниження швидкості автомобіля в процесі контрольного гальмування:

$$\Delta V_a = j_{км} \cdot \tau_{зк} \quad (5.5)$$

В даному випадку падіння швидкості склало:  $\Delta V_a = 0,12$  м/с (0,4 км/год.).

За час «контрольного гальмування» автомобіль проїжджає шлях:

$$S_{кт} = S_c + S_{зк} + S_p \quad (5.6)$$

де:  $S_c$  - шлях, що проїжджає автомобіль за час запізнення;

$S_{зк}$  - шлях, що проїжджає автомобіль за час уповільнення коліс;

$S_p$  - шлях, що проїжджає автомобіль за час затримки розгальмовування коліс.

Шлях, що проїжджає автомобіль за час запізнення:

$$S_з = V_a \cdot \tau_c \quad (5.7)$$

В даному випадку  $S_з = 0,5$  м.

Шлях автомобіля за час уповільнення коліс:

$$S_{ук} = V_a \cdot \tau_{ук} + \frac{j_{кз} \tau_{ук}^2}{2} \quad (5.8)$$

В даному випадку  $S_{ук} = 0,4$  м.

Шлях, автомобіля за час затримки розгальмовування коліс при умови, що швидкість на цьому етапі не зменшується:

$$S_p = (V_a - \Delta V_a) \cdot \tau_p \quad (5.9)$$

В даному випадку:  $S_p = 0,3$  м.

В процесі виконання «контрольного гальмування» автомобіль пройшов шлях  $S_{кт} = 1,2$  м.

Етап автоматичного гальмування починається після затримки спрацьовування. Час необхідний для автоматичного гальмування:

$$t_{ар} = \tau_з + \tau_c + \tau_{гзс} \quad (5.10)$$

де:  $\tau_з = 0,05$  с - час запізнення;

$\tau_c = 0,05$  с - час наростання сповільнення;

$\tau_{гзс}$  - час гальмування із сталим сповільненням.

Встановлене сповільнення під час автоматичного гальмування:

$$j_{вст ар} = \varphi_x \cdot g \quad (5.11)$$

В даному випадку:  $j_{вст ар} = 7,75$  м/с<sup>2</sup>.

Швидкість автомобіля на початку автоматичного гальмування:

$$V_{0 ар} = (V_a - \Delta V_a) \quad (5.12)$$

В даному випадку:  $V_{0\text{ аг}} = 10,41$  м/с.

Шлях, що проїжджає автомобіль за час автоматичного гальмування:

$$S_{z_{az}} = V_{0_{am}} \cdot \left( \tau_z + \frac{\tau_c}{2} \right) + \frac{V_{0_{am}}^2}{j_{вст\text{ аг}}} \quad (5.13)$$

В даному випадку:  $S_{z_{az}} = 7,8$  м.

Час, необхідний на здійснення автоматичного гальмування:

$$t_{\text{ аг}} = \tau_z + \tau_c + \frac{V_{0_{am}}}{j_{вст\text{ аг}}} \quad (5.14)$$

В даному випадку:  $t_{\text{ аг}} = 1,44$  с.

На контрольне гальмування та автоматичне гальмування до повної зупинки перед перешкодою витрачається 1,56 с. Сигнал попередження водія активується на дистанції:  $D_{\text{спрац}} = 25,8$  м. Шлях, що проїжджає автомобіль від закінчення контрольного гальмування, до початку автоматичного визначається за формулою:

$$S_{\text{рв}} = D_{\text{спрац}} - S_{\text{кг}} - (S_{\text{т аг}} + S_{\text{зап}}) \quad (5.15)$$

де:  $S_{\text{зап}} = 2$  м - запас по відстані.

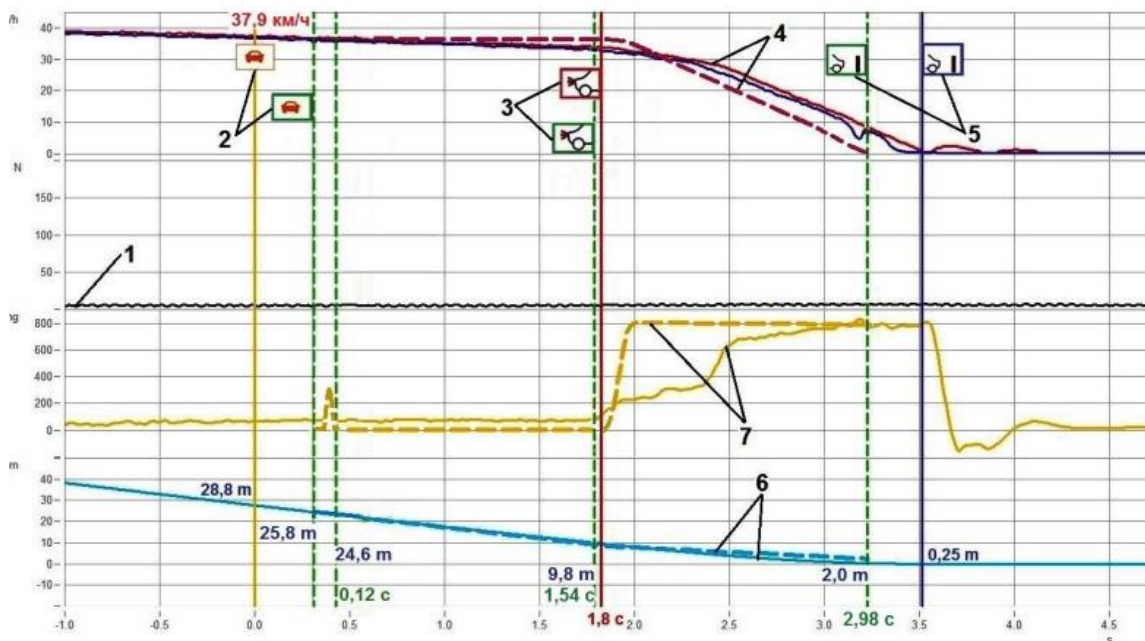
В даному випадку:  $S_{\text{рв}} = 14,8$  м.

