



ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“

ФИЗИКО – ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ



КАТЕДРА „МАШИНОСТРОЕНЕ И ТРАНСПОРТ“

маг. инж. Николай Асенов Тошев

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА АКТИВНА БЕЗОПАСНОСТ В
АВТОМОБИЛИТЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
“ДОКТОР”

Област на висше образование:

5. Технически науки

Професионално направление:

5.1. „Машинно инженерство“

Докторска програма:

„Методи за контролиране и изпитване на материали, изделия и апаратура“

Научни ръководители:

доц. д-р Кънета Илиева Паскалева

проф. д.т.н. Георги Атанасов Мишев

Пловдив, 2025 г.

Дисертационният труд е с обем 181 страници, включително 54 фигури, 32 таблици, оформени в увод, четири глави, общи изводи, научно-приложни и приложни приноси, списък с използваните термини и съкращения, списък с публикациите на автора и две приложения. Списъкът на цитираната литература включва 136 заглавия.

Означенията на формулите, фигурите и таблиците в автореферата съвпадат с тези в дисертационния труд на заседание на научно жури.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на разширения катедрен съвет на катедра „МАШИНОСТРОЕНЕ И ТРАНСПОРТ“ при ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“ на 28.04.2025 г., Протокол № 71

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 09.07.2025г. от 11:00 часа, ет.1, заседателна зала в Ректорат на ул."Цар Асен" №24.

Материалите по защитата на докторанта са на разположение на интересувашите се в канцеларията на Физико-технологичния факултет при ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“, стая 214.

Научно жури: проф. д-р Слави Ясенов Любомиров
 проф. д-тн Николай Димитров Менков
 доц. д-р Георги Георгиев Комитов
 доц. д-р Боян Ангелов Дочев
 доц. д-р Велко Славчев Рупецов

Автор: маг. инж. Николай Асенов Тошев

Заглавие: **ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА АКТИВНА
БЕЗОПАСНОСТ В АВТОМОБИЛИТЕ**

Тираж: 30 бр.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Пътнотранспортните произшествия са социален и икономически проблем с глобално значение, като съществен дял в причините за възникването им имат спирачните системи и тяхната ефективност. В този контекст актуален интерес представлява изследването на системите за активна безопасност, чиято основна цел е предотвратяване на инциденти чрез подпомагане на водача и автоматизирана намеса в управлението на автомобила при рискови ситуации.

Системите за активна безопасност са едно от най-значимите достижения на съвременната автомобилна индустрия и водеща тенденция при стремежа към намаляване на риска от пътнотранспортни произшествия. През последните десетилетия развитието на автомобилите е белязано от интеграцията на все по-усъвършенствани електронни системи, целящи да подпомагат водача и да осигурят по-високо ниво на безопасност за всички участници в движението.

Въпреки значителния напредък и широкото разпространение на разнообразни системи за активна безопасност, все още съществува необходимост от задълбочено изследване на тяхната реална ефективност при различни експлоатационни условия. Анализът на съществуващата научна литература и експериментални данни показва, че фактори като състояние на пътната настилка, скорост на движение, тип и състояние на гумите, както и спецификите на самите системи, могат съществено да повлияят на тяхното представяне.

Дисертационният труд е посветен на критичния анализ и експерименталното изследване на антиблокиращата спирачна система (ABS) и системата за автоматично аварийно спиране (АЕВ) в условия, максимално близки до реалната експлоатация, с цел систематизиране на възможностите за подобрене и оценка на тяхната ефективност. В него е извършен детайлен преглед на съществуващите технологии и методики за оценка, както и експериментален анализ на основните фактори, влияещи върху динамиката на автомобилите при аварийни спирания, включително състоянието на пътната настилка, избор на гуми и работоспособност на антиблокиращата спирачна система (ABS).

В дисертацията е разработена и приложена специализирана методика за оценка на ефективността на ABS и АЕВ, с използването на високотехнологична безконтактна измервателна апаратура, улесняваща прецизното измерване на спирачното закъснение и времето за спиране. Проведени са над 270 теста с различни автомобили при разнообразни настилки и скорости, като се анализират основните влияещи фактори – състояние на пътя, тип гуми и работа на ABS.

Резултатите от експериментите показват ясно изразено подобрене в спирачното поведение на автомобилите при работа на системите за активна безопасност, особено при неблагоприятни условия. Експерименталният анализ демонстрира значението на адекватната поддръжка и избор на гуми, както и ролята на автоматизираните системи в намаляването на риска от инциденти.

Получените заключения служат като основа за бъдещи научни изследвания, насочени към повишаване на пътната безопасност и усъвършенстване на системите за активна безопасност в съвременните автомобили.

Целта на дисертационния труд е да се изследват възможностите на системите за активна безопасност за намаляване на риска от пътнотранспортни произшествия.

За постигане на целта се поставят следните **ЗАДАЧИ**:

1. Да се извърши проучване и анализ на системите за активна безопасност.
2. Разработване на методика и инструментариум за експериментално изследване на ефективността на системите ABS и АЕВ.
3. Експериментални изследвания на факторите, влияещи на спирачния път и спирачното закъснение.
4. Експериментални изследвания на ефективността на системата за активна безопасност АЕВ.
5. Анализ, изводи и препоръки.

Използвани методи и средства на изследване:

Използваните методи за изследване са от научните области: системи за активна безопасност в автомобила, динамика на превозни средства, измервателни технологии за определяне на скоростта и ускорението, експериментално моделиране на спирачните характеристики, и статистически методи за обработка на експериментални данни.

Внедряване и практическа приложимост

Реализирани, изследвани и анализирани са данните, за влиянието на ABS върху спирачните характеристики при различни пътни условия. Проведени са изследвания и анализи на вероятността за задействане и ефективността на АЕВ.

Публикации по темата

Основните резултати са публикувани в: 1 брой в Научна поредица "Иновативно STEM образование", 1 брой в сборници доклади на СУБ – Смолян, 1 брой в сборник с доклади „Journal of Physics and Technology” и 1 брой в международния сборник „International Scientific Conference Electronics“. Две от публикациите са в съавторство и две са самостоятелни.

Обем и структура на дисертационния труд

Дисертационният труд е с обем 180 страници, включително 54 фигури, 32 таблици, оформени в увод, 4 глави, общи изводи, научно-приложни и приложни приноси, списък с използваните термини и съкращения, списък с публикациите на автора. Списъкът на цитираната литература включва 136 заглавия, от които 2 на български език, всички останали на латиница. В приложенията са включени още 19 фигури и 18 таблици.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1. Анализ на състоянието на проблема

Първа глава на дисертационния труд е посветена на литературния обзор, разглеждащ темата за системите за активна безопасност в автомобилите. В нея е направен детайлен анализ на актуалните системи за контрол на спирането, включващ антиблокиращи системи (ABS), автономно и автоматизирано аварийно спиране (АЕВ и АЕBS). Разгледани са също така и системите за контрол на сцеплението и стабилността, като електронна стабилизираща програма (ESP) и системата за контрол на сцеплението (TCS).

Главата подчертава значението на системите за предупреждение и асистенция, сред които са системи за предупреждение при фронтален сблъсък и при напускане на лентата, както и технологии за автоматично паркиране (парктроник). Направен е анализ и на интелигентните системи за управление, като адаптивния круиз контрол и адаптивната система за предно осветление, заедно със съвременните комуникационни технологии, които повишават безопасността при шофиране.

Поставен е акцент върху изследванията на спирачния път и спирачното закъснение, идентифицирайки главните фактори, влияещи на тези параметри. Анализирани са резултати от експериментални изследвания, проведени в различни държави, включително България, относно динамиката на спиране и поведението на автомобила при критични ситуации.

Специално внимание е отделено на теоретичните основи и методологическите подходи за анализ на спирачната ефективност, като са проучени взаимовръзките между различните параметри, влияещи върху процеса на спиране.

В главата се подчертава значението на системите за активна безопасност за съвременната автомобилна индустрия като ключов фактор за намаляване на риска от пътнотранспортни произшествия.

В заключението на главата е обобщено, че автомобилната индустрия непрекъснато търси нови подходи за усъвършенстване на системите за активна безопасност. Въпреки наличието на множество технически решения, насочени към намаляване на риска от инциденти, съществува необходимост от допълнителни изследвания на ефективността на тези системи при различни пътни условия. На базата на извършения анализ са формулирани целта и задачите на дисертационния труд, насочени към изследване на възможностите на системите за активна безопасност за намаляване на риска от пътнотранспортни произшествия.

Глава II. Методика и инструментариум за експерименталните изследвания

Методиката включва провеждане на експериментално изследване както с нормално функционираща ABS система, така и с принудително деактивирана такава, създавайки възможност за сравнителен анализ и оценка на спирачните характеристики. Експерименталните изследвания включват измерване на спирачния път и измерване на спирачното закъснение на лек автомобил при аварийно спиране по различни пътни настилки с различен коефициент на

сцепление. Изследването обхваща три основни експеримента, всеки от които е насочен към анализ на различни аспекти на спирачната ефективност при различни скорости, пътни условия и модели автомобили.

Експерименталните изследвания за възможностите на системите за активна безопасност ABS за намаляване риска от ПТП се проведеха в две направления:

- За определяне на спирачното закъснение при системата за активна безопасност ABS, при три различни модела леки автомобили, при три дифенцирани типа пътни условия
- За сравнителна оценка на спирачното закъснение при системата за активна безопасност ABS при лек автомобил, оборудван с летни и зимни гуми

II.1. Обект на изследване

За провеждане на експерименталните изследвания за определяне на спирачното закъснение при системата за активна безопасност ABS се използваха три различни леки автомобили с вградена система за активна безопасност ABS.

Взети са автомобили от различно поколение, като техническите характеристики са представени в таблица 2.1.

Таблица 2.1. Технически характеристики на автомобилите

Технически характеристики		A1 BMW 318 i	A2 Seat Leon	A3 Opel Astra	Opel Zafira
година на производство		1991г	2005г	2013г	2005г
обем на двигателя, cm ³		1796 cm ³	1896 cm ³	1686 cm ³	1995 cm ³
маса на празен автомобил, kg		1215 kg	1306 kg	1460 kg	1495 kg
система за активна безопасност		ABS	ABS	ABS	ABS
гуми	размер (условия)	185/65 R15 (зимни)	195/65 R15 (зимни)	205/60 R16 (зимни)	205/55 R16 (летни)/ 195/65 R15 (зимни)
	височина на протектор, mm	6 mm	8 mm	7 mm	6 mm/8 mm

За провеждане на експерименталните изследвания за сравнителна оценка на спирачното закъснение бе използван лек автомобил Opel Zafira A, техническите характеристики на който са посочени в таблица 2.1.

Спирачните системи на автомобилите, избрани за експерименталните изследвания, бяха проверени в лицензиран пункт за технически прегледи, като резултатите категорично потвърдиха тяхното нормално функциониране. Автомобилните гуми също бяха проверени и приведени в съответствие с изискванията на производителя.

Основният концептуален контекст, поставен в тази част от дисертацията, е създаването на систематичен и научно обоснован подход за оценка на съвременните системи за активна безопасност, като се предоставят изчерпателни данни за тяхната ефективност и надеждност при различни експлоатационни условия.

II.2. Измервателна апаратура

В измерването на спирачното закъснение, началната скорост на спиране и времето за спиране е използвана безконтактна система EnergoSM 4.0 (фиг. 2.1) на фирмата ENERGOTEST. Максималното спирачно закъснение беше измерено от деселерометъра „Energo-SM 4.0“ от момента на задействането на спирачката до пълното спиране на автомобила. Получените резултати бяха обработени със софтуер „ESM2: EnergoSM decelerometer windows software“ Ver.2.0.5, който предоставя графично представяне на параметрите в зависимост от времето, включително скоростта на автомобила.



