

## Аналіз та вплив принципів роботи систем активної безпеки автомобіля на безпеку руху

Товстокорий М. Ю.<sup>1</sup>, Гнатов А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Аналіз спрямований на вивчення та оцінку методів і технологій, які здатні підвищити рівень активної безпеки автомобіля. В роботі розглянуті сучасні системи та інновації, такі як антиблокувальна система гальм, система адаптивного круїз-контролю, система контролю тиску в шинах. Ціль дослідження полягає у визначенні ефективності цих систем для підвищення безпеки на дорогах та виявлення потенційних шляхів їх вдосконалення.*

***Ключові слова:** активна безпека; системи активної безпеки; антиблокувальна система; система адаптивного круїз-контролю; система контролю тиску в шинах.*

### Вступ

В сучасному світі, коли на дорогах спостерігається зростаюче число дорожньо-транспортних пригод, питання активної безпеки стає дуже актуальним. Безпека на дорозі залишається одним з ключових викликів для суспільства, тому автовиробники зобов'язані працювати не лише над зовнішнім виглядом і продуктивністю автомобіля, а також пильно відстежувати питання безпеки на дорогах.

Перші системи активної безпеки походять ще з минулого століття з плином часу технології розвивались і на сьогодні майже всі авто оснащені такими системами. Але навіть найдосконаліші системи не завжди працюють ідеально. Існують випадки некоректної роботи, які ставлять під питання ефективність існуючих технологій. Це сприяє пошуку нових шляхів удосконалення систем активної безпеки та забезпеченню більш надійного захисту на дорогах.

### Аналіз публікацій

Дослідження принципів роботи сучасних систем активної безпеки має велику кількість робіт, наприклад, у статті [2] проаналізовано основні системи допомоги водію, які існують у автомобілі, також були приведені основні можливості систем пасивної безпеки, які можуть поліпшити безпеку пасажирів та пішоходів. У статтях [8-15] приведено аналіз ро-

боти системи адаптивного круїз-контролю, систем активної безпеки та способи і методи діагностування сучасних автотранспортних засобів. Адаптивний круїз-контроль – це велика система, яка складається з багатьох підсистем та датчиків. З її допомогою автомобіль може підтримувати встановлену водієм швидкість та підлаштовувати її до інших транспортних засобів. Ця система важлива, тому що може забезпечити безпечну відстань між автомобілями, самостійно знизити та збільшити швидкість, чим забезпечує більш комфортне та безпечне пересування. Також було розглянуто питання інтелектуалізації системи адаптивного круїз-контролю на основі штучних нейронних мереж. Що показало, що за допомогою штучних нейронних мереж можливо навчитися прогнозувати поведінку інших транспортних засобів та приймати більш зважені та вірні рішення щодо обставин на дорозі.

В роботі [16] розглянуто принцип роботи системи курсової стійкості, система дозволяє утримувати автомобіль у межах заданої траєкторії при різноманітних режимах руху. Представлено системи управління тиском повітря в шинах транспортних засобів та їх конструктивні та функціональні особливості, що показало, що ці системи є ефективним засобом підвищення безпеки та ефективності транспортних засобів і повинні встановлюватися на всі сучасні автомобілі.

У статті [17] авторами було розглянуто

інноваційні технології забезпечення активної безпеки транспортних засобів. На основі цієї роботи можна зробити висновок, що інноваційні технології забезпечення активної безпеки транспортних засобів є ефективним засобом зниження дорожньо-транспортних пригод та тяжкості їх наслідків. Також впровадження таких технологій потребує розробки нових законодавчих норм які б зобов'язували виробників обладнувати свої автомобілі такими технологіями. Також у аналізі [18] авторами приведені сучасні засоби активної безпеки автомобіля, які дозволяють попередити водія про потенційну небезпеку, що може дозволити вчасно прийняти рішення про її уникнення, запобігти зіткненню, гарантувати безпеку пасажирів та пішоходів у разі зіткнення. В роботі [19] показано принцип роботи системи ABS, це система активної безпеки, що запобігає блокуванню коліс транспортного засобу при гальмуванні. Можна зробити висновок, що з використанням цієї системи гальмівний шлях автомобіля скорочується на 15-20% у порівнянні з автомобілем в якому не використовується ця система. Отже система ABS є одним із найефективніших засобів підвищення безпеки автомобіля при гальмуванні.

Автори роботи [21] представили систематичний огляд наукової літератури з активної безпеки для двоколісних транспортних засобів. В роботі перераховано всі системи активної безпеки що розробляються на цей час та виявлено прогалини в знаннях і визначені перспективні напрямки досліджень, які потребують подальшого розгляду та вдосконалення. Основним висновком дослідження є те, що доволі перспективним є комбінований вплив різних систем безпеки, який можна використати для підвищення ефективності та максимізації впливу нових технологій на безпеку автомобільного транспорту.