Час запізнювання початку автоматичного гальмування визначається за формулою:

$$\tau_{\text{рв}} = \frac{S_{\text{рв}}}{V_{0_{am}}} \quad (5.16)$$

Таким чином, автоматичне гальмування буде активоване, через 1,42 с., за умови відсутності реакції водія на застережливий сигнал.

На рис. 5.4 показаний параметричний запис заїзду з нанесеними графіками швидкості, уповільнення і дистанції до перешкоди за умови застосування вдосконаленого алгоритму функціонування САЕГ (пунктирні лінії).



1 - зусилля на педалі гальма об'єкту випробувань; 2 - момент активації функції попередження про зіткнення; 3 - момент активації функції автоматичного гальмування; 4 - швидкість об'єкту випробувань; 5 - зупинка/зіткнення об'єкту випробувань з «перешкодою»; 6 - швидкість об'єкту випробувань; 7 - уповільнення об'єкту випробувань.

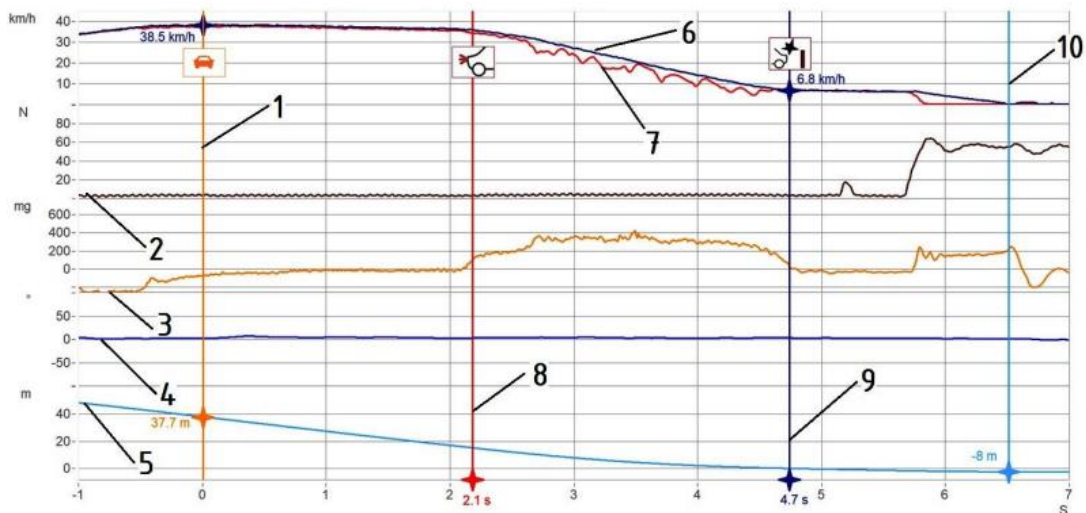
Рисунок 5.4. Параметричний запис заїзду

## 5.2. Оцінка ефективності дії САЕГ на втрамбованому снігу, за від'ємної температури та відсутності опадів

Для оцінки ефективності дії САЕГ користуючись вдосконаленим алгоритмом на втрамбованому снігу за від'ємної температури та відсутності опадів, були використані результати експериментального дослідження САЕГ автомобіля Subaru XV.

Початковими даними для оцінки ефективності вибраній випробувальний заїзд, представлений на рис. 5.5.





1 - момент активації функції попередження про зіткнення; 2 - зусилля на педалі гальма об'єкту випробувань; 3 - поздовжнє прискорення об'єкту випробувань; 4 - кут повороту керма об'єкту випробувань; 5 - дистанція між об'єктом випробувань та «перешкодою»; 6 - швидкість об'єкту випробувань; 7 - швидкість колеса об'єкту випробувань; 8 - активація автоматичного гальмування; 9 - зіткнення об'єкту випробувань з «прншкодою»; 10 – зупинка об'єкту випробувань.

Рисунок. 5.5. Параметричний запис заїзду

У даному заїзді функція попередження водія про можливе зіткнення була активована на дистанції  $D_{\text{спрац}} = 37,7$  м. Швидкість об'єкту випробувань у цей момент:  $V_{\text{спрац}} = 38,5$  км/год. Значення  $TTC_{\text{alarm}} = 3,53$  с. САЕГ активувала функцію автоматичного гальмування через 2,1 с. після попередження. Об'єкт випробувань зіткнувся з перешкодою (м'яка стіна) на швидкості 6,8 км/год. Стале сповільнення при автоматичному гальмуванні:  $j_x^{\text{ст}} = 3,67$  м/с<sup>2</sup>. Реалізоване значення коефіцієнта зчеплення коліс з поверхнею:  $\phi_x = 0,37$ . Шлях зупинки ТЗ, розрахований за формулою (2.2) становить:  $S_{\text{гальм}} = 24,0$  м. Значення коефіцієнта запасу по відстані:  $k_S = 1,57$ .

Температура повітря під час проведення випробувального заїзду становила  $t_{\text{повітря}} = -20^\circ\text{C}$ . Оподи відсутні - інтенсивність опадів  $w = 0$ . Спрогнозоване значення (рис. 5.6) коефіцієнта зчеплення коліс з поверхнею:  $\phi'_x = 0,5$ .