Фиг.2.1. EnergoSM 4.0

EnergoSM 4.0 предоставя възможност за измерване на текущата скорост на превозното средство и спирачното закъснение с висока точност. Системата може да регистрира ускоренията и забавянията на автомобила в реално време, което е полезно за анализ на спирачната ефективност и други динамични характеристики.

Уреда Energo-SM 4.0 представлява съвременен инструмент за прецизно измерване и анализ на динамичните характеристики на превозните средства, което го прави много ценен в областта на автомобилните изследвания и разработки.

II.3. Експериментален полигон.



Фиг. 2.2. Полигон с асфалтова настилка.

Изследванията са осъществени на специализиран полигон (Фиг. 2.2), разположен в гр. Смолян, с едрозърнесто асфалтово покритие, осигуряващо хомогенна и стандартизирана повърхност за измерванията. Изследванията са проведени на прав и хоризонтален участък, като са симулирани различни пътни условия: суха настилка, мокра настилка и пясъчно поръсена повърхност.

За целите на експеримента са използвани три леки автомобили от един и същ клас, но с различни години на производство, за да се отчете влиянието на технологичните подобрения и износването на компонентите.

Експерименталните изследвания по първото направление за определяне на спирачното закъснение при системата за активна безопасност ABS бяха проведени през зимния период на годината. По второто направление (при лек автомобил, оборудван с летни и зимни гуми) се осъществиха през летния период на годината.

II.4. Планиране на експерименталните изследвания.

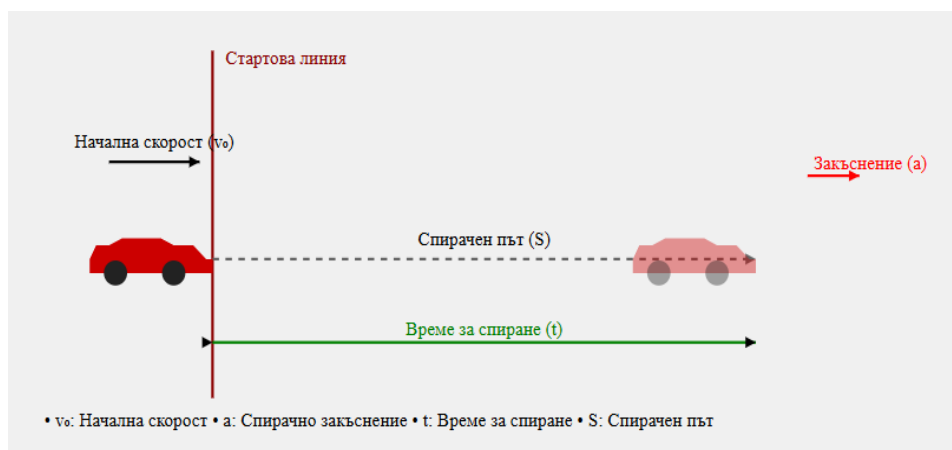
Експерименталните изследвания по първото направление бяха проектирани да оценят ефективността на спирачната система и влиянието на ABS при различни условия и скорости. Всеки експеримент е внимателно планиран, за да симулира реални пътни ситуации и да предостави данни за спирачното закъснение. Изследванията включват:

- Ниска скорост (около 40 км/ч) - автомобил се движи с постоянна скорост от 40 km/h по три различни настилки: суха, мокра и пясъчно поръсена.
- Средна скорост (около 50 км/ч) – същите условия.
- Висока скорост (около 60 км/ч) – отново по трите вида настилки.

При същите условия тестовете бяха проведени както с включен, така и с изключен ABS. Разработените изследвания осигуряват задълбочена оценка на работата на ABS при различни условия. Всеки сценарий се повтаря три пъти с три различни автомобили (BMW 318i, SEAT LEON и OPEL ASTRA), с цел осигуряване на статистически значими данни за надеждността на измерванията.

Второто направление включва сравнителна оценка на спирачното закъснение на лек автомобил (Opel Zafira), оборудван с летни и зимни гуми. Тук е добавена скорост от 30 км/ч и е премахната пясъчно поръсената настилка.

На фигура 2.3 е дадена схемата на провеждане на експерименталните изследвания.



Фиг. 2.3. Схема на експериментите, свързани с изследванията на ABS

Експерименталните изследвания се проведоха с автомобили, преминаващи през стартова линия с зададена скорост от 30, 40, 50 или 60 км/ч. Водачът задейства спирачната система с максимална сила, симулирайки аварийно

спиране. По първото направление са извършени 162 теста с три автомобила на три различни настилки и при скорости 40, 50 и 60 км/ч. По второто направление са проведени 96 теста с Opel Zafira, оборудван с летни и зимни гуми, при скорости 30, 40, 50 и 60 км/ч на две настилки.

Всеки експеримент е проведен в контролирани условия, за да се осигури точност и повторяемост на резултатите.

II.5. Методика за изчисляване и сравнителна оценка на спирачния път

Представената методика за теоретично изчисляване на спирачния път е базирана на основните принципи на класическата механика и кинематиката на равномерно ускореното движение.

Определянето на зависимостта на спирачния път от началната скорост V_0 , времето за спиране t и ускорението a (в случая отрицателно, тъй като става въпрос за закъснение) се извършва с формула 2.1.

$$S = V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}, \quad (2.1)$$

където:

S – спирачен път, [m]

V_0 - началната скорост, [km/h]

t - времето за спиране, [s]

a – ускорението, [m/s²]

Задачата е да се изчислят теоретичните стойности на спирачния път за различни скорости и пътни условия, които след това да бъдат сравнени с практически измерените стойности, получени от експерименталните изследвания. Този подход позволява да се оцени точността и надеждността на теоретичния модел, както и да се идентифицират потенциални отклонения, причинени от реалните условия на пътя и характеристиките на автомобила.

Формулата представлява базов теоретичен модел за ориентировъчно изчисляване на спирачния път. Тя е изведена от кинематичните уравнения на равноускорителното движение и позволява аналитично да се проследи влиянието на началната скорост V_0 , средното спирачно закъснение $\bar{a}$ и времето за спиране t .

ГЛАВА III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ФАКТОРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ НА СПИРАЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АВТОМОБИЛА

Изследванията обхващат два основни експериментални модула: първият – изследване на спирачните характеристики в зависимост от пътната настилка и скоростта на три различни леки автомобила, вторият – детайлно проучване на лек автомобил за влиянието на летни и зимни гуми върху спирачните характеристики.

Експерименталната постановка включва изследване на три автомобилни модела при реалистични симулации на аварийно спиране върху суха, мокра и пясъчно поръсена пътна настилка. Изследването включва прецизни измервания с безконтактна измервателна система, позволяваща точно проследяване на динамичните параметри като спирачен път, време за спиране и спирачно закъснение. Ключов елемент на изследването е паралелното изследване на

системата при нормална работа и принудително деактивирана ABS, което създава възможност за обективен сравнителен анализ и оценка на ролята на ABS за подобряване на спирачната ефективност и динамичната стабилност на превозните средства в критични ситуации.

Теоретичното сравнение на експерименталните резултати е реализирано чрез математическо моделиране, основаващо се на формулите, изложени във втора глава на дисертацията. Този подход дава възможност за идентифициране на статистически значими отклонения и задълбочен анализ на факторите, влияещи върху спирачната ефективност при различни условия.

За регистриране на изследваните параметри на автомобилите е необходимо да бъде използвано съвременно и прецизно оборудване, което гарантира точни резултати. В това изследване е използвана безконтактна система за измерване на скоростта и разстоянието на движещи се превозни средства EnergoSM 4.0, подробно описана в глава втора от дисертацията.

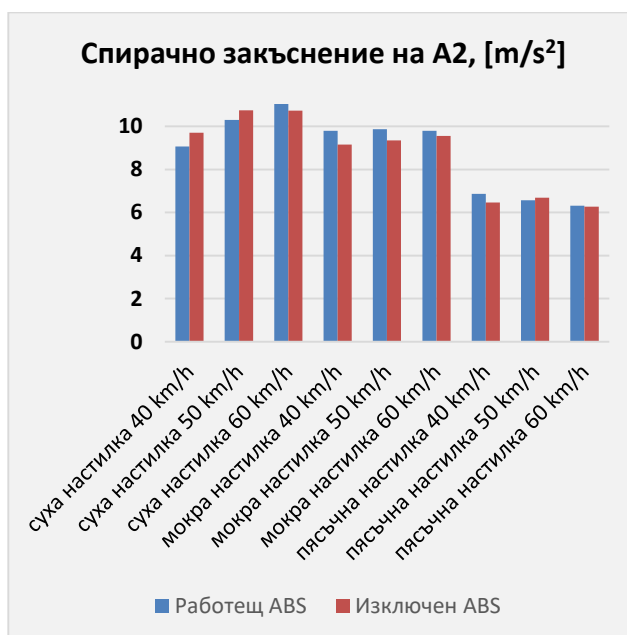
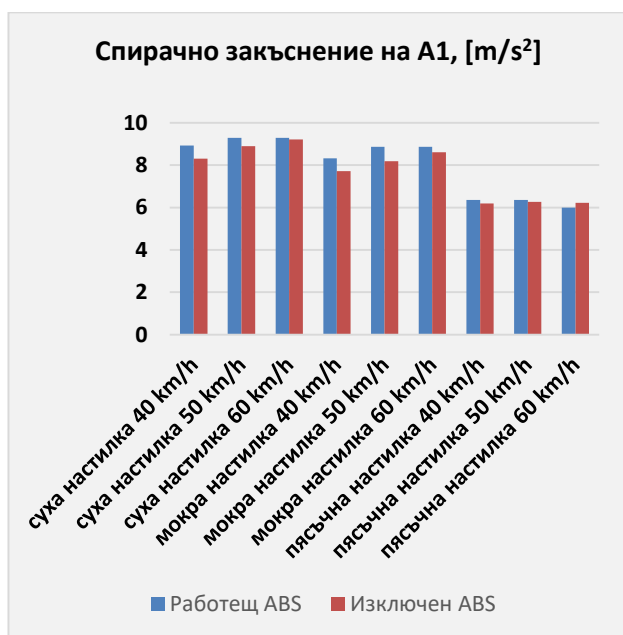
III.1. Експериментално изследване на типа на пътната настилка върху спирачното закъснение и спирачния път.

III.1.1. Изследване на състоянието на настилка и скоростта на автомобила върху спирачното закъснение.

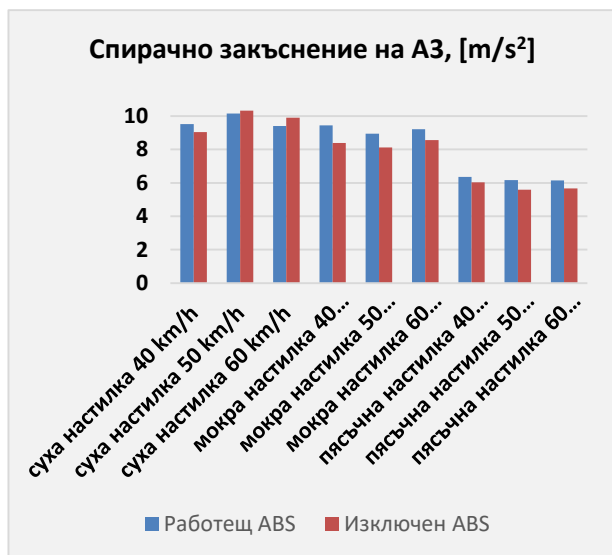
Изследваните фактори са:

- три състояния на настилка – суха, мокра и пясъчна;
- три скорости на автомобила – 40, 50, 60 km/h;
- три автомобила – A1 (BMW 318i), A2 (Seat Leon), A3 (Opel Astra);
- включена и изключена система ABS.

На фиг. 3.1, 3.2 и 3.3 са показани графичните диаграми на спирачното закъснение при различно състояние на настилка и различна скорост с и без ABS –система на трите автомобила.