В роботі [22] дослідники ставлять за мету надати огляд поточного стану та майбутніх перспектив розумних автомобілів, беручи до уваги технологічні, транспортні та соціальні особливості. У статті проведено аналіз підходів до створення розумного універсального автомобіля, можливих змін, які можуть відбутися в найближчі десятиліття, характеристик 5G, ADAS (передові системи допомоги водієві) та джерел живлення. Автори цієї роботи бачать автомобіль, як складову IoT-технологій, який має всі наявні системи безпеки та які здатні автоматично налаштувати-

тися входячи до комплексу «розумного міста».

У статтях [1-7] приведено дослідження та зміст датчиків тиску в автомобілі. Це важлива складова системи активної безпеки, так як правильний тиск в шинах підвищує керованість автомобіля та знижує знос шин, а також допомагає запобігти аваріям через недостатній тиск в шинах.

В роботі [20] автори дослідили питання принципу роботи ПД регулятора, результати досліджень показали, що ПД регулятор може забезпечити високу точність керування об'єктом в широкому спектрі умов. Отже можна зробити висновок, що ПД регулятор є одним із найбільш ефективних типів регуляторів та може використовуватися для різних задач, а саме в системах активної безпеки автомобіля.

Отже, проведений аналіз показав, що тематика активної безпеки на автотранспорті є актуальною та потребує подальшого розгляду та вдосконалення.

### Мета та постановка задачі

Метою роботи є аналіз існуючих систем активної безпеки автомобіля, виявлення їх недоліків та дослідження можливості підвищення рівня активної безпеки транспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити будову систем активної безпеки автомобіля;
- провести аналіз складових активної безпеки автомобіля;
- дослідити алгоритми роботи активної безпеки автомобіля;
- визначити основні переваги та недоліки систем активної безпеки автомобіля;
- визначити принцип роботи датчиків та систем активної безпеки автомобіля.

### Антиблокувальна система (ABS)

Антиблокувальна система використовується при різкому гальмуванні для того щоб запобігти блокуванню колеса. Це досягається за рахунок контролю ковзання колеса, також необхідна підтримка коефіцієнта тертя до відповідного оптимального значення. Пробукування колеса визначається як відносний рух між колесом і дорожнім покриттям під час руху автомобіля. Ковзання виникає коли кут швидкості колеса вища або нижча

швидкості вільного руху колеса. Сили, які діють на автомобіль що рухається прямолінійно при гальмуванні зображено на рис. 1.

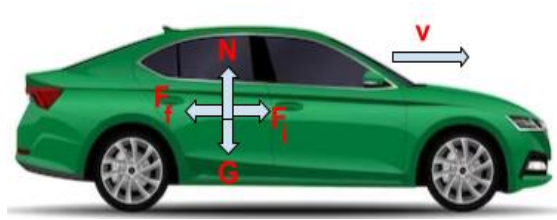


Рис. 1. Сили, що діють на транспортний засіб під час гальмування [13]

Можна записати рівняння рівноваги для горизонтального і вертикального напрямків:

$$\begin{cases} F_i = F_f = \mu \cdot N; \\ N = G = m_v \cdot g, \end{cases} \quad (1)$$

де  $F_f$  – сила тертя між колесом і поверхнею;  $F_i$  – інерційна сила транспортного засобу;  $G$  – сила тяжіння;  $\mu$  – коефіцієнт тертя між колесом і поверхнею;  $m_v$  – вага транспортного засобу;  $g$  – прискорення.

Силу інерції можливо виразити за другим законом Ньютона:

$$F_i = m_v \cdot a_v = m_v \cdot \frac{dv_v}{dt}, \quad (2)$$

де  $a_v$  – прискорення транспортного засобу;  $v_v$  – лінійна швидкість транспортного засобу.

З наведених вище співвідношень виходить наступний вираз прискорення автомобіля. Лінійну швидкість транспортного засобу можна додатково отримати шляхом інтегрування:

$$\frac{dv_v}{dt} = \frac{1}{m_v} \cdot (\mu \cdot m_v \cdot g). \quad (3)$$

Водій за допомогою гальмівної системи прикладає гальмівний момент до коліс. Сила тертя між колесами та дорожнім покриттям, також враховуючи радіус колеса створює резистивний момент. Для спрощення вважається, що колесо не додає додаткового крутного моменту.