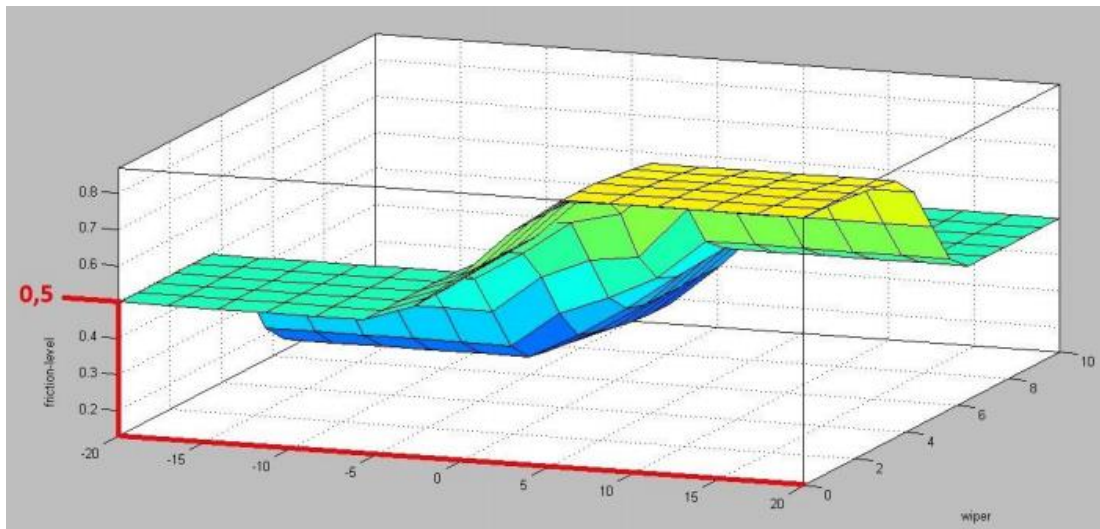


Рисунок 5.6. Прогноз коефіцієнта зчеплення шин з поверхнею для заїзду

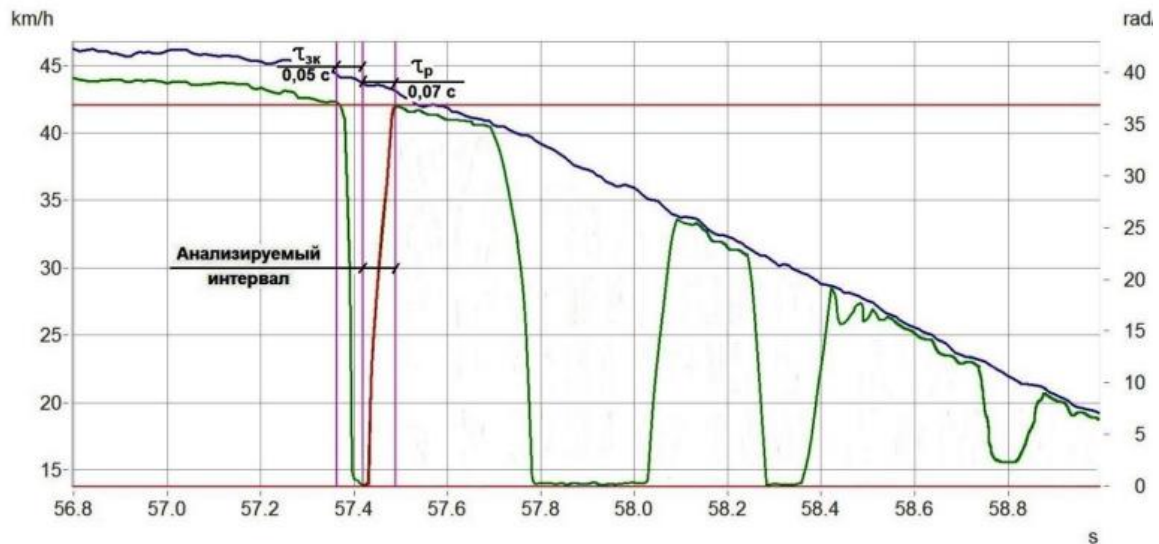
Відносна похибка прогнозування становить 35%. Така висока похибка пояснюється нетиповим поєднанням умов: наявність втрамбованого снігу та відсутності опадів. Можна припустити, що в реальних умовах експлуатації таке поєднання чинників може зустрічатися достатньо рідко, особливо в умовах сучасного міста. Надалі можливе підключення додаткових входів в механізм прогнозування, наприклад, аналіз зображення дорожньої поверхні. Це дозволить підвищити точність прогнозування.

У цей же момент здійснюється «контрольне гальмування». Коефіцієнт зчеплення коліс з опорною поверхнею розраховано в попередньому розділі. Момент інерції колеса  $J_k$  приймається рівним:  $1,15 \text{ кг/м}^2$ . Маса об'єкту випробувань,  $m_a$  з водієм і встановленим вимірювальним комплексом: 1665 кг, зокрема 970,5 кг на передню вісь та 694,5 кг на задню. Динамічний радіус колеса  $r_d = 0,33 \text{ м}$ . Колісна база  $L$  об'єкту випробувань рівна 2,66 м. Відстань  $b$  від центру ваги ТЗ до центру задньої осі становить 1,55 м. Висота центру мас  $h_g$  об'єкту випробувань приймається 0,66 м. Коефіцієнт обліку обертових мас для коліс задньої осі об'єкту випробувань Subaru XV,  $\delta_{вр2} = 1,01$ .

Для визначення кутового прискорення колеса при його розгоні після уповільнення, був проведений експериментальний заїзд на об'єкті випробувань з відключеною антиблокувальною системою гальм і відключеними гальмівними механізмами задніх коліс. Під час заїзду проводилося переривисте гальмування коліс передньої осі. На рис. 5.7 представлений параметричний запис даного заїзду. Для визначення кутового прискорення колеса  $\omega$ , була

проаналізована ділянка розгону колеса першого циклу «загальмовування - розгону» колеса. Кутове прискорення колеса рівне  $530 \text{ рад/с}^2$ .

Коефіцієнт зчеплення шин передньої осі ТЗ з опорною поверхнею  $\varphi_{x1}$  при виконанні «контрольного гальмування» становить  $0,37$ .



1 - швидкість автомобіля; 2 - кутова швидкість колеса.