Фиг.3.1. Резултати на спирачното закъснение на А1 с включен ABS и с изключен ABS

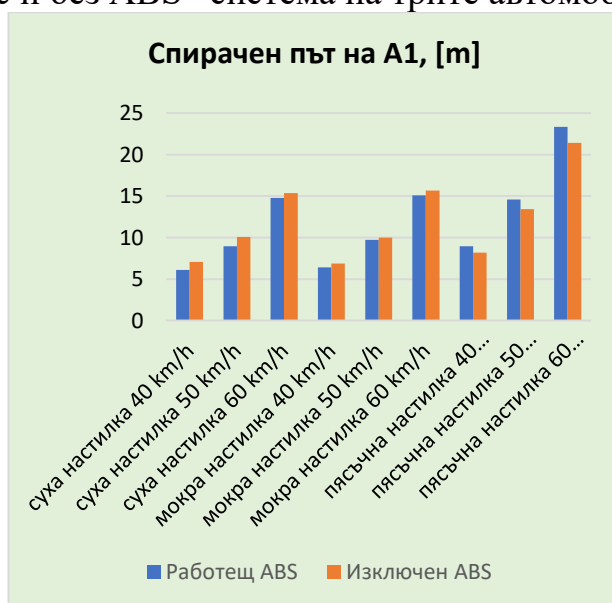


Фиг.3.3. Резултати на спирачното закъснение на А3 с включен ABS и с изключен ABS

3. Средните стойности на спирачното закъснение на автомобилите с включена ABS–система са по-високи от тези с изключена система при неблагоприятни пътни условия (мокра, пясък), което показва, че ABS –система предотвратява блокирането на колелата и осигурява по-добър контрол върху автомобила.

III.1.3. Изследване на състоянието на настилката и скоростта на автомобила върху спирачния път.

На фиг. 3.7, 3.8 и 3.9 са показани графичните диаграми на времето за спиране с и без ABS –система на трите автомобила.



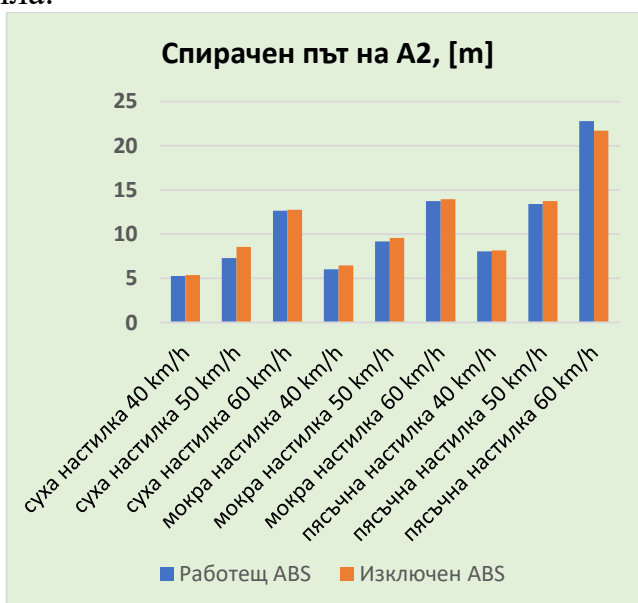
Фиг.3.7. Резултати на спирачен път на А1 с включен ABS и с изключен ABS

Фиг.3.2. Резултати на спирачното закъснение на А2 с включен ABS и с изключен ABS

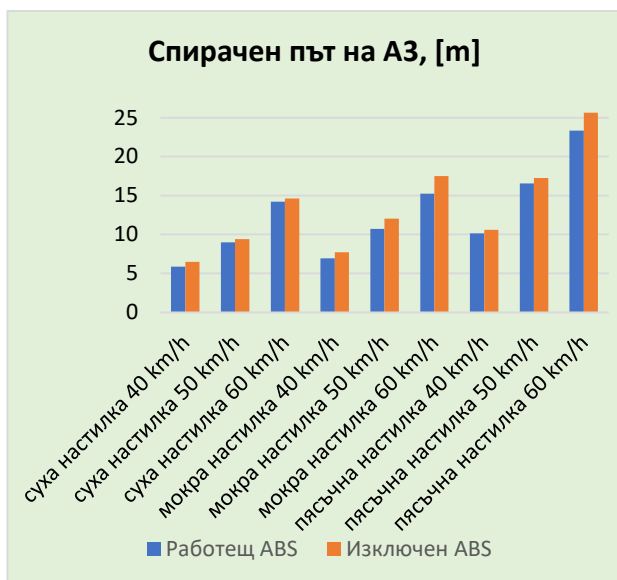
Изводи:

1. При автомобили с включена ABS–система най-високи стойности на спирачното закъснение има при суха настилка. С промяна на състоянието на пътната настилка (мокра и пясък) спирачното закъснение значително намалява.

2. При автомобили с изключена ABS –система спирачното закъснение е най-ниско при пясъчна настилка. Това се дължи на блокиране на колелата и загуба на сцепление поради намаленото триене, което води до по-голяма нестабилност на автомобила и увеличен риск на загуба на контрол.



Фиг.3.8. Резултати на спирачен път на А2 с включен ABS и с изключен ABS



Фиг.3.9. Резултати на спиращен път на A3 с включен ABS и с изключен ABS

Изводи:

1. Спиращият път при суха настилка е най-кратък, тъй като коефициента на триене е най-голям. При мокра и пясъчна настилка спиращият път се увеличава вследствие на намаленото сцепление между гумите и настилката.

2. С увеличаване на скоростта на автомобила спиращия път нараства при всички условия на настилката, което се дължи на по-големите инерционни сили и кинетична енергия на автомобила.

III.1.4. Обобщени данни от изследването на спиращото закъснение и спиращия път на трите леки автомобила.

В таблица 3.1 и таблица 3.2 са показани резултатите от измерванията на спиращото закъснение на трите автомобила при различни условия на настилката, скорости на движение и състояние на ABS системата. В таблицата е дадена и височината на протектора на гумата на трите автомобила.

Таблица 3.1. Резултати от измерено спиращо закъснение на трите автомобила с нормално работеща система ABS

Състояние на настилката	Начална скорост, km/h	Измерено спиращо закъснение, m/s ²		
		A1 (BMW 318i) височина на протектор: 6 mm	A2 (Seat Leon) височина на протектор: 6 mm	A3 (Opel Astra) височина на протектор: 6 mm
сухо	40	8,92	9,07	9,53
сухо	50	9,29	10,3	10,15
сухо	60	9,28	11,09	9,4
мокро	40	8,32	9,79	9,45
мокро	50	8,86	9,87	8,94
мокро	60	8,87	9,8	9,21
пясък	40	6,36	6,87	6,35
пясък	50	6,36	6,56	6,17
пясък	60	6,00	6,32	6,14

Влияние на ABS системата върху спиращото закъснение

При нормално работеща ABS система при всички автомобили ABS осигурява по-стабилно и предсказуемо спиращо закъснение, особено на суха и мокра настилка.

На суха настилка при 60 km/h, A2 демонстрира най-високо закъснение (11.09 m/s²). Най-ниската стойност (9.28 m/s²) е измерена за лек автомобил A1.

На мокра настилка при 50 km/h, A2 отново демонстрира най-високо спирачно закъснение (9.87 m/s²), докато най-ниската стойност (8.32 m/s²) е измерена при 40 km/h за лек автомобил A1.

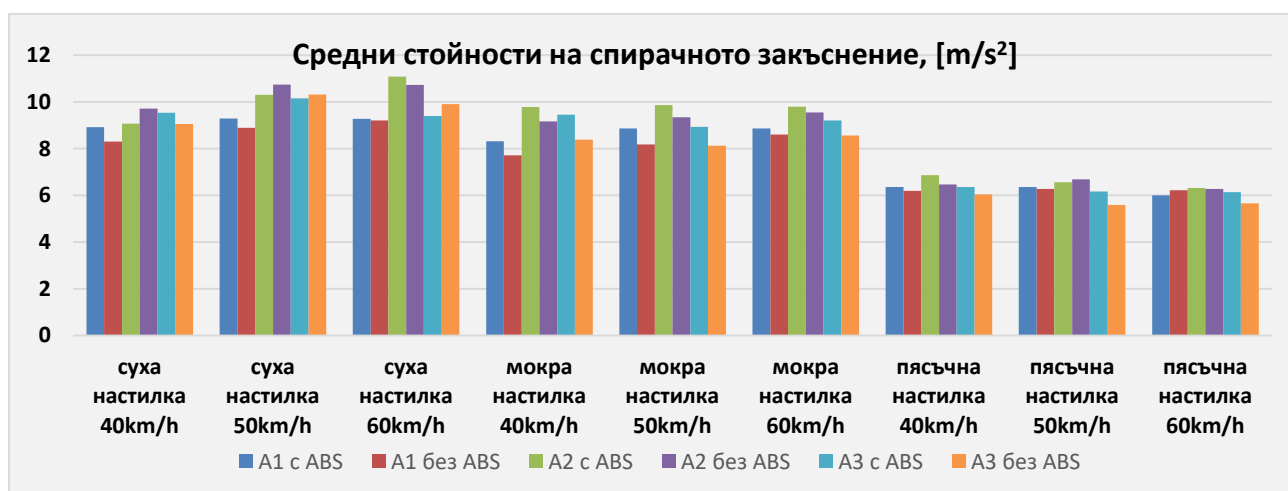
На пясъчно поръсена настилка при 40 km/h, A2 отново демонстрира най-високо закъснение (6.87 m/s²), най-ниска (6.00 m/s²) – отново A1.

Таблица 3.2. Резултати от измерено спирачно закъснение на трите автомобиля с принудително изключена система ABS

Състояние на настилка	Начална скорост, km/h	Измерено спирачно закъснение, m/s ²		
		A1	A2	A3
сухо	40	8,3	9,71	9,05
сухо	50	8,89	10,74	10,32
сухо	60	9,21	10,73	9,9
мокро	40	7,72	9,16	8,39
мокро	50	8,18	9,35	8,13
мокро	60	8,6	9,55	8,57
пясък	40	6,19	6,46	6,04
пясък	50	6,27	6,69	5,59
пясък	60	6,22	6,27	5,66

При изключена ABS система спирачното закъснение е по-високо, особено на суха настилка, но е по-нестабилно на мокра и пясъчна настилка. Това се дължи на блокиране на колелата и загуба на сцепление, което увеличава риска от загуба на контрол.

Графиката за сравнение на спирачното закъснение е представена на фигура 3.10.



Фиг.3.10. Резултати на спирачното закъснение на трите автомобиля с включен ABS и с изключен ABS

Данните показват, че при суха настилка спирачното закъснение е по-високо при изключен ABS (примерно: A1 и A2 при 40 km/h, трите автомобиля при 50 km/h и A1 и A3 при 60 km/h), което е в резултат на

блокирането на колелата при конвенционално спиране създава по-висок пиков коефициент на триене в началото на спирането. При мокра настилка, работещият ABS демонстрира предимство почти при всички условия. При пясъчна настилка разликите са минимални, което показва границите на ефективност на системата при екстремно спиране при намалено сцепление.

В таблица 3.5 и таблица 3.6 са показани резултатите от измерения спирачен път на трите тестови автомобила при различни условия на настилка, скорости на движение и състояние на ABS системата. В таблицата е добавена и колонка със средните стойности на измереното спирачно закъснение на трите автомобила.