Рівняння рівноваги для колеса:

$$C_b - F_f \cdot r_r - J_r \cdot \frac{d\omega_r}{dt} = 0, \quad (4)$$

де  $C_b$  – гальмівний момент, прикладений до колеса;  $F_f$  – сила тертя між колесом і поверхнею дороги;  $r_r$  – радіус колеса;  $J_r$  – момент інерції колеса;  $\omega_r$  – кутова швидкість колеса.

Кутова швидкість колеса може бути додатково отримана шляхом інтегрування:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J_r} \cdot (C_b - F_f \cdot r_r). \quad (5)$$

Ковзання колеса можна виразити як:

$$s = 1 - \frac{\omega_r}{\omega_v}, \quad (6)$$

де  $\omega_v$  – еквівалентна кутова швидкість автомобіля,  $\omega_v = \frac{v_v}{r_r}$ .

Сили, що діють на колесо автомобіля під час гальмування зображено на рис. 2.

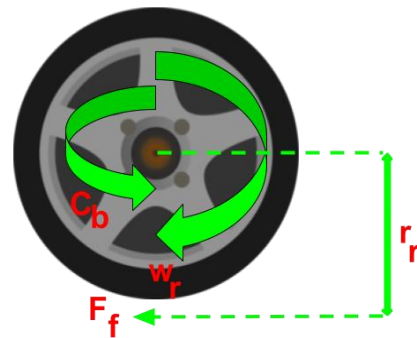


Рис. 2. Сили, що діють на колесо автомобіля під час гальмування

Коефіцієнт тертя  $\mu$  між колесом і дорогою залежить від декількох факторів, таких як тип дороги, умов вологості та температури, пробуксовки коліс та швидкості автомобіля. Це можна виразити як емпіричну функцію, що залежить від ковзання колеса

$$\mu(s) = C_1 \cdot (1 - e^{-C_2 \cdot s}) - C_3 \cdot s, \quad (7)$$

де  $C_1, C_2, C_3$  – коефіцієнти, визначені емпірично.

Значення коефіцієнтів для різних дорож-

ніх покриттів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів для різних дорожніх покриттів

Дорожнє покриття	$C_1$	$C_2$	$C_3$
Сухе	1.2801	23.99	0.52
Мокре	0.857	33.82	0.347
Сніг	0.1946	94.12	0.0646
Крига	0.05	306.3	0

Залежність коефіцієнта тертя від ковзання колеса зображено на рис. 3.

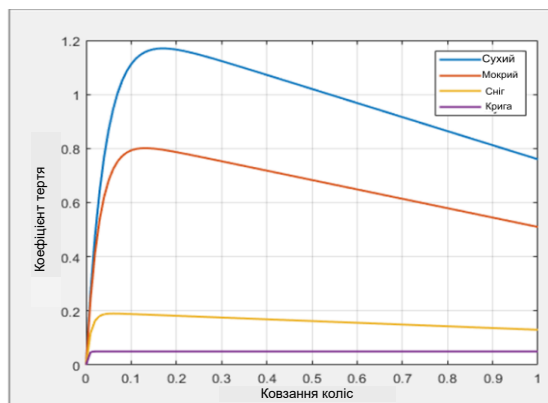


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя від ковзання

Існує дві області, які можливо спостерігати, стабільна область, в якій  $\mu$  зростає зі збільшенням  $s$  і нестабільна область, в якій  $\mu$  зменшується зі збільшенням  $s$ . ABS тримає ковзання колеса близьким до оптимального значення.

### Система адаптивного круїз-контролю

Адаптивний круїз-контроль (АКК) це система автоматичного керування швидкістю автомобіля, яка дозволяє підтримувати задану швидкість та безпечну дистанцію до інших транспортних засобів на дорозі. Вона складається з багатьох підсистем [19]. Система АКК має багато переваг перед звичайним круїз-контролем та дозволяє реагувати на певні дорожні обставини [8].

Сьогодні, зі збільшенням попиту на транспорт, існує потреба в гнучкому способі контролю дороги. Адаптивні системи управління стали можливими завдяки появі нових технологій. Зі збільшенням кількості автомобілів на дорогах і ускладненням транспортної інфраструктури, потреба в модернізації транспортної системи також зростає. Відповідно,