Рисунок 5.7. Гальмування передньою віссю на вкатаному снігу:

Час, необхідний для здійснення «контрольного гальмування»  $\tau_{кг} = 0,05 \text{ с}$ . та  $\tau_p = 0,07 \text{ с}$ . визначаються з експериментальних даних. У разі виконання «контрольного гальмування» в даних умовах його час складе:  $t_{кг} = 0,17 \text{ с}$ .

Уповільнення автомобіля під час виконання контрольного гальмування,:  
 $j_{кг} = 1,45 \text{ м/с}^2$ .

Зниження швидкості автомобіля в процесі виконання контрольного гальмування:  $\Delta V_a = 0,07 \text{ м/с}$  ( $0,3 \text{ км/год.}$ ).

В процесі виконання «контрольного гальмування» автомобіль пройшов шлях  $S_{кг} = 1,7 \text{ м}$ .

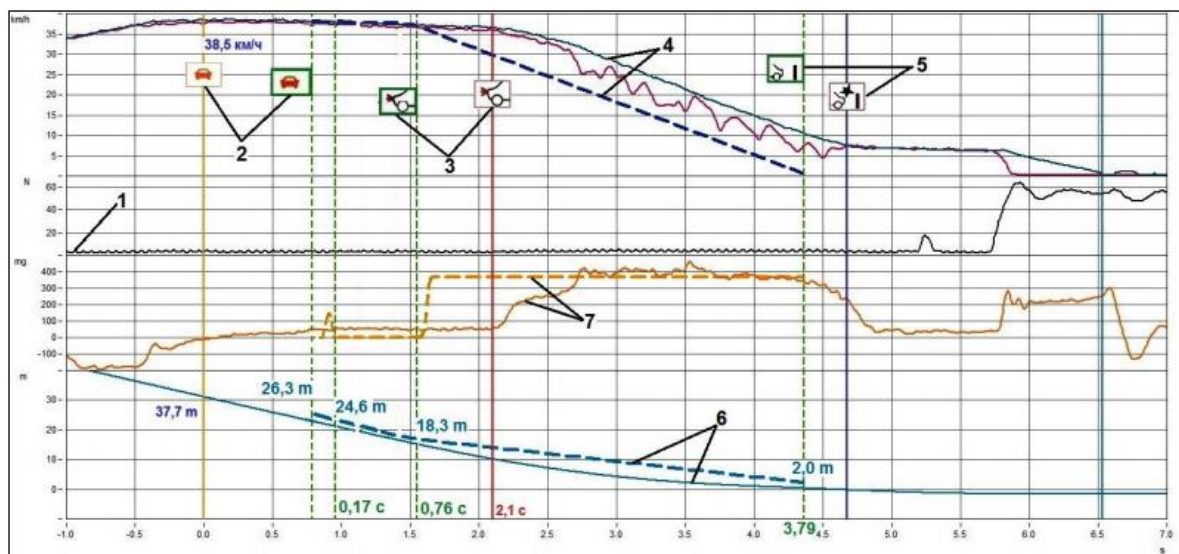
Стале уповільнення на етапі автоматичного гальмування:  $j_{уста\ ar} = 3,63 \text{ м/с}^2$ . Швидкість автомобіля на початку автоматичного гальмування:  $V_{0ar} = 10,62 \text{ м/с}$ .

За час автоматичного гальмування, автомобіль проходить шлях:  
 $S_{Tar} = 16,3 \text{ м}$ .

Час, необхідний на здійснення автоматичного гальмування:  $t_{ar} = 3,03 \text{ с}$ .

На здійснення контрольного гальмування і автоматичного гальмування до повної зупинки перед перешкодою витрачається 3,20 с. Сигнал попередження водія активується на дистанції:  $D_{\text{спрац}} = 26,3$  м. Таким чином, автоматичне гальмування буде активоване, через 0,57 с., за умови відсутності реакції водія на застережливий сигнал.

На рис. 5.8 показаний параметричний запис заїзду з використанням вдосконаленого алгоритму функціонування САЕГ (пунктирні лінії).



1 - зусилля на педалі гальма об'єкту випробувань; 2 - момент активації функції попередження про зіткнення; 3 - момент активації функції автоматичного гальмування; 4 - швидкість об'єкту випробувань; 5 - зупинка/зіткнення об'єкту випробувань з «перешкодою»; 6 - швидкість об'єкту випробувань; 7 - уповільнення об'єкту випробувань.

Рисунок 5.8. Параметричний запис заїзду

## Висновки до розділу

Проведене експериментальне дослідження за розробленою методикою ефективності дії САЕГ двох автомобілів на покриттях з різним коефіцієнтом зчеплення. На основі, проведеного розрахунку виявлено підвищення ефективності дії САЕГ із застосуванням вдосконаленого алгоритму управління.

В результаті застосування запропонованої методики досягнуто:

- зниження часу запізнювання початку автоматичного гальмування на 21,1% щодо існуючого алгоритму на опорних поверхнях з високим коефіцієнтом зчеплення;
- зниження часу запізнювання початку автоматичного гальмування на 71,9% щодо існуючого алгоритму на опорних поверхнях з низьким коефіцієнтом зчеплення;
- зниження величини дистанції спрацьовування з 28,8 м до 25,8 м на опорній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення, що забезпечить зниження коефіцієнта запасу на 10,1%;
- понизити величину дистанції спрацьовування з 37,7 м до 26,3 м на опорній поверхні з низьким коефіцієнтом зчеплення, що забезпечить зниження коефіцієнта запасу на 29,9%;
- збільшення відстані до перешкоди, на якій починається автоматичне гальмування, з 10 м до 18,3 м і запобігання зіткненню.

## **6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1. Основні завдання охорони праці**

Турбота про створення у транспортних підприємствах здорових та безпечних умов праці, що запобігають виробничому травматизму та захворюванням, підвищення та продовження працездатності людей, їх творчий розвиток – це важлива загальнодержавна справа.