Таблица 3.5. Резултати от измерен спирачен път на трите автомобила с нормално работеща система ABS

Състояние на настилка	Скорост, km/h	Измерено спирачен път, m		
		A1	A2	A3
сухо	40	6,09	5,27	5,86
сухо	50	8,95	7,29	8,97
сухо	60	14,78	12,66	14,2
мокро	40	6,42	6,04	6,95
мокро	50	9,73	9,18	10,7
мокро	60	15,07	13,73	15,25
пясък	40	8,95	8,05	10,15
пясък	50	14,57	13,42	16,57
пясък	60	23,32	22,78	23,33

Таблица 3.6. Резултати от измерен спирачен път на трите автомобила с принудително изключена система ABS

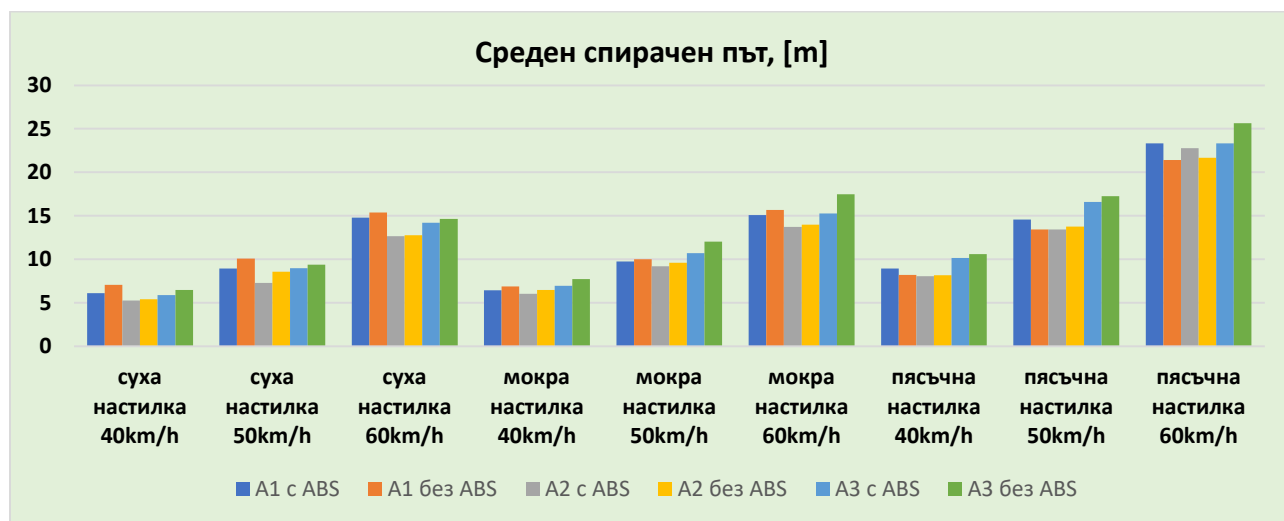
Състояние на настилка	Скорост, km/h	Измерено спирачен път, m		
		A1	A2	A3
сухо	40	7,05	5,39	6,47
сухо	50	10,08	8,57	9,39
сухо	60	15,36	12,77	14,64
мокро	40	6,88	6,45	7,7
мокро	50	9,99	9,58	12,03
мокро	60	15,68	13,96	17,49
пясък	40	8,2	8,16	10,6
пясък	50	13,44	13,75	17,26
пясък	60	21,41	21,68	25,65

Влияние на ABS системата върху спирачния път

При нормално работеща ABS система значително се намалява спирачния път, особено на суха и мокра настилка. Това е особено важно при високи скорости, където ABS предотвратява блокирането на колелата и осигурява по-добър контрол върху автомобила.

При изключена ABS система спирачният път е значително по-дълъг, особено на мокра и пясъчна настилка, където липсата на ABS води до блокиране на колелата и загуба на сцепление.

Графиката за сравнение на спирачния път е представена на фигура 3.12, където стойностите показват разликите в спирачния път при работеща и изключена ABS система. Най-значимият параметър от практическа гледна точка показва, че ABS намалява спирачния път на суха и мокра настилка при високи скорости (примерно: 15,25 m срещу 17,49 m при мокра настилка и 60 km/h). Интересно е, че при пясъчна настилка тенденцията се обръща и ABS увеличава спирачния път (22,78 m срещу 21,68 m при 60 km/h) - феномен, дължащ се на блокирането и "заораването" на колелата в насипната повърхност.



Фиг.3.12. Резултати на спирачен път на трите автомобиля с включен ABS и с изключен ABS

От тези обобщени данни от експерименталните изследвания могат да се направят следните изводи:

1. Върху спирачните характеристики на един автомобил основно влияние оказва височината на протектора на гумите при всички видове пътна настилка. С намаляване на височината на протектора се намалява спирачното закъснение, увеличава се времето за спиране и спирачния път;

2. Пътната настилка оказва значително влияние върху спирачната ефективност на автомобилите. При мокра настилка спирачното закъснение намалява, което води до увеличение на времето за спиране и спирачния път в сравнение със същите показатели на суха настилка.

3. Работещата антиблокираща система (ABS) подобрява спирачната производителност, осигурявайки по-добро сцепление и контрол при спиране, особено в неблагоприятни метеорологични условия.

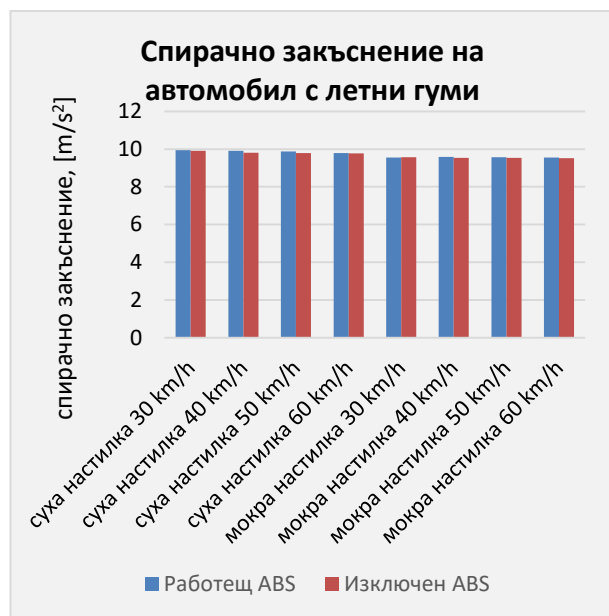
III.2. Изследване на спирачното закъснение и спирачния път при системата за активна безопасност ABS при лек автомобил, оборудван с летни и зимни гуми.

Настоящото изследване има за цел да анализира спирачното закъснение и спирачния път на лек автомобил, оборудван последователно с летни и зимни

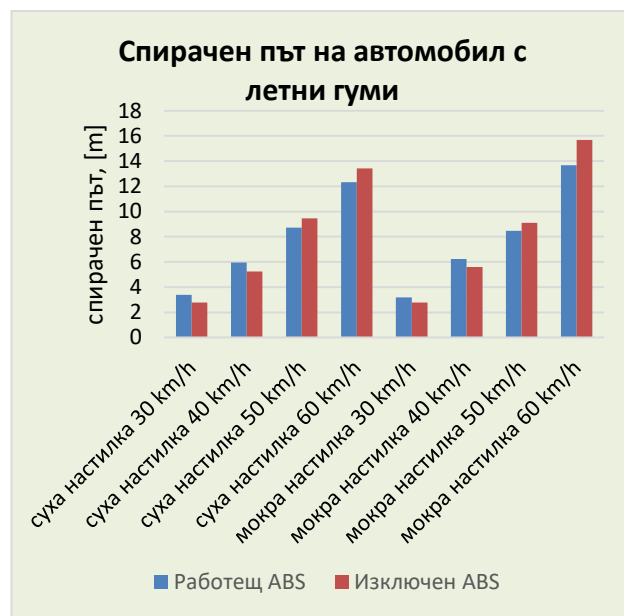
гуми при различни пътни условия (суха и мокра пътна настилка). Важно е да се установи как наличието на ABS при различните видове гуми влияят на ефективността на спиране при различни пътни условия.

III.2.1. Изследване на спирачното закъснение и спирачния път на лек автомобил, оборудван с летни гуми.

Графиката за сравнение на спирачното закъснение е представена на фигура 3.13, където ясно показва разликите между работеща и изключена ABS система.



Фиг.3.13. Резултати на спирачното закъснение на автомобил, оборудван с летни гуми с включен ABS и с изключен ABS

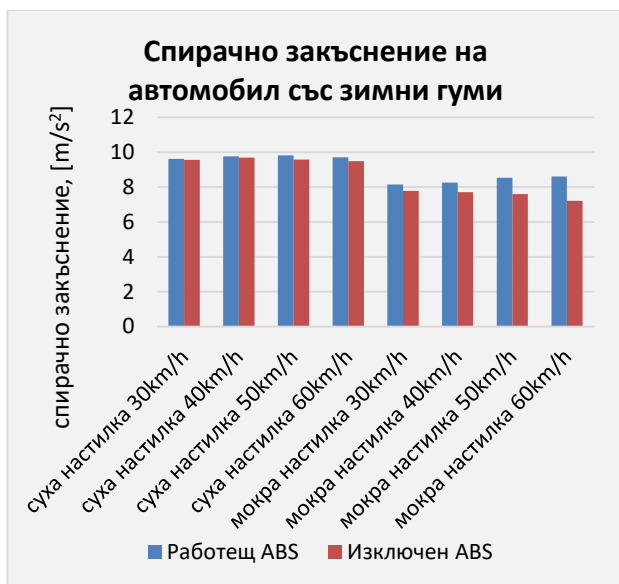


Фиг.3.15. Резултати на измерен спирачен път на лек автомобил, оборудван с летни гуми с включен ABS и с изключен ABS

На фигура 3.15 се демонстрират разликите в спирачния път при работеща и изключена система ABS. Графиката подчертава негативното влияние на липсата на системата ABS върху спирачния път на автомобила, особено при мокри условия. Увеличаването на скоростта води до значителни увеличения в спирачния път, което доказва необходимостта от активни системи за безопасност като ABS, за да се осигури по-бързо и безопасно спиране. Тези данни са от ключово значение за водачите, за да осъзнаят рисковете, свързани с управлението на автомобилите без активни средства за контрол в условия на променливо сцепление.

III.2.2. Изследване на спирачното закъснение и спирачния път на лек автомобил, оборудван със зимни гуми.

Графиката за сравнение на спирачното закъснение е представена на фигура 3.16, където ясно показва разликите между работеща и изключена ABS система.



Фиг.3.16. Резултати на спирачното закъснение на лек автомобил, оборудван със зимни гуми с включен ABS и с изключен ABS



Фиг.3.18. Резултати на измерен спирачен път на лек автомобил, оборудван със зимни гуми с включен ABS и с изключен ABS

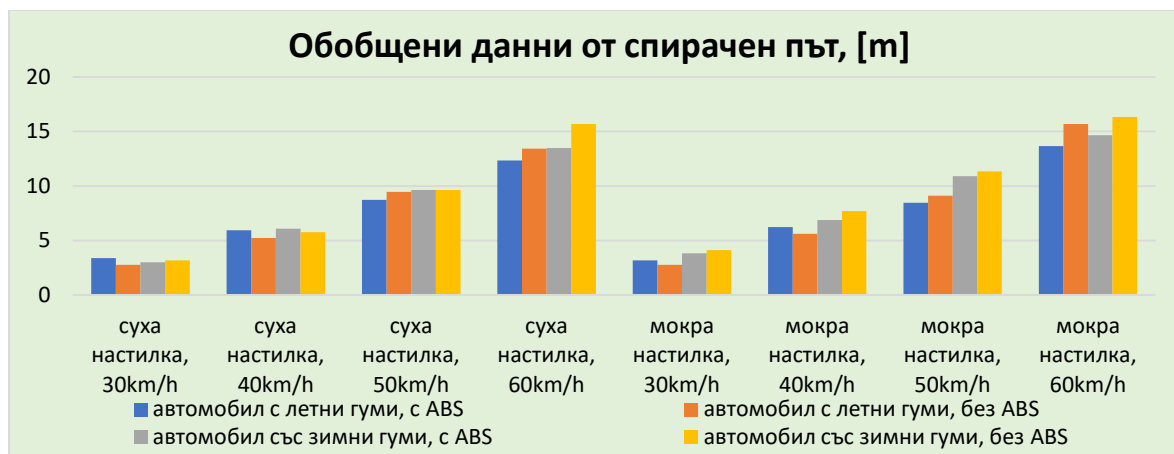
Фигура 3.18 показва резултатите от измерения спирачен път на лек автомобил, оборудван със зимни гуми, при условия с активна и неактивна система ABS. Графиката предоставя ясна визуализация на разликите в спирачната ефективност в зависимост от функционирането на ABS.