нові рішення в галузі інтелектуальних транспортних систем (ІТС) привели до нових способів гнучкого управління. У порівнянні з класичним круїз-контролем, АКК сприяє підвищенню комфорту і зменшенню стресу для водіїв, виконуючи завдання на відстані від головного автомобіля. АКК автоматично регулює швидкість руху, щоб утримувати провідний автомобіль відповідно до встановленої відстані. Система автоматично гальмує автомобіль при наближенні до головного автомобіля, якщо необхідно, з невеликою активацією гальма, що сприяє та економить споживання палива та підвищує економічну ефективність [19]. Якщо провідний автомобіль збільшує швидкість, система адаптивного круїз-контролю також збільшує швидкість автомобіля до встановленої максимальної швидкості. Якщо попереду немає транспортних засобів, АКК поводить як класичний круїз-контроль. Також під час водіння на схилі, гальма АКК підтримують задану швидкість, а водієві залишається лише тримати кермо під контролем. Адаптивний круїз-контроль також надзвичайно корисний в умовах поганої видимості, наприклад у тумані. У цьому випадку система легко розпізнає транспортні засоби, що рухаються попереду та автоматично уповільнює автомобіль [13].

Застосування блоку адаптивної системи керування можливе наступним чином. вхідний сигнал регулятора є похибкою, яка представляє різницю між бажаною та фактичною швидкістю або відстанню між автомобілями. Відповідно до цієї помилки контролер подає сигнал керування, який регулює кут нахилу заслінки. Положення педалі акселератора, виміряне контролером, змінить швидкість обертання двигуна. Круїз-контроль регулює швидкість автомобіля на основі бажаної швидкості та відстані, а фактичні швидкість та відстань надходять від датчика з гілки зворотного зв'язку. Короткий часовий проміжок дає водієві або системі менше часу для реакції, якщо попередній автомобіль змушений дуже швидко сповільнитись, що збільшує ймовірність випадкової аварії.

Система адаптивного круїз-контролю працює у двох режимах:

- контроль швидкості. Автомобіль рухається зі швидкістю, встановленою водієм;
- контроль дистанції. Автомобіль підтримує безпечну дистанцію до автомобіля попереду.

Система АКК вирішує який режим використовувати на основі радарних вимірювань у реальному часі.

Якщо автомобіль попереду знаходиться занадто близько, система АКК перемикається з контролю швидкості на контроль дистанції. Так само, якщо автомобіль попереду знаходиться далі, система перемикається з контролю дистанції на контроль швидкості.

Метою контролера АКК є реалізація круїз-контролю і адаптивного керування (підтримка бажаної відстані до транспортного засобу що рухається попереду). Виходячи із різноманітних ситуацій на дорозі, можливо класифікувати режим руху наступним чином:

- стійке слідування за попереднім транспортним засобом;
- екстрене гальмування автомобіля, який рухається попереду;
- екстрене прискорення автомобіля що рухається попереду;
- екстрене гальмування транспортного засобу з АКК.

Очевидно, що транспортний засіб, оснащений системою АКК повинен вміти справлятися з цими сценаріями [13]. Система АКК проектується в структурі, яка містить багатшарові контролери, верхній та нижній. Верхній контролер вираховує бажане прискорення на основі поточної дорожньої ситуації, а нижній контролер перетворює дані в бажаний результат, щоб виконуючий механізм міг його реалізувати.

Багато методів оптимізації були застосовані до різноманітних контролерів для підвищення ефективності руху, покращення комфортності водіння та забезпечення безпеки транспортних засобів. Один із популярних контролерів пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) контролер, який зображено на рис. 4.

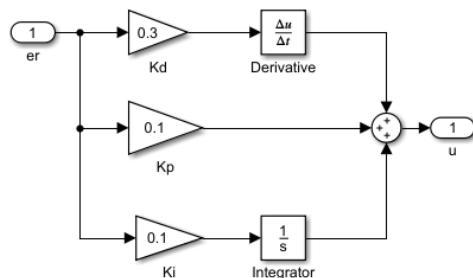


Рис. 4. Модель PID – регулятора

Регулятор використовує відносну відстань, відносну швидкість та відносне прискорення в якості вхідних даних і бажане прискорення в якості вихідних даних. ПІД-контролер це перший метод, використаний в проектуванні системи круїз-контролю, за допомогою якого можна корегувати похибку відстані та відносну швидкість.

Керуючий сигнал ПІД-регулятора виходить в результаті додавання трьох складових [20]:

- перша пропорційна величині сигналу неузгодженості;
- друга інтегралу сигналу неузгодженості;
- третя його похідної.

У випадку коли один із цих компонентів не доданий в момент складання, то регулятор стає не ПІД, а просто пропорційним, пропорційно-диференціюючим чи пропорційно-інтегруючим.

Однак недоліком використання ПІД-регулятора є велика кількість часу, необхідного для налаштування параметрів, а також те, що ПІД не може передбачити траєкторію майбутнього руху транспортного засобу. Тому через інерційність транспортного засобу керування завжди має фазову затримку керування рухом автомобіля, також ПІД-регулятор не стійкий до зовнішніх збурень.