Без поліпшення санітарно-гігієнічних умов і техніки безпеки, підвищення культури виробництва, скорочення ручної, малокваліфікованої і важкої фізичної праці не можливе збільшення продуктивності праці кожного працівника та ефективності автотранспортної галузі в цілому.

Насичення автотранспортної галузі енергетичними потужностями, швидкісними високопродуктивними машинами вимагає своєчасного виявлення потенційних небезпек на виробництві, попередження професійних захворювань працюючих, створення безпечних та здорових умов праці, що є невід’ємним елементом організації праці в будь-якому технологічному процесі транспортування.

### **6.2. Аналіз стану охорони праці**

Організація роботи з охорони праці у автотранспортній галузі здійснюється згідно з “Положення про роботу з охорони праці і техніки безпеки на підприємствах, організаціях і установах системи МСГ України”.

Дане положення передбачає, що вся відповідальність за стан охорони праці покладається на керівництво транспортного підприємства. У структурі керівництва підприємством передбачена посада інженера з охорони праці, в обов’язки якого входить організація міроприємств направлених на

забезпечення і поліпшення умов праці та контроль за термінами та якістю їх виконання.

Разом із спеціалістами інженер з охорони праці розробляє плани з покращення умов охорони праці, контролює проведення інструктажів, бере безпосередню участь у проведенні вступного інструктажу.

По галузях виробництва, відповідальність за стан охорони праці несуть їх безпосередні керівники – головні спеціалісти. У кожному підрозділі відповідальними за дотриманням стану охорони праці є їх безпосередні керівники.

Загальна структура заходів з охорони праці передбачає виконання ряду профілактичних міроприємств:

- 1) вступний інструктаж проводиться інженером з охорони праці для всіх осіб, що приймаються на роботу незалежно від їх освіти, стажу роботи по даній професії чи посади;
- 2) первинний інструктаж на робочому місці проводиться головними спеціалістами з усіма прийнятими на роботу, переведеними з одного підрозділу в інший;
- 3) повторний інструктаж проводиться за програмою інструктажу на робочому місці безпосередніми керівниками підрозділів;
- 4) позаплановий інструктаж проводять безпосередні керівники робіт при зміні правил з охорони праці, зміні технологічного процесу, заміні або модернізації обладнання, пристроїв і інструменту та зміні інших факторів, які впливають на безпеку праці. Повторний інструктаж проводиться також при виявленні порушень працівниками правил техніки безпеки, які можуть призвести або призвели до травм, аварій чи пожежі;
- 5) поточний інструктаж проводиться керівниками робіт на робочому місці перед безпосереднім їх виконанням.

### 6.3. Фінансування заходів з охорони праці

Фінансування заходів з охорони праці згідно до чинного законодавства здійснюється сільськогосподарським підприємством. Заходи з охорони праці фінансуються із спеціально встановленого фонду. Кошти фонду першочергово направляються на виконання невідкладних заходів для забезпечення безпечних умов праці на робочих місцях.

Згідно статті 19 Закону України “Про охорону праці” на створення безпечних умов виробництва повинно виділятися 0,5 % від коштів реалізованої продукції. Фінансові надходження на охорону праці у господарстві за останні 3 роки представлено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Фінансування заходів з охорони праці у транспортному підприємстві

Показник	Роки		
	2021	2022	2023
Кількість працівників, чол.	29	28	25
Асигнування на охорону праці та протипожежні заходи, тис. грн.	3,107	3,776	4,262
В тому числі на одного працюючого, грн.	107,1	134,8	170,48
Витрати на придбання спецодягу, грн.	850	1350	1400
Витрати на спецхарчування, грн.	1340	1452	1506
Витрати на протипожежні заходи, тис. грн.	759	835	1100
Інші витрати, тис. грн	158	139	256

Аналіз показників табл. 6.1 дозволяє зробити ряд висновків:



- загальні асигнування на охорону праці та протипожежні заходи зросли на 37,2%;
- збільшуються витрати на окремі складові, зокрема, на спецодяг (64,7%), на спецхарчування (12,4%), на протипожежні заходи (44,9%);
- витрати коштів на одного працюючого у 2005 році досягли нормативного значення [35].

Відмічаючи ріст загальних асигнувань на охорону праці та протипожежні заходи, слід відмітити, що вказане зростання не може свідчити про покращення забезпеченості заходів з охорони праці, а є результатом зростання цін на промислову продукцію та послуги сторонніх організацій.

#### **6.4. Аналіз умов праці та травматизму у транспортному підприємстві**

Згідно чинного законодавства, відповідальність за стан охорони праці у транспортному підприємстві покладена на керівництво. У окремих підрозділах виробництва відповідальність за стан охорони праці несуть головні спеціалісти: в технічному сервісі – головний інженер; в матеріальному забезпеченні – головний бухгалтер.

Керівництво розробкою і проведенням всього комплексу організаційних і профілактичних міроприємств з охорони праці покладається на інженера з охорони праці і техніки безпеки. Він являється головним організатором робіт з охорони праці і зобов'язаний перевіряти в усіх виробничих підрозділах стан техніки безпеки, виробничої санітарії, організації протипожежної охорони та дотримання трудової дисципліни.

Заходи з питань охорони праці у транспортному підприємстві виконуються згідно діючого законодавства та угоди між профспілковим комітетом і керівництвом господарства. До основних заходів направлених на створення безпечних умов праці у господарстві належать:

1. проведення навчання працівників господарства з правил техніки безпеки;

2. проведення інструктажів згідно з вище поданою структурою;
3. покращення умов праці та особистої гігієни працюючих.

В обов'язки інженер з техніки безпеки входить систематичний контроль виконання норм і правил, що запобігають виникненню виробничого травматизму, забезпечення здорових умов праці і усунення порушень правил техніки безпеки, проведення вступних інструктажів, контроль своєчасного та якісного проведення інструктажів на робочих місцях, організація навчання працівників та інженерно – технічного персоналу з техніки безпеки, правил надання першої медичної допомоги травмованим. В своїй діяльності інженер з техніки безпеки підпорядковується згідно чинного законодавства безпосередньому керівнику транспортного підприємства.