Графиката подчертава негативното влияние на липсата на системата ABS върху спирачния път на автомобила, особено при мокри условия. Увеличаването на скоростта води до значителни увеличения в спирачния път, което доказва необходимостта от активни системи за безопасност като ABS, за да се осигури по-кратък спирачен път.

III.2.3. Обобщение на изследването на спирачното закъснение и спирачния път на лек автомобил, оборудван с летни гуми и зимни гуми.

В проведеното изследване е анализирано влиянието на гуми, предназначени за различни сезони и антиблокиращата система (ABS) върху спирачното закъснение и спирачния път на лек автомобил, оборудван последователно с летни и зимни гуми. Резултатите подчертават съществената роля на гумите в зависимост от сезона, особено по отношение на сцеплението и безопасността при спиране.

Специално за летния период, изследването показва, че летните гуми предлагат добро спирачно представяне на суха настилка, но тяхната ефективност намалява при мокри условия. С активирана ABS, автомобилът демонстрира по-кратки спирачни пътища и повишена контролируемост, като функциониращата система ABS намалява риска от блокиране на колелата и загуба на сцепление.



Фиг.3.19. Резултати на измерения спирачен път на лек автомобил, оборудван с летни и със зимни гуми, с включен ABS и с изключен ABS

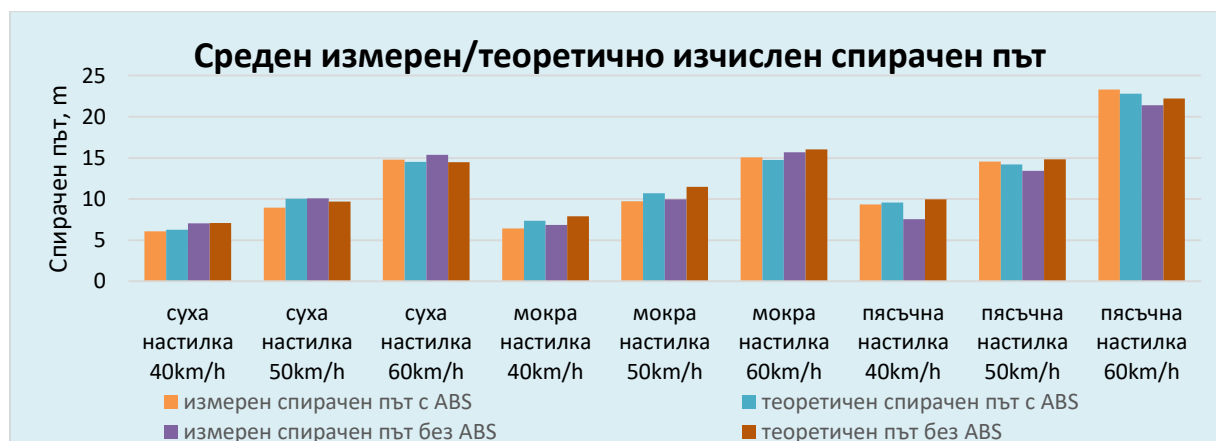
При тестовите със зимни гуми, резултатите за дължината на спирачния път са почти при всички опити по-дълъг спирачен път в сравнение с летните гуми, това е така, защото зимните гуми са проектирани да работят при по-ниски температури и на променливи настилки.

III.3. Математическо моделиране и теоретичен анализ на експерименталните резултати.

Целта на това математическо моделиране е идентифициране на статистически значими отклонения и задълбочен анализ на факторите, влияещи върху спирачната ефективност при различни условия.

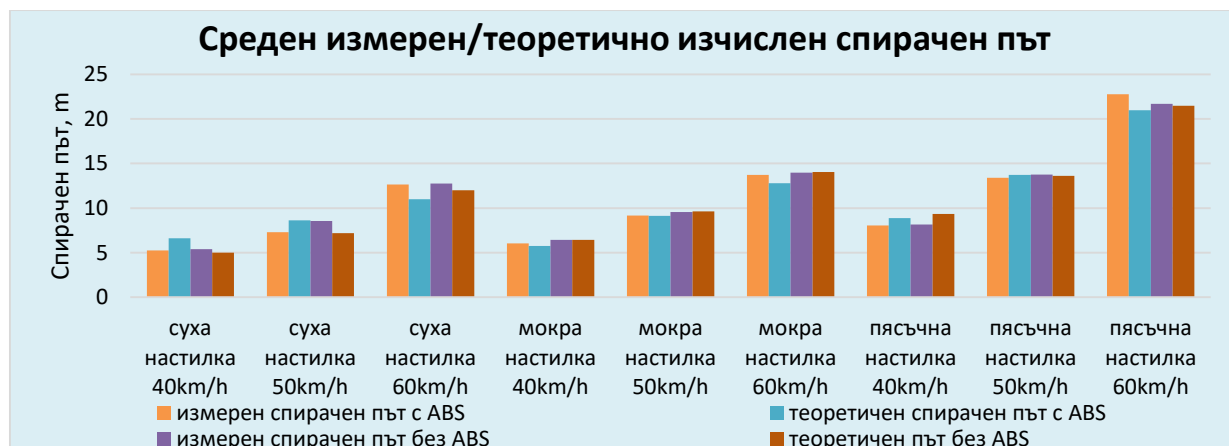
III.3.1. Математическо моделиране и теоретичен анализ на експерименталните резултати от три различни модела леки автомобили, подложени на изпитване при три диференцирани типа пътни условия.

Фигура 3.20 представя сравнение между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път за усреднените стойности от резултатите на автомобил A1 с работеща и неработеща антиблокираща спирачна система (ABS).



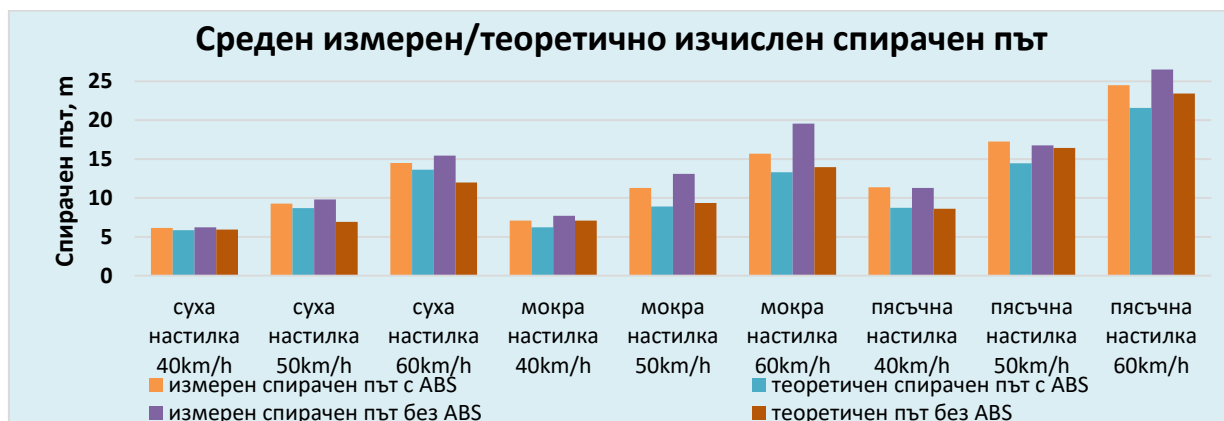
Фиг.3.20. Разликите между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път на A1 с включен ABS и с изключен ABS

Фигура 3.21 представя сравнение между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път за усреднените стойности от резултатите на автомобил А2 с работеща и неработеща система ABS.



Фиг.3.21. Разликите между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път на А2 с включен ABS и с изключен ABS

Фигура 3.22 представя сравнение между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път за усреднените стойности от резултатите на автомобил А3 с работеща и неработеща система ABS.



Фиг.3.22. Разликите между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път на А3 с включен ABS и с изключен ABS

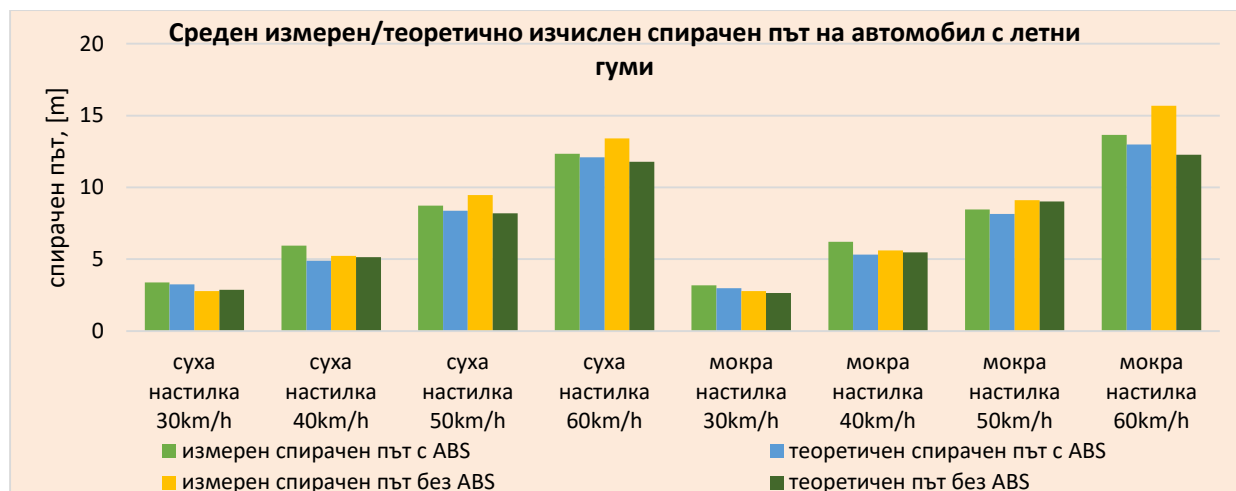
Математическият модел показва най-висока точност спрямо експериментите при активна ABS система и суха настилка, особено за автомобил А3, където отклоненията са минимални (1-3%).

При мокри и пясъчни настилки, както и при изключена ABS, несъответствията между теоретичните и измерените стойности нарастват значително за всички модели, като при А1 достигат над 17% при определени условия (пясък, без ABS).

Всеки от трите автомобила (А1, А2, А3) демонстрира специфични разлики и тенденции в отклоненията, което подчертава, че освен пътните условия, конструктивните особености и настройките на А1 също влияят съществено на съответствието между модела и реалните резултати.