Система АКК має багато переваг, основні з котрих є [13]:

- покращення безпеки. АКК дозволяє водію автоматично підтримувати безпечну відстань від інших транспортних засобів, що знижує ризик зіткнень та аварій на дорогах;
- зменшення втоми водія. Завдяки тому що АКК автоматично регулює швидкість автомобіля, водій може зосередитись на керуванні автомобілем і менше втомлюватись;
- підвищення комфорту водіння. АКК може регулювати швидкість і дистанцію до автомобіля що рухається попереду, знизити стрес водія та підвищити комфорт поїздки;
- економія палива. Система АКК може знизити витрату палива, так як автомобіль буде пересуватись більш ефективно, використовує менше палива в процесі гальмування та прискорення;
- покращення трафіку. Завдяки тому, що система АКК регулює швидкість автомобіля, вона може допомогти знизити завантаженість доріг та покращити потік транспорту;
- розширення можливостей автомобіля. АКК може використовуватись в поєднанні з іншими технологіями автоматичного керування. Такими як система автоматичного па-

ркування, для того щоб покращити функціональність автомобіля;

- зменшення шкідливих викидів. АКК допомагає знизити шкідливі викиди в атмосферу, так як вона може автоматично регулювати швидкість руху і тим самим знижувати витрату палива та викиди вихлопних газів;

- автоматичне утримання полоси. Деякі системи АКК також можуть мати функцію утримання полоси, котра дозволяє автомобілю залишатися в своїй смузі руху без участі водія. Це може бути корисно при довготривалих поїздках по магістралі.

Не зважаючи на численні переваги, система адаптивного круїз-контролю має деякі недоліки:

- не підходить для всіх ситуацій. АКК не рекомендується використовувати в умовах щільного трафіку на дорогах з обмеженою видимістю або на ділянках доріг з крутими поворотами так як система може не впоратись з такими ситуаціями;

- вартість. Автомобілі, оснащені системою АКК можуть коштувати дорожче, ніж ті, в котрих її немає. Крім того, ремонт та заміна деталей системи можуть бути багатовартісними;

- залежність від датчиків. Система АКК залежить від працездатності та точності датчиків, що може знизити її ефективність в поганих погодних умовах або при наявності інших перешкод (напр. забруднення датчиків);

- несумісність з деякими марками та моделями автомобілів. Деякі марки та моделі автомобілів можуть не підтримувати систему АКК або підтримують її в більш дорогих комплектаціях.

### Датчики тиску в шинах

Правильний тиск у шинах може мати значний вплив на безпеку і ефективність автомобіля [15]. Він допомагає зменшити споживання палива, покращує тримання дороги, скорочує гальмівний шлях і навіть збільшує термін служби шин. Недостатній тиск, натомість, може викликати перегрів шин, що загрожує безпеці та може призвести до аварій. Насправді, близько 70% автомобілів на дорогах їздять хоча б з однією недокачаною шиною. Причини такої ситуації природні витоки та зміни температури. Більшість водіїв не перевіряють тиск у шинах, поки не помітять дивну поведінку автомобіля. Але важливо

вказати, що візуальна перевірка зазвичай недостатня для точного визначення низького тиску у шинах.

Недостатній тиск в шинах визначається за допомогою датчиків тиску. Недорога і проста система складається з датчику, який встановлюється на вентиль шини, який змінює свій колір при пониженні тиску. Цей датчик має низьку точність і не може передавати дані водію. В більш складних версіях такого датчика використовується передатчик радіочастотного сигналу, приймач і система попередження, зображено на рисунку 5 [4].

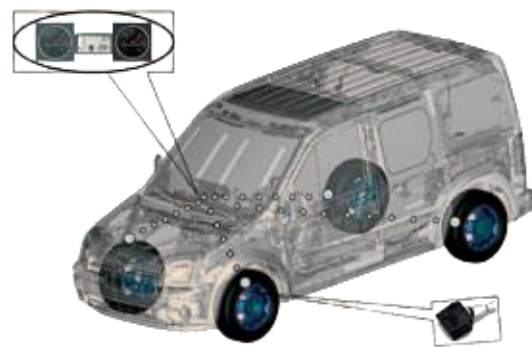


Рис. 5. Система контролю тиску в шинах [4]

Тиск в кожній шині вимірюється і передається через відповідний датчик і передатчик. Дані сигнали приймаються, декодуються і обробляються приймачем для запуску системи попередження через сигнальну лампу, звуковий сигнал, голосове повідомлення або відображення тиску.