При профспілковому комітеті створена комісія з охорони праці. Вона разом з інженером з охорони праці займається розглядом виявлених порушень з техніки безпеки, виробничої санітарії і протипожежних заходів. Крім цього, дана комісія розробляє річний план роботи направленої на покращення умов праці і затверджує його на загальних зборах працівників транспортного підприємства та контролює його виконання.

Незважаючи на значні фінансові труднощі господарства, всі працівники господарства, відповідно до встановлених норм, забезпечуються спецодягом. Працівники, які задіяні на роботах з шкідливими умовами, забезпечуються безплатним спецхарчуванням. Також, для них передбачений скорочений робочий день та додатковий термін відпустки.

Оцінка стану виробничого травматизму у транспортному підприємстві здійснюється за допомогою статистичного методу. Даний метод застосовується для визначення кількісних показників, які характеризують загальний рівень виробничого травматизму. Для цього використовують відносні величини – показники (коефіцієнти) частоти, важкості і втрат (непрацездатності) [9].

Показник частоти травм  $K_{\text{ч}}$  характеризує кількість нещасних випадків, що припадає на 1000 працюючих за певний період, і визначається за формулою

$$K_{\text{ч}} = 1000 \cdot \frac{T}{П}. \quad (6.1)$$

Показник важкості травматизму  $K_m$  характеризує загальну важкість травм, що виникли протягом періоду, що аналізується. Він показує, скільки днів втрати працездатності в середньому припадає на одну травму, і визначається за формулою

$$K_m = \frac{D_n}{T}. \quad (6.2)$$

Показник  $K_n$  характеризує кількість днів втрати працездатності, що припадає на 1000 працюючих за період, що аналізується, і визначається за формулою

$$K_n = K_q \cdot K_m = 1000 \cdot \frac{D_n}{P}. \quad (6.3)$$

Загальні матеріальні втрати  $P_z$  від виробничого травматизму розраховуються за формулою

$$P_z = 1,5 \cdot D_n \cdot Z_{cp}, \quad (6.4)$$

де  $T$  – загальна кількість травм, що виникла у господарстві за звітний період;

$P$  – середня кількість працюючих в господарстві за звітний період, чол.;

$D_n$  – сумарна кількість днів тимчасової непрацездатності по всіх нещасних випадках, що враховані за звітний період;

$Z_{cp}$  – середня заробітна плата потерпілих, грн;

1,5 – коефіцієнт, що враховує інші матеріальні втрати.

Розрахунок статистичних показників виробничого травматизму здійснено за формулами (6.1 - 6.4), а результати подано у табл. 6.2.

З табл. 6.2 видно, що кількість нещасних випадків за останні роки у господарстві зменшилась. В основному, це пов'язано із зменшенням кількості працюючих та інтенсивності виробництва. Показник частоти травматизму зменшився з 68,9 до 40,0. В той же час показник важкості травматизму зріс від 13 до 18. Сумарні грошові втрати від виробничого травматизму, при їх зменшенні у 2021 році на 43,1%, у 2023 році зросли до 4725 грн, що лише на 150 грн менше ніж у 2021 році.

Таблиця 6.2 - Статистичні показники травматизму

Показник	Роки		
	2021	2022	2023
Кількість нещасних випадків	2	1	1
Сумарна кількість днів тимчасової непрацездатності	26	12	18
Показник частоти травматизму	68,9	35,7	40,0
Показник важкості травматизму	13,0	12,0	18,0
Показник втрат	896,5	2628,0	4725,0
Сумарні грошові втрати від виробничого травматизму, грн	4875,0	2628,0	4725,0

### 6.5. Розробка заходів з покращення стану охорони праці

В цілому у транспортному підприємстві заходи з охорони праці забезпечуються на рівні, який відповідає фінансовому стану. В той же час, потрібно збільшити виділення коштів на охорону праці до рівня, який передбачений Законом України “Про охорону праці”.

До першочергових заходів, які необхідно здійснити у транспортному підприємстві, слід віднести збільшення фінансування на покращення умов праці у виробничих приміщеннях ремонтної майстерні. Зокрема, ремонтна майстерня потребує поточного ремонту із заміною покрівлі, освітлення на робочих місцях біля металорізальних верстатів повинно бути приведено до норм, шляхом встановлення додаткового штучного освітлення. Для зменшення загазованості в приміщенні майстерні слід відновити роботу витяжної вентиляції. На машинному дворі слід провести впорядкування розміщення транспортних засобів, які перебувають на зберіганні.

Покращення стану наглядної агітації можливе шляхом заміни старих інформаційно-застережних плакатів новими, які безпосередньо стосуються конкретних робочих місць.

Покращення праці водіїв повинно вирішуватись комплексно: поліпшенням оглядовості шляху і робочих органів машини, зниженням зусиль на органах керування і впровадженням засобів автоматичного контролю роботи машини. Подальше зниження рівня вібрації на мобільних енергетичних засобах залежить не тільки від технічних рішень, але і від поліпшення якості доріг.

Важливе значення у запобіганні аваріям і виробничим травмам має контроль рухомого складу.

Для аналізу потенційно можливих небезпек під час роботи рухомого складу доцільно використовувати метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій і їх наслідків. Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф відкриває можливість розробки досконалої системи управління безпекою життєдіяльності СП ЛМ "Сакс". Вказана система повинна базуватися на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому логічному аналізу і терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек, що викликають травмонебезпечні і катастрофічні ситуації.

Метод логічного моделювання травмонебезпечних, аварійних та інших ситуацій значно полегшує пошук причин аварій, виробничих травм і дорожньо-транспортних пригод під час їх розслідування.