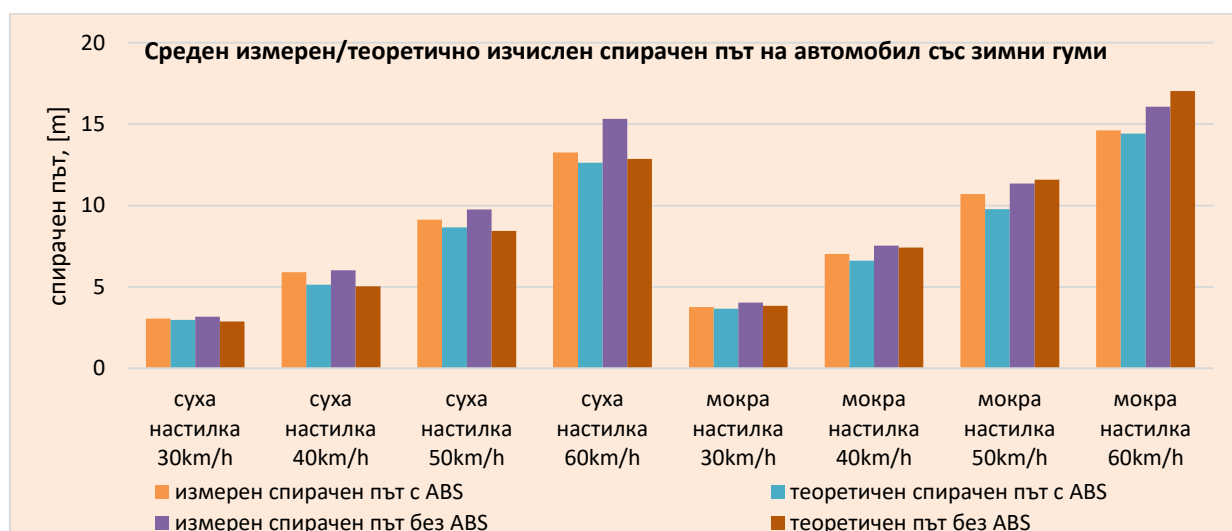
III.3.2. Математическо моделиране и теоретичен анализ на резултатите от лек автомобил, оборудван с летни гуми и зимни гуми

Фигура 3.23 представя сравнение между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път за резултатите на автомобила с летни гуми, с активна и деактивирана антиблокираща спирачна система (ABS).



Фиг.3.23. Разликите между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път на лек автомобил, оборудван с летни гуми, със и без ABS

Фигура 3.24 представя сравнение за резултатите на автомобила, оборудван със зимни гуми, с активна и деактивирана ABS.



Фиг.3.24. Разликите между измерения спирачен път и теоретично изчисления спирачен път на лек автомобил, оборудван със зимни гуми с принудително изключена система ABS

Когато ABS системата функционира, спирачният път е по-дълъг в сравнение с теоретично изчислените стойности при всички пътни настилки. Това е в резултат от допълнителните фактори, които математическия модел не отчита.

Математическият модел показва сравнително добра точност спрямо експерименталните данни както за летни, така и за зимни гуми, като повечето отклонения са относително малки.

Активираната ABS система осигурява по-предвидимо спирачно поведение и при двата типа гуми, докато при деактивирана система се наблюдават значителни флуктуации, особено при високи скорости и суха настилка.

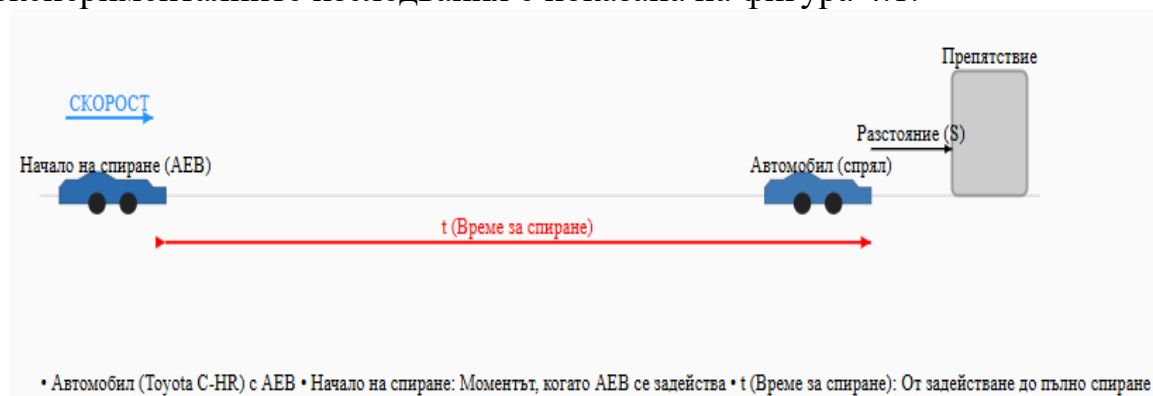
ГЛАВА IV. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА СИСТЕМАТА ЗА АКТИВНА БЕЗОПАСНОСТ АЕВ

В тази глава от дисертационния труд основната задача на експерименталните изследвания е да се оцени ефективността на системата за автоматично аварийно спиране (АЕВ) да открива потенциални опасности на пътя и да предприема адекватни мерки за предотвратяване на сблъсък. Основните спирачни характеристики са: времето за спиране, спирачното закъснение и разстоянието на спрелия вече автомобил до насрещно препятствие при различни начални скорости на движение.

IV.1. Методика и инструментариум на експеримента за изследването на ефективността на системата за автоматично аварийно спиране (АЕВ)

Методиката на експерименталните изследвания е разработена с цел да се оценят ефективността и надеждността на системата за автоматично аварийно спиране (АЕВ) в реални условия. Това включва детайлно планиране на експериментите, избор на подходящо оборудване и анализ на резултатите.

Методиката включва измерване на вероятността за задействане на системата, забавянето при спиране, времето за спиране и разстоянието на спрелия вече автомобил до препятствието при вариране на скоростта на автомобила. Схемата на експерименталните изследвания е показана на фигура 4.1.



Фиг. 4.1. Схема на експеримента.

IV.1.1. Експериментална постановка

Експерименталните изследвания са проведени с автомобил, който е оборудван с безконтактна система за измерване на скорост и закъснение EnergoSM 4.0, която осигурява точни данни за динамичните характеристики на автомобила.

Експерименталните изследвания са проведени на суха, равна и хоризонтална пътна настилка с висок коефициент на сцепление. В рамките на експериментите бе симулирано движение на автомобила спрямо препятствие, което имитира спрял автомобил. Системата за аварийно спиране (АЕВ) установява потенциалната опасност (препятствието) и подава звуков сигнал за предупреждение към водача. При липсата на адекватна реакция от страна на водача, АЕВ задейства автономно спирачките на автомобила, като разпределя спирачната сила с цел ефективно предотвратяване на очаквания сблъсък с препятствието.

За провеждане на експеримента е избран лек автомобил Toyota C-HR, произведен през 2022 г., който е оборудван стандартно от производителя с Toyota Safety Sense™ 2.5 (TSS 2.5), с комплект от технологии за подпомагане на водача, като например – автоматично аварийно спиране напред, адаптивен круиз контрол, наблюдение на мъртвата зона, предупреждение за напускане на лентата, предупреждение за челен сблъсък и камера за обратно виждане.

В експерименталната постановка е използвано изкуствено препятствие (фиг.2.2), проектирано да симулира спрял автомобил.



Фиг.4.2. Изкуствено препятствие

Изкуственото препятствие е изработено от стиропор с дебелина 10 mm. и има размери: ширина 2 метра и височина 1.5 метра. То е оформено в мащаб 1:1, така че да наподобява задната част на автомобил, което е от съществено значение за реалистичността на тестовете. За допълнителна автентичност, върху него са изобразени светещи стопове, които имитират активирани задни светлини на автомобил.

IV.1.3. Провеждане на експериментите

Експерименталната част на изследването включва провеждането на общо 27 опита, по 9 опита за всеки етап, извършени при различни скорости на движение на автомобила. Всеки експеримент е проведен в контролирани условия, за да се осигури точност и повторяемост на резултатите.

Основни измервани параметри са скорост; спиращо закъснение (измерено спиращо закъснение на автомобила след задействане на АЕВ); време за спиране (времето, необходимо за пълното спиране на автомобила след активиране на АЕВ системата) и разстояние до препятствието (разстоянието на вече спрелия автомобил до препятствие).

IV.2. Експериментални изследвания

Резултатите от проведените експерименти, които включват две насоки:

1. Вероятност за задействие на АЕВ.

Изследването в тази част е насочено към оценка на ефективността на системата за автоматично аварийно спиране (АЕВ) при различни условия.

2. Измерване на ключови динамични параметри, като спиращо закъснение, време за спиране и разстояние до препятствието.

IV.2.1. Експериментални изследвания на вероятността за задействане на АЕВ-системата

Проведени са общо 27 опита, при които автомобила се задвижва срещу изкуственото препятствие без намесата на водача за спирането му. Всеки опит е

с различна начална скорост на движение, съгласно предвидените етапи: Автомобила се движи с ниска скорост (11-20 km/h), след което се движи с умерена скорост (21-35 km/h), и накрая се движи с висока скорост (36-46 km/h). Резултатите от експерименталните изследвания по отношение на ефективността на системата да се задейства автоматично без намесата на водача са представени в Таблица 4.1.

От общо проведени 27 броя опита, системата се задейства автоматично без намеса на водача 21 пъти, т.е. около 78% обща успеваемост.

Таблица 4.1. - Резултати за успеваемост от всички експерименти с автоматично задействане на АЕВ

№	Скорост, (km/h)	резултат	№	Скорост, (km/h)	Резултат
1	12	Успешен	15	28	Успешен
2	15	Успешен	16	27	Неуспешен
3	11	Успешен	17	34	Успешен
4	10	Успешен	18	23	Успешен
5	13	Успешен	19	39	Успешен
6	18	Успешен	20	42	Успешен
7	20	Успешен	21	40	Неуспешен
8	12	Успешен	22	46	Успешен
9	14	Успешен	23	36	Успешен
10	24	Успешен	24	39	Неуспешен
11	25	Неуспешен	25	45	Успешен
12	28	Успешен	26	41	Неуспешен
13	25	Успешен	27	38	Успешен
14	29	Неуспешен			

Проведените тестове дават основание да се твърди, че системата за активна безопасност АЕВ притежава висока надеждност при критични ситуации, което създава потенциал за значително намаляване риска от пътно-транспортни произшествия.

Детайлен анализ по скоростни диапазони е извършен в Таблица 4.2.

Таблица 4.2. - Вероятност за задействане на АЕВ системата при различни скорости на движение

Скоростен диапазон	Брой експерименти	Успешни задействания	Вероятност за задействане
11-20 км/ч	9	9	100%
21-35 км/ч	9	6	66.67%
36-46 км/ч	9	6	66.67%
Общо	27	21	77,78%

Изводи:

- Системата показва изключителна ефективност при скорости до 20 км/ч, което я прави идеална за използване в градски условия, където скоростите обикновено са ниски.
- При по-високи скорости системата запазва своята функционалност, но с лека намаляваща тенденция. Това подчертава необходимостта

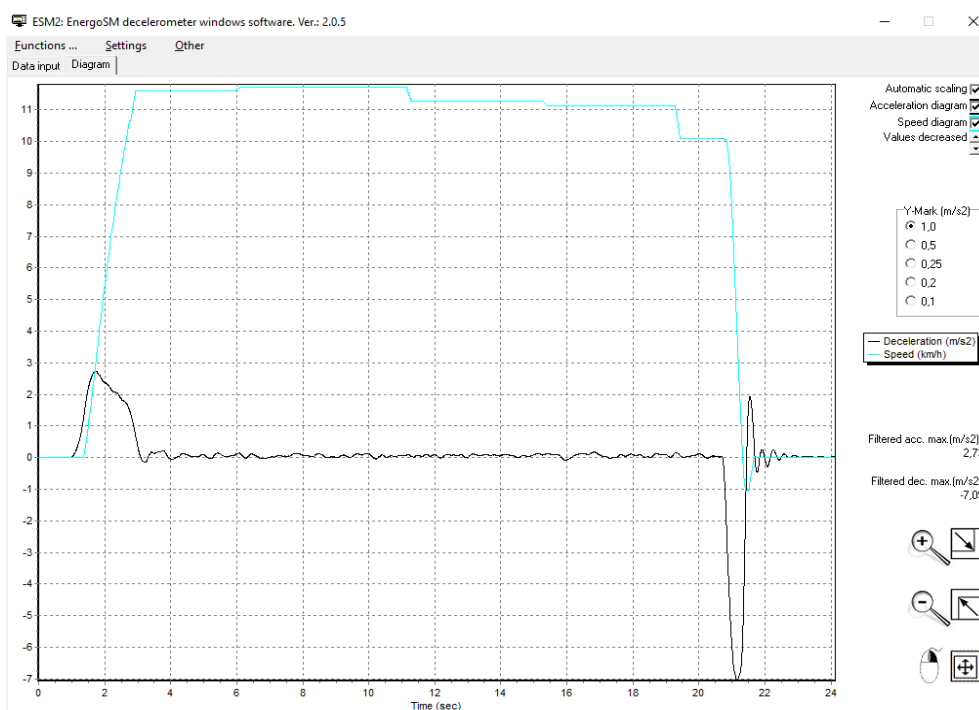
от допълнителни оптимизации на алгоритмите и сензорите, за да се подобри реакцията при по-динамични ситуации.

- Общият процент на успешни задействания (77,78%) е статистически значим и показва, че АЕВ системата е надежден инструмент за подобряване на пътната безопасност.

IV.2.2. Експериментални изследвания на спирачните характеристики

Спирачните характеристики, с които се оценява ефективността на системата АЕВ са: спирачно закъснение, време за спиране и разстоянието до изкуственото препятствие. Изследванията на тези параметри са извършени при различни скорости, което позволява анализ на динамичните характеристики на системата в реалистични условия. Резултатите предоставят информация за способността на АЕВ системата да реагира адекватно в критични ситуации, осигурявайки данни за забавянето на автомобила и разстоянието необходимо за безопасно спиране.

Диаграмите, генерирани от децелометъра Energo-SM 4.0, и обработени със софтуер „ESM2: EnergoSM decelerometer windows software“ Ver.2.0.5, показват реални показатели за скорост (в km/h), ускорение (в m/s^2) и време за спиране (в s).



Фиг.4.3. Диаграма с криви на спирачно закъснение и скорост в пълен диапазон, измерено при скорост 10 km/h

Получените резултати са обобщени в таблица 4.3, която съдържа стойностите за спирачното закъснение, времето за спиране и разстоянието до препятствието, ключови аспекти за оценка на надеждността и безопасността на системата.

Таблица 4.3. Резултати от експериментите, установени с EnergoSM 4.0

№	Скорост при спиране (km/h)	Спирачно закъснение (m/s^2)	Време за спиране (s)	Разстояние до препятствието (m)
1.	10	7.09	0.7	0.95
2.	11	7.77	0.8	1.11
3.	12	7.60	0.7	1.02
4.	12	7.64	0.8	1.08
5.	13	7.85	0.8	1.07
6.	14	7.44	0.8	0.98
7.	15	10.24	0.7	1.09
8.	18	8.35	1.1	0.98
9.	20	10.48	1.1	0.91
10.	23	6.40	1.6	1.08
11.	24	10.34	1.0	0.90
12.	25	5.86	1.7	1.09
13.	28	5.49	2.0	1.10
14.	28	6.05	1.9	1.02
15.	34	5.90	2.1	0.96
16.	36	6.48	2.4	0.93
17.	38	8.41	2.1	0.97
18.	39	6.32	2.8	1.04
19.	42	7.89	2.2	1.02
20.	45	9.22	1.9	1.07
21.	46	6.66	1.3	0.99

IV.2.3. Анализ на ефективността

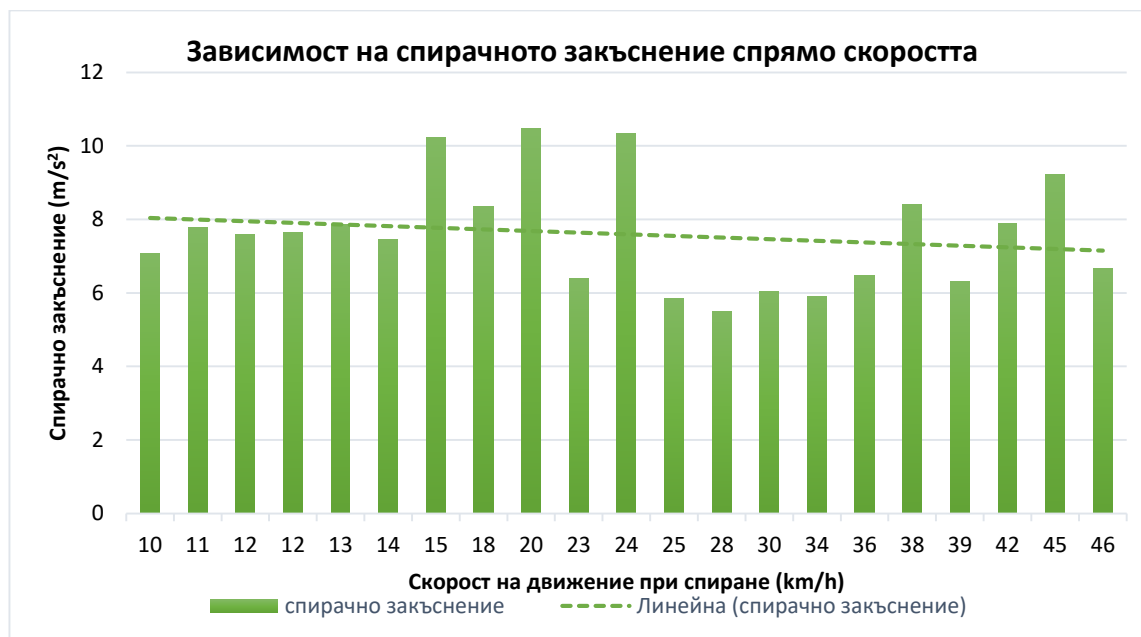
Получените резултати (табл. 4.3) предоставят детайлен анализ на спирачните характеристики на АЕВ системата при различни скорости. Спирачното закъснение варира в зависимост от скоростта, като е по-високо при ниски скорости. Времето за спиране също се изменя; при по-високи скорости е необходимо повече време за спиране. Разстоянието до препятствието остава сравнително константно, което показва, че системата поддържа безопасно разстояние независимо от скоростта.

На фигура 4.23 е изобразена графика, която показва зависимостта на измереното спирачно закъснение спрямо началната скорост на движение, при която се задейства автоматичната система АЕВ.

Графиката показва, че спирачното закъснение на системата АЕВ варира в зависимост от скоростта на движение на автомобила. Може да се отбележат следните зависимости:

- Наблюдава се нелинейна зависимост. При по-ниски скорости (10-20 km/h) спирачното закъснение е относително високо (около 7-10 m/s^2). Това показва, че системата АЕВ е много ефективна при градски условия.
- С увеличаване на скоростта, спирачното закъснение има тенденция да намалява, особено в диапазона 20-39 km/h, което е очаквано, тъй като при по-висока скорост е необходимо по-голямо разстояние и време за спиране.

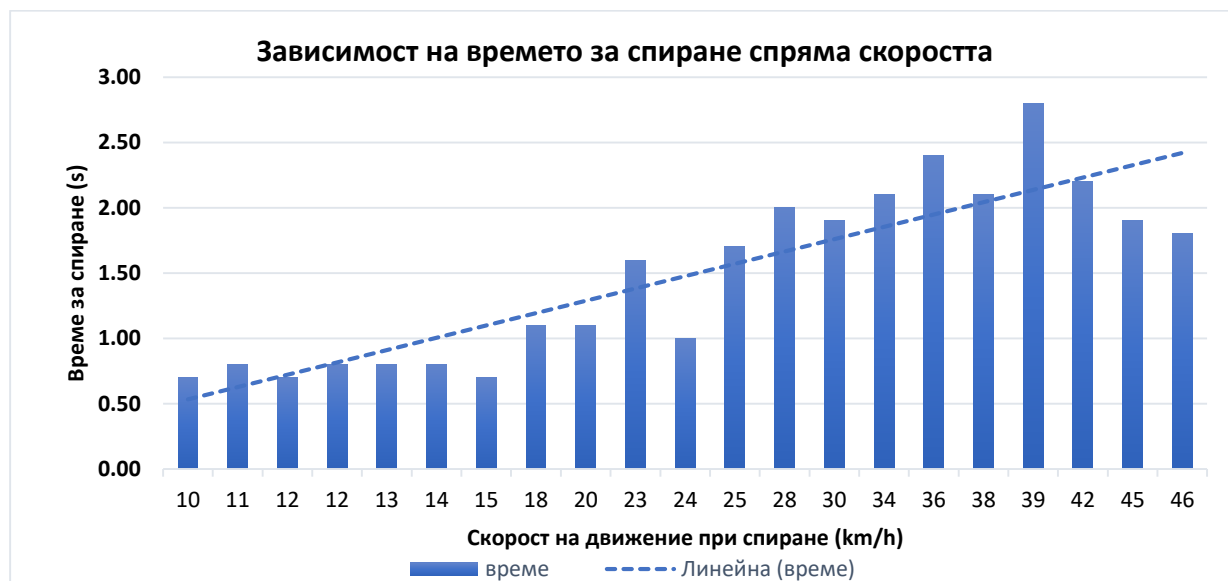
- Има пикове в спирачното закъснение при определени скорости (например, около 15, 20 и 24 km/h), което може да се дължи на специфични настройки на алгоритъма на АЕВ системата или на особености в работата на сензорите при тези скорости.



Фиг.4.23. Графики, илюстрираща зависимостта на спирачното закъснение спрямо скоростта на движение при спиране

При най-високите скорости (над 40 km/h) се наблюдава отново повишаване на спирачното закъснение, което показва, че системата се опитва да компенсира по-високата скорост чрез по-интензивно спиране.

На фигура 4.24 е изобразена графика, която показва зависимостта на измереното време за спиране на автомобила спрямо началната скорост на движение, при която се задейства автоматичната система АЕВ.



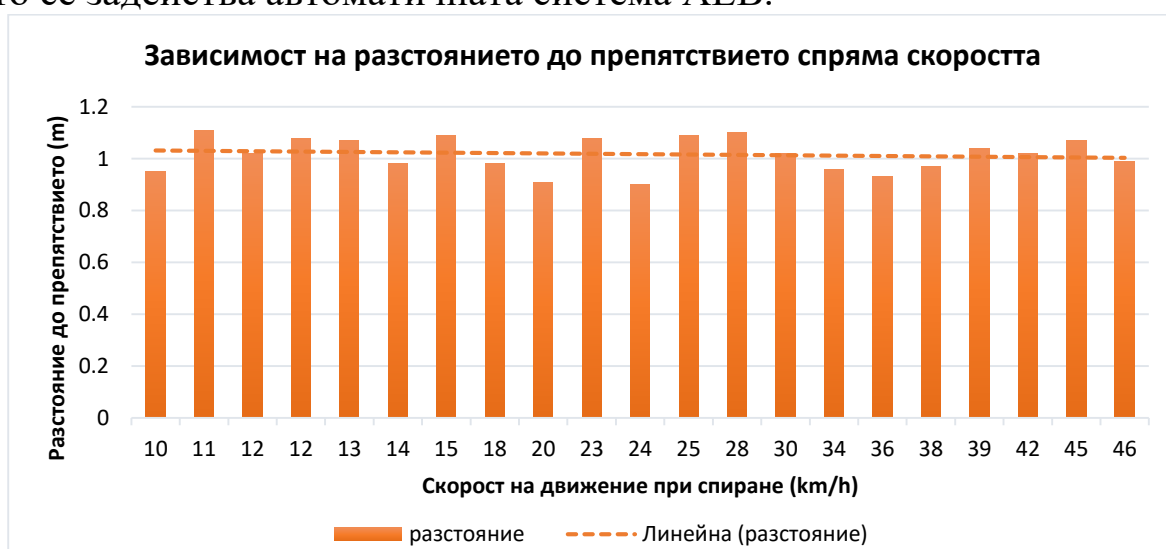
Фиг.4.24. Графики, илюстрираща зависимостта на времето за спиране спрямо скоростта на движение при спиране

Графиката илюстрира, че времето за спиране на автомобила нараства с увеличаване на скоростта.

Изводи:

- При по-ниски скорости, времето за спиране е относително кратко (0.7-1.1 секунди),
- При по-високи скорости (над 30 km/h) времето за спиране достига до 2.8 секунди. Тази зависимост подчертава, че при по-високи скорости, системата АЕВ изисква повече време за пълно спиране,
- Времето за спиране нараства с увеличаване на скоростта.

На фигура 4.25 е изобразена графика, която показва зависимостта на измереното разстояние при вече спрял тестови автомобил до изкуственото препятствие спрямо началната скорост на движение, при която се задейства автоматичната система АЕВ.



Фиг.4.25. Графики, илюстрираща зависимостта на разстоянието от спрелия автомобил до препятствието спрямо скоростта на движение при спиране

Графиката показва, че разстоянието до препятствието остава сравнително константно, независимо от скоростта.

Изводи:

- Разстоянието до препятствието остава сравнително стабилно в диапазона 0.9-1.1 метра, независимо от скоростта. Това показва, че системата е проектирана да поддържа безопасно разстояние до препятствието, независимо от динамичните условия.
- При ниски скорости (10-20 km/h) разстоянието е около 0.95-1.1 метра, което е оптимално за предотвратяване на сблъсък.
- При високи скорости (36-46 km/h) разстоянието остава в същия диапазон, което показва, че системата е надеждна и последователна в поддържането на безопасно разстояние.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата дисертация е свързана с изследването на системите за активна безопасност в автомобилите, с акцент върху тяхната роля в намаляването на риска от пътнотранспортни произшествия.

В първа глава е представен обширен литературен обзор на съвременните системи за активна безопасност, където се разглежда техническият напредък на тези системи. Подчертано е значението на активната безопасност в контекста на намаляване на инцидентите на пътя.

Извършен е анализ на резултатите от разнообразни експериментални изследвания, проведени в различни държави, включително и в България, фокусирайки се върху динамиката на спиране и поведението на автомобила в екстремни условия.

Обобщавайки литературния обзор, можем да заключим, че автомобилната индустрия непрекъснато търси нови подходи за усъвършенстване на активната безопасност. Въпреки наличието на множество системи и технологии, целящи намаляване на риска от инциденти, резултатите подчертават особено важната роля на антиблокиращата спирачна система (ABS) и автоматичното аварийно спиране (АЕВ).

Проучванията показват, че ABS стабилизира превозното средство и скъсява спирачния път, особено на хлъзгави настилки и в моменти на аварийни маневри. АЕВ автоматизира критичната намеса при опасност от сблъсък, осигурявайки бърза реакция в ситуации, в които водачът не може да реагира адекватно. Тези две системи демонстрират значителен принос за повишаване на безопасността при разнообразни пътни условия, като едновременно с това намаляват вероятността от произшествия и последствията от тях.

В глава втора се акцентира на методиката и инструментариума, използвани за експерименталните изследвания. Разработена е методика за проучване на въздействието на активната безопасност, представяна от антиблокиращата спирачна система (ABS), прилагана в различни условия на шофиране. Методиката включва провеждане на експерименти с ABS в два режима: нормално функциониране и принудително деактивиране. Този подход цели обективно да установи влиянието на ABS върху динамичните спирачни характеристики на автомобила.

Експерименталните изследвания за възможностите на ABS се проведеха в две направления: Първо - за определяне на спирачното закъснение при системата за активна безопасност ABS, при три различни модела леки автомобили, при три диференцирани типа пътни условия. Второ - за сравнителна оценка на спирачното закъснение при системата за активна безопасност ABS при лек автомобил, оборудван с летни и зимни гуми

Измерванията са извършени с безконтактната система Energo-SM 4.0, която осигурява висока прецизност и надеждност на данните. Изследванията са фокусирани върху спирачното закъснение на автомобилите при аварийно спиране на различни пътни настилки, като се анализира влиянието на ABS върху спирачната ефективност.

В изследването по първото направление са проучени три основни фактора: състоянието на настилка (суха, мокра и пясъчна), скоростта на автомобила (40, 50 и 60 km/h) и различни модели автомобили. По второто направление са проучени: състоянието на настилка (суха и мокра), скоростта на автомобила (30, 40, 50 и 60 km/h) и автомобил, оборудван с летни и зимни гуми.

Представена е методика за теоретично изчисляване на спирачния път, която описва зависимостта между началната скорост, времето за спиране и спирачното закъснение. Тази методика позволява теоретично моделиране на спирачния процес и сравнение с експериментални данни, получени от проведените тестове. Задачата е да се изчислят теоретичните стойности на спирачния път при различни условия, което ще помогне за оценка на точността и надеждността на модела, както и за идентифициране на потенциални отклонения, свързани с реалните условия на пътя и характеристиките на автомобила.

Така формулирана, методиката дава основа за дълбочинно проучване на фактора ABS и неговото приложение в контекста на активната безопасност.

Трета глава показва резултатите от експерименталните изследвания, насочени към анализа на влиянието на пътната настилка, скоростта на движение и различните автомобили върху спирачното закъснение и спирачния път.

Резултатите показват, че видът на пътната настилка оказва съществено влияние върху спирачните характеристики на автомобила. При суха настилка се наблюдава най-висока стойност на спирачното закъснение, най-кратко време за спиране и най-малък спирачен път. В същото време, при мокра и пясъчна настилка, коефициентът на триене и силата на триене намаляват, което води до намаляване на спирачното закъснение, увеличаване на времето за спиране и удължаване на спирачния път.

Установено е, че при увеличаване на скоростта на движение на автомобила коефициентът на триене намалява за всички типове настилки. В резултат на това спирачното закъснение намалява, времето за спиране нараства, а спирачният път се увеличава.

Внедряването на ABS-система подобрява спирачните характеристики на автомобила при почти всички видове настилки и скорости. Когато ABS-системата е изключена, спирачните характеристики на автомобила значително се влошават, особено на мокра и пясъчна настилка, тъй като блокирането на колелата води до загуба на сцепление между гумите и настилка.

Изследванията показват, че освен посочените фактори, височината на протектора на гумите оказва значително влияние върху спирачните характеристики на автомобила при всички видове пътна настилка. При намаляване на височината на протектора, спирачното закъснение се увеличава, времето за спиране нараства, а разстоянието за спиране също се удължава.

Проведеното математическо моделиране установява, че разликата между теоретично изчислените и получените експериментални резултати е в малки граници. Сравнителният анализ показва, че предложената методика е ефективна и може успешно да предскаже спирачното поведение на автомобила в различни условия.

В заключение на проведените експерименти е установено, че комбинацията от оптимални условия на настилка, подходяща скорост на движение и наличие на ABS-система оказват значително влияние върху спирачните характеристики, което потвърждава необходимостта от интегриране на активни системи за безопасност в автомобилната индустрия.

Глава четвърта се фокусира върху експерименти, проведени за изследване на ефективността на системата за автоматично аварийно спиране (АЕВ). Експерименталните изследвания са насочени към оценка на вероятността за задействане на системата, както и анализ на динамичните параметри, включително спирачно закъснение и време за спиране, с оглед на разглеждане на различията в работата на системата при реални условия.

Проведените експерименти установяват, че изследваната система за автоматично аварийно спиране (АЕВ) демонстрира добра ефективност при предотвратяване на сблъсъци в тествания скоростен диапазон от 10 до 46 km/h. Системата АЕВ проявява висока ефективност при ниски и средни скорости, осигурявайки бързо спиране и поддържайки безопасно разстояние до препятствието.

При високи скорости ефективността на системата леко намалява, което подчертава необходимостта от допълнителни оптимизации за подобряване на реакцията при динамични условия. Въпреки това, системата демонстрира надеждност и последователност, което я прави ключов елемент за повишаване на пътната безопасност.

Резултатите от експериментите потвърдиха, че АЕВ е способен да намали значително риска от инциденти, особено в ситуации, когато водачът не може да реагира на време. Изводите подчертават важността на интегрирането на АЕВ в автомобилите като средство за допълнително повишаване на безопасността на пътя и намаляване на пътнотранспортните произшествия, в контекста на съвременните изисквания за активна безопасност.

Предложената методика за оценка на ефективността на системите за активна безопасност, основана на емпирични данни и теоретичен анализ, е ценен ресурс за обучение на водачи, автомобилни инженери и специалисти в транспортния сектор. Интегрирането на резултатите в учебни програми и практически тренинги ще повиши компетентността на участниците и ще улесни овладяването на принципите на безопасно поведение на пътя.

Получените данни и валидирани модели могат да се използват за обучение на водачи и оценка на ефективността на системите при различни пътни условия, което ще помогне за намаляване на пътнотранспортните произшествия и повишаване на културата на управление.

Създадената база данни, включваща резултати от експерименталните изследвания, представлява ценен ресурс за авто-технически експертизи. Чрез нея специалистите ще могат да анализират спирачните характеристики на различни автомобилни модели при различни условия на пътя, допринасяйки за по-добро разбиране на безопасността на автомобилите и усъвършенстване на технологиите за активна безопасност. Получените данни ще подкрепят оценката

на ефективността на тези системи и ще разширят познанията в областта на автомобилната безопасност.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Научноприложни приноси:

1. Предложена е методика за експериментално изследване на спирачните характеристики на автомобил, гарантираща ефективност и точност на резултатите;
2. Предложена е методика за оценка на ефективността на системите за автоматично аварийно спиране (АЕВ), позволяваща определяне на вероятността от задействане и анализ на спирачните ѝ характеристики при различни условия;
3. Установена е възможността за прецизно прогнозиране на спирачния процес при различни режими на движение и типове пътни настилки чрез сравнение на теоретичния модел на спирачни характеристики и експерименталните изследвания.

Приложни приноси:

1. Установено е влияние на вида на пътната настилка върху спирачните характеристики на автомобила, като се отчита коефициента на триене между пътната настилка и гумите на автомобила;
2. Установено е влиянието на скоростта на движение на автомобила върху спирачните характеристики, отчитайки падащата характеристика на силата на триене от скоростта;
3. Установено е влиянието на изправна ABS-система за подобряване на спирачните характеристики на автомобила при всички пътни настилки и скорости на автомобила;
4. Установено е статистически значимо влияние на височината на протектора на автомобилните гуми върху спирачните характеристики и че правилният избор на автомобилни гуми, съобразен със сезоните и пътните условия, оказва съществено влияние върху безопасността на движение;
5. Представена е обширна база от знания и практически методологии относно системите за активна безопасност в автомобилите, които могат успешно да бъдат използвани в образователните програми за обучение на студенти, водачи, инженери и специалисти по безопасност на движението;
6. Получената база данни с експериментални резултати за спирачните характеристики предоставят информация, полезна за авто-технически експертизи при анализ и оценки на състоянието на автомобилни спирачни системи.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **N. Toshev**, H. Kanevski, S. Asenov and A. Parushev, "Study of the Automatic Emergency Braking Active Safety System of a Passenger Car," 2024 XXXIII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET63133.2024.10721506. [Scopus]
2. **Тошев. Н.**, Съвременни системи за активна безопасност на автомобила. Трета национална научна конференция "Човекът и вселената" Смолян 2021, СУБ – Смолян, Научни трудове, том 3, част 3, 2022; ISSN:1314-9490 (online), с. 454-464, Смолян, 2021.
3. **Toshev, N.**, Kanevski, H. (2024). Experimental Determination of the Passenger Car Deceleration under Different Road Conditions, Science Series "Innovative STEM Education", volume 06, ISSN: 2683-1333, Institute of Mathematics and Informatics – Bulgarian Academy of Sciences, pp. 129-139, DOI: <https://doi.org/10.55630/STEM.2024.0615>.
4. **N. Toshev**, "Research On The Braking Deceleration Of A Passenger Car Equipped With Tires For Different Weather Conditions Under Various Road States", 2024 II National scientific conference Physics-Engineering-Technology, 27-28 November 2024, Plovdiv, Bulgaria (подпечат).