Модуль датчика повинен бути маленьким за розміром і вагою, для того щоб мінімізувати вплив центробіжних сил. Модуль може працювати в діапазоні температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $120^{\circ}\text{C}$ . Наприклад, датчик тиску в шинах, вироблений компанією *Hell* складається з датчику, передатчику, антени, блоку керування, а також батареї для подачі енергії. Він має вентильний стрижень, котрий вмонтовується всередині шини через отвір на ободі колеса, зображено на рис. 6.



Рис. 6. Модуль датчика тиску [4]

Маса датчика зведена до мінімуму, щоб

зменшити ефект відцентрової сили внаслідок обертання шини. Більшість таких датчиків виготовлені з використанням технології CMOS, що забезпечує низьке споживання енергії. Датчик розроблено разом з аналогово-цифровим перетворювачем та пам'яттю для зберігання даних про тиск в шинах. В більш розвинених моделях також влаштовано датчик температури. Для керування функціями датчика на модулі вбудовано мікроконтролер у флеш-пам'ять якого завантажена програмна прошивка.

У певних моделях, коли автомобіль припаркований, датчик передає сигнали кожну годину, а інші моделі використовують датчики швидкості для активації передачі даних. У вищорівневих моделях модулів датчиків використовується вбудована низькочастотна приймальна схема, що перебуває в режимі очікування й активує датчик при сприйнятті сигналу від основного процесора транспортного засобу. Кожен датчик кодується унікальним чином для того, щоб можна було розрізнити шини. При заміні або переміщенні датчика шини, його необхідно скинути до початкових налаштувань [2].

Модуль приймача складається з антени і блоку керування, за допомогою яких активується система попередження. В більшості сучасних моделей модуль приймача є портативним зі влаштованим процесором, дисплеєм та системою попередження. Цей блок живиться або власною батареєю або батареєю автомобіля. Приймач запрограмований виробником для зв'язку кожного датчика з відповідним колесом і потребує повторного налаштування при заміні колеса або датчика. Базовий портативний дисплейний блок приймача має кольорові символи зі світлодіодами кожен з яких відповідає певному кольору для ідентифікації недокачаного колеса. Однією із можливих проблем приймача є уникнення перешкод даних від сусідніх автомобілей.

### Висновки

В роботі проведено роботи аналіз існуючих систем активної безпеки автомобіля, виявлення їх недоліків та дослідження можливості підвищення рівня активної безпеки транспортних засобів.

Разом ці системи являють собою основу та невід'ємну частину сучасних систем активної безпеки автомобіля. Система ABS зробила вагомий внесок в систему гальмівних

механізмів, покращила контроль та стійкість при екстремому гальмуванні за рахунок запобігання блокування коліс. Адаптивний круїз-контроль змінив відчуття від водіння та допомагає запобігати аваріям, підтримуючи безпечну дистанцію до інших учасників дорожнього руху і відповідно до них регулює швидкість. Також однією із важливих систем є система контролю тиску в шинах. За її допомоги можливо постійно стежити за тиском шин, що також може значно знизити ризик виникнення аварій.

Аналіз цих технологій показав що вони здійснюють комплексний вплив на поліпшення системи безпеки автомобіля. Але не дивлячись на те, що ці системи демонструють великий потенціал запобігання аварій та забезпеченню більш безпечних умов водіння, необхідні подальші вдосконалення та інтеграція в конструкцію автомобіля. Дослідження та розробки, що продовжуються, необхідні для використання всього потенціалу систем активної безпеки та створення майбутнього автономного керування автомобілем. У підсумку, дослідження цих механізмів безпеки підкреслює їх важливу роль у автомобільному будівництві та вказує на те, що постійні інновації та впровадження необхідні для створення більш безпечної моделі водіння та будуть корисними для всіх.

На цей час, системи активної безпеки набувають першочергового значення з впровадженням систем автономного водіння на автомобільному транспорті. Для каретної і стабільної роботи такої системи потрібна надійна і безвідмовна робота систем активної безпеки. Тобто, само собою випливає завдання у вдосконаленні існуючих та розробці новітніх систем активної безпеки автомобільного транспорту, базою для яких, на нашу думку, може послугуватися проведений в цій роботі аналіз.

### Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

### Література

1. Singh, K.B., Arat, M.A., Taheri, S. (2012) Development of a smart tire system and its use in improving the performance of a collision mitigation braking system. 2012 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Houston, TX, USA, 9–15 November. 77–87.