## **6.6. Захист цивільного населення**

Одним із найважливіших завдань служби охорони праці є забезпечення захисту населення у випадку виникнення надзвичайних ситуацій. З метою захисту населення, зменшення матеріальних втрат у випадку виникнення надзвичайних ситуацій повинен проводитись комплекс заходів:

- оповіщення та інформування, яке досягається утриманням в постійній готовності систем оповіщення, які переважно інформують про прогноз погоди;
- евакуаційні заходи, які проводяться на території господарства та за його межами переважно під час виникнення пожеж; обов'язки гасіння пожеж покладені на плечі добровільної пожежної дружини;
- медичний захист проводиться для зменшення ступеня поразення людей, своєчасного надання допомоги потерпілим.

Працівники господарства отримали інструктаж з надання першої медичної допомоги під час ураження людини електричним струмом чи удару блискавки.

### **Висновки до розділу**

Таким чином, стан охорони праці та пожежної безпеки у транспортному підприємстві є на належному рівні, хоча і потребує наступного удосконалення. В розділі розроблено ряд заходів з покращення стану охорони праці і пожежної безпеки.

Для покращення стану охорони праці у господарстві необхідно: запровадити регулярну перевірку мобільних енергетичних засобів перед їх виїздом у поле; своєчасно укомплектовувати автомобілі та зернозбиральні комбайни засобами пожежегасіння; своєчасно і більш якісно проводити інструктаж по техніці безпеки.

Виконання вище перерахованих заходів поліпшить стан охорони праці в господарстві, створить належні умови роботи працівників, буде сприяти пожежній профілактиці.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що відсутня загально визнана методика оцінки ефективності систем автоматичного екстреного гальмування САЕТ автомобілів категорії М1 і N1. Існуючі методики випробувань припускають проведення тестових заїздів в умовах (відсутність опадів, суха поверхня тестового асфальтобетонного майданчика, денне освітлення, позитивна температура повітря), що ідеалізуються, і не охоплюють весь діапазон реальних умов експлуатації.

Проведене експериментальне дослідження за вказаною методикою визначення ефективності дії САЕТ двох автомобілів на покриттях з різним коефіцієнтом зчеплення. Встановлено, що:

досліджувані САЕТ мають невисоку вірогідність спрацьовування - в 15-20% заїздів спостерігалася відмова САЕТ - повна відсутність реакції на «меті» (не активувалися функції САЕТ). Раптові відмови САЕТ спостерігалися для всіх типів цілей;

алгоритми роботи САЕТ різних автовиробників можуть істотно розрізнятися. Так граничне стале уповільнення автомобіля Infiniti QX 60 не перевищувало 4 м/с навіть на покриттях з високим коефіцієнтом зчеплення, САЕТ Subaru XV забезпечує уповільнення до 8 м/с . Є відмінності за часом спрацьовування попередження про можливе зіткнення і моменту початку автоматичного гальмування;

функціонування САЕТ на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення недостатньо ефективне. Так алгоритм роботи САЕТ автомобіля Infiniti QX 60 не реагує на зміну зчпних властивостей дорожнього покриття, автомобіль Subaru XV починає попереджати водія раніше на дорогах з низьким коефіцієнтом зчеплення, але при цьому, проте, при автоматичному гальмуванні відбувається зіткнення з перешкодою на засніжених дорогах.

Створена математична модель вдосконаленого алгоритму функціонування САЕТ, що включає механізм прогнозування зчпних властивостей поверхні дороги, розроблена методика оцінки можливої величини коефіцієнта зчеплення шин з опорною поверхнею що складається з двох етапів:

попереднього прогнозування на базі математичного апарату нечіткої логіки стану дорожнього покриття на основі аналізу температури повітря і інтенсивності опадів і уточнення коефіцієнта зчеплення на основі аналізу параметрів контрольного гальмування, вироблюваного одночасно з активацією сигналу попередження про можливе зіткнення.

Проведена оцінка ефективності дії САЕТ по вдосконаленому алгоритму при різному стані дорожнього покриття. Встановлено, що застосування вказаного алгоритму в порівнянні з існуючим для досліджуваного автомобіля при початковій швидкості близько 40 км/ч, дозволить:

понизити величину дистанції спрацьовування  $D_{\text{сраб.}}$  з 28,8 м до 25,8 м на опорній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення (зниження коефіцієнта запасу  $k_s$  на 10,1%), понизити величину дистанції спрацьовування  $D_{\text{сраб.}}$  з 37,7 м до 26,3 м на опорній поверхні з низьким коефіцієнтом зчеплення (зниження коефіцієнта запасу  $k_s$  на 29,9%), що зменшує вірогідність дуже раннього інформування водія про небезпеку можливого зіткнення;

- на опорній поверхні з низьким коефіцієнтом зчеплення збільшити відстань до перешкоди, на якій починається автоматичне гальмування, з 10 м до 18,3 м і тим самим уникнути зіткнення.



## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ISO 22839:2013 Intelligent transport systems - Forward vehicle collision mitigation systems - Operation, performance, and verification requirements. - Режимдоступа: <https://www.iso.org/ru/standard/45339.html>.
2. ISO 15623:2013 Intelligent transport systems - Forward vehicle collision warning systems - Performance requirements and test procedures. - Режимдоступа: <https://www.iso.org/standard/56655.html>
3. Aga M., Ogada A., "Analysis of Vehicle Stability Control Effectiveness from Accident Data", 18. Int. Enhanced Safety Vehicles Conf. Nagoya, AI, 2003.
4. Ahn, D.; Park, H.; Hwang, S.; Park, T. Reliable Identification of Vehicle-Boarding Actions Based on Fuzzy Inference System. Sensors 2017, 17, 333.- Режимдоступа: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/2/333.html>.
5. Aksjonov, A.; Augsburg, K.; Vodovozov, V. Design and Simulation of the Robust ABS and ESP Fuzzy Logic Controller on the Complex Braking Maneuvers. Appl. Sci. 2016, 6, 382. - Режим доступа: <http://www.mdpi.com/2076-3417/6A2/382.html>.
6. Aoki, H., Aga, M., Miichi, Y., Matsuo, Y. et al. Safety Impact Methodology (SIM) for Effectiveness Estimation of a Pre-Collision System (PCS) by Utilizing Driving Simulator Test and EDR Data Analysis, SAE Technical Paper 2010-01-1003, 2010.
7. Bengler K., Dietmayer K., Färber B., Maurer M., Stiller C., Winner H.: "Three Decades of Driver Assistance Systems - Review and Future Perspectives," IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 6, no. 4, Winter 2014, pp. 6-22.
8. Blanco M., Atwood J., Russell S., Trimble T., McClafferty J., and Perez M., Automated Vehicle Crash Rate Comparison Using Naturalistic Data," Blacksburg, VA: Virginia Tech Transportation Institute, 2016.
9. Chen S.-L.; Cheng C.-Y.; Hu J.-S.; Jiang J.-F.; Chang T.-K.; Wei, H.-Y. Strategy and Evaluation of Vehicle Collision Avoidance Control via Hardware-in-the-Loop Platform. Appl. Sci. 2016, 6, 327.

10. Dixit V.V.; Chand S.; Nair D.J. Autonomous Vehicles: Disengagements, Accidents and Reaction Times. PLoS ONE 2016, 11.
11. Eigen, A., Najm, W. Problem Definition for Pre-Crash Sensing Advanced Restraints, DOT HS 811 114 Department of Transportation, Washington, D.C., 2009.
12. European New Car Assessment Programme (Euro NCAP). Test protocol - AEB systems. Version 2.0.1. November 2017. - Режим доступа: <https://cdn.euroncap.com/media/32282/euro-ncap-assessment-protocol-pp-v902.pdf>.
13. Forward Collision Warning Requirements Project Final Report - Task 1 / Kiefer, R.J., Cassar, M.T., Flanagan, C.A., LeBlanc, D.J., Palmer, M.D., Deering, R.K., and Shulman, M.A. // NHTSA, 2003.
14. Geronimi, S.; Abadie, V.; Becker, N. Methodology to Assess and to Validate the Dependability of an Advanced Driver Assistance System (ADAS) Such as Automatic Emergency Braking System (AEBS); Springer International Publishing: New York, NY, USA, 2016.
15. Gordon T., Sardar H., Blower D., Ljung M., Aust, Z., Bareket, M., Barnes, A., Blankespoor, Advanced Crash Avoidance Technologies ( ACAT ) Program - Final Report of the Volvo - Ford-UMTRI Project : Safety Impact Methodology for Lane Departure Warning - Method Development And Estimation of Benefits, p. DOT HS 811 405, 2010.
16. Hamid U. Z. A., Pushkin K., Zamzuri H., Gueraiche D., Rahman M. A. A. Current Collision Mitigation Technologies for Advanced Driver Assistance Systems - A Survey. - PERINTIS eJournal, 2016, Vol. 6, No. 2, pp. 78-90.
17. Ivanov, A.M. New testing methods of automatic emergency braking systems and the experience of their application / Ivanov A.M., Kristalniy, S.R., Toporkov, M.A., Isakova, M.I. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2018. - №386. - p.1 - 10 .
18. Jiménez, F.; Naranjo; J. E.; García, F. (2013). An Improved Method to Calculate the Time-to-Collision of Two Vehicles. International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 11(1), pp 34-42.

19. Kusano K. D., Montgomery J., and Gabler H. C., Braking TTC of Drivers from the 100-Car Naturalistic Driving Study. Submitted to Toyota Collaborative Safety Research Center (CSRC), 2014.
20. Kusano K. D. and Gabler H. C. Method for estimating time to collision at braking in real-world, lead vehicle stopped rear-end crashes for use in precrash system design, SAE Technical Paper 2011-01-0576, 2011.
21. Lee D.; Kim B.; Yi K. Development of an Integrated Driving Path Estimation Algorithm for ACC and AEBS. In Proceedings of the 2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Yokohama, Japan, 6-9 May 2012; pp. 1030-1036.
22. Lee K. and Peng H., Evaluation of automotive forward collision warning and collision avoidance algorithms, *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 43, no. 10, pp. 735-751, 2005.
23. McLaughlin S. B., Hankey J. M., and Dingus T. a., A method for evaluating collision avoidance systems using naturalistic driving data, *Accid. Anal. Prev.*, vol. 40, no. 1, pp. 8-16, 2008.
24. Montgomery J., Kusano K. D., and Gabler H. C., Age and Gender Differences in Time to Collision at Braking From the 100-Car Naturalistic Driving Study," *Traffic Inj. Prev.*, vol. 15, no. sup1, pp. S15-S20, Sep. 2014.
25. National Highway Traffic Safety Administration, Forward Collision Warning System Confirmation Test. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2016-2017.
26. Rong Chen, Sherony R., and Gabler H. C., Comparison of Time to Collision and Enhanced Time to Collision at Brake Application during Normal Driving, SAE Tech. Pap., no. 2016-01-1448, 2016.
27. Shaout A., Colella D., & Awad S. Advanced driver assistance systems-past, present and future. In Computer Engineering Conference (ICENCO), 2011 Seventh International (pp. 72-82). IEEE.
28. Subaru XV Owners manual, Режим доступа: <https://www.subaru.co.uk/owners/manuals/xv-owners-manuals/2018.html>

- 29.U.S. DOT/NHTSA - Final Report - Forward Collision Warning Confirmation Test - 2016 Infiniti Q50, Режим доступа: <https://www.regulations.gov/document?D=NHTSA-2010-0093-0166.html>.
- 30.U.S. DOT/NHTSA - Final Report - Dynamic Brake Support system Confirmation Test -2015 Volvo S60, Режим доступа: <https://www.regulations.gov/document?D=NHTSA-2015-0006-0034.html>.