

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PASSENGER CAR DECELERATION UNDER DIFFERENT ROAD CONDITIONS

Nikolay Toshev

“Paisii Hilendarski” University of Plovdiv,
Bulgaria
nickytoshev@abv.bg

Hristo Kanevski

“Paisii Hilendarski” University of Plovdiv,