2. Коростельов М., Гнатов А. (2020). Дослідження активних систем безпеки для автотранспортних засобів. *Автомобільний транспорт*, (46), 40-40. Korostel'ov M., Hnatov A. (2020). Doslidzhennya aktyvnykh system bezpeky dlya avtotransportnykh zasobiv. *Avtomobil'nyy transport*. [Study of active safety systems for motor vehicles.] *Automobile transport*, (46), 40-40. [in Ukrainian].
3. Arhun, S., Borodenko, Y., Hnatov, A., Popova, A., Hnatova, H., Kunicina, N., & Ribickis, L. (2020). Choice of Parameters for the Electrodrive Diagnostic System of Hybrid Vehicle Traction. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 57(4), 3-11.
4. Xin, J. (2014). Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology. 473-477. <https://doi.org/10.1061/9780784413821.051>
5. Chekalin, V. G. (2011). Diagnosis and adjustment of automated electric drives (Uchebnoe posobie dlya VTUZov). TTU im. M. Osimi.
6. Borodenko, Y., Ribickis, L., Zabasta, A., Arhun, S., Kunicina, N., Zhiravetska, A., Kunicins, K. (2020). Using the method of the spectral analysis in diagnostics of electrical process of propulsion systems power supply in electric car. *Przeglad Elektrotechniczny*. R96. 47-50.
7. Tire Pressure Monitoring [Applications of Control] (2008). Retrieved from [https://www.researchgate.net/figure/A-direct-tire-pressure-monitoring-system-Sensors-in-each-tire-measure-pressure-The-data\\_fig1\\_3207920](https://www.researchgate.net/figure/A-direct-tire-pressure-monitoring-system-Sensors-in-each-tire-measure-pressure-The-data_fig1_3207920)
8. Longitudinal forces acting on the vehicle during braking on a downhill (2023). Retrieved from [https://researchgate.net/figure/Longitudinal-forces-acting-on-the-vehicle-during-braking-on-a-downhill\\_fig1\\_359521165](https://researchgate.net/figure/Longitudinal-forces-acting-on-the-vehicle-during-braking-on-a-downhill_fig1_359521165)
9. Dziubenko, O., Arhun, S., Hnatov, A., Ponikarovska, S. (2021). Choosing the method for determining angular motions of motor vehicle electromechanical subassemblies. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 8(32), 1-8. <https://doi.org/10.4108/eai.1-7-2020.165999>
10. Hnatov, A., Patlins, A., Arhun, S., Kunicina, N., Hnatova, H., Ulianets, O., & Romanovs, A. (2020, September). Development of an unified energy-efficient system for urban transport. In 2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon), 248-253.
11. Bloecher H. L., Dickmann J., Andres M. (2009) Automotive active safety & comfort functions using radar. 2009 IEEE International Conference on Ultra-Wideband. IEEE, 490-494.
12. Hnatov, A., Arhun, S., Tarasov, K., Hnatova, H., Mygal, V., Patlins, A. (2019, October). Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. In 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) (pp. 1-6). IEEE.
13. Vazhynova T., Kravchenko, O., Barta D., Haievyi, O., Pavelcik V. (2020) Neural Network Model of Assessing the Technical Condition of the Power Unit of a Hybrid Vehicle. 2020 XII International Science-Technical Conference AUTOMOTIVE SAFETY. (21-23 October 2020, Kielce, Poland) IEEE. 1-7.
14. Ніконов, О.Я., Щебенюк В.С., Улько В. Ю. (2015) Інтелектуалізація системи круїз-контролю автомобіля на основі штучних нейронних мереж. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 7. 81-84. Nikonov, O.Ya., Shchebenyuk V. S., Ul'ko V. YU. (2015) Intelktualizatsiya systemy kruiyz-kontrolyu avtomobilya na osnovi shtuchnykh neyronnykh merezh. ["Intellectualization of the car cruise control system based on artificial neural networks."] *Car and electronics. Modern Technologies*, (7). 81-84.[in Ukrainian].
15. Мигаль, В., Аргун, Ш., Гнатов, А., Гнатова, Г., Сохін, П. (2022) Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (22),72-80. Migal V., Argun Sh., Gnatov A., Gnatova G., Sokhin P. (2022) Intelktual'naya diagnostika transportnykh zasobiv. Intelligent vehicle diagnostics. [Intelligent diagnosis of vehicles]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii*. 22, 72-80. [in Ukrainian].
16. Козачук, В.В., Онищук, В.П., Козачук І.С. (2022) Системи управління тиском повітря в шинах транспортних засобів. *Центральний науковий вісник. Технічні науки*. 5(36), 289-298. Kozachuk V. V., Onyshchuk V. P., Kozachuk I. S. (2022) Systemy kontrolyu tysku povitrya v shynakh transportnykh zasobiv [Air pressure control systems in vehicle tires.]. *Tsentralnyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*. 5(36), 289-298. [in Ukrainian].
17. Regenerative Braking Logic (2023). Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/16/5846>
18. Driver support (2023). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/265111347>
19. ABS (2023). Retrieved from [https://mdpires.com/d\\_attachment/applsci/applsci-10-05271/article\\_deploy/applsci-10-05271v2.pdf?version=1596205639](https://mdpires.com/d_attachment/applsci/applsci-10-05271/article_deploy/applsci-10-05271v2.pdf?version=1596205639).
20. ПІД-закони регулювання (2023). Retrieved from [http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7310/1/MR\\_Nepomnyashchiiy.pdf](http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7310/1/MR_Nepomnyashchiiy.pdf) PID-zakony rehulyvannya (2023) [SUB-laws of regulation] Retrieved from [http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7310/1/MR\\_Nepomnyashchiiy.pdf](http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/7310/1/MR_Nepomnyashchiiy.pdf). [in Ukrainian].
21. Savino, G., Lot, R., Massaro, M., Rizzi, M., Symeonidis, I., Will, S., & Brown, J. (2020). Active safety systems for powered two-wheelers:



A systematic review. Traffic injury prevention, 21(1), 78-86.

22. Arena, F., Pau, G., & Severino, A. (2020). An overview on the current status and future perspectives of smart cars. *Infrastructures*, 5(7), 53.

**Товстокорий Максим Юрійович<sup>1</sup>**, студент  
автомобільного факультету, кафедра  
Автомобільної електроніки,  
mtovstokoryj@gmail.com, тел. +38 098-790-23-17

**Гнатів Андрій Вікторович<sup>2</sup>**, проф., док. наук,  
зав. кафедри Автомобільної електроніки, тел.  
+38 066-743-08-87, [kalifus76@gmail.com](mailto:kalifus76@gmail.com),  
ORCID: 0000-0003-0932-8849

Харківський національний автомобільно-  
дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків,  
вул. Ярослава Мудрого, 25.

### Analysis of opportunities to increase the level of active car safety

**Abstract. Problem.** Increasing the active safety of automobiles remains an important issue in modern automotive engineering. This study will investigate opportunities to increase the effectiveness and scope of automotive active safety measures. Current active safety measures, while effective, are limited in their ability to address the dynamic and multifaceted nature of hazards on the road. Factors such as human error, changing road conditions, and the emergence of new traffic patterns still pose significant risks. These challenges require a comprehensive analysis of opportunities to increase the effectiveness of active car safety. To address these challenges, novel technologies must be explored, industry collaboration must be encouraged, and adaptable standards must be established to integrate and enhance active safety features in vehicles. Thus, it is essential to identify and capitalize on opportunities for progress in active vehicle safety to reduce traffic crashes and promote safer transportation systems **Goal.** The overarching goal is to significantly improve the effectiveness and breadth of active safety measures for vehicles. This includes:

enhanced protection, proactive risk reduction, technology integration, behavioral adaptation, and regulatory strengthening. Achieving these goals will require a multidisciplinary approach that combines technological innovation, behavioral science, regulatory adaptation, and industry collaboration to create a comprehensive and effective active vehicle safety ecosystem. **Methodology.** Analytical research methods are used, Researching and developing cutting-edge technologies. **Originality.** A detailed analysis was carried out and the principles of operation of systems and mechanisms included in active safety systems were presented. This analysis will allow to determine the advantages and disadvantages that should be paid attention to when studying these systems. **Practical value.** Enhanced active car safety offers a variety of benefits and has substantial value. Reduced accidents and fatalities: Reduced accidents and fatalities, advanced safety measures can significantly reduce the frequency and severity of accidents, leading to fewer injuries and fatalities on the road. Improved traffic flow, proactive safety systems reduce potential hazards and contribute to smoother traffic flow and less congestion caused by accidents. Technological innovation, advances in active safety can contribute to broader technological innovation and influence advances in areas other than automotive safety.

**Key words:** anti-lock braking system; active safety; adaptive cruise control system; tire pressure control system; active safety systems.

**Tovstokoryi Maksym<sup>1</sup>** student of the Automotive faculty, Vehicle Electronics Department  
mtovstokoryj@gmail.com, tel. +38 098-790-23-17

**Hnatov Andrii<sup>1</sup>**, professor, Doct. of Science, Head of Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-0887, [kalifus76@gmail.com](mailto:kalifus76@gmail.com),  
ORCID: 0000-0003-0932-8849

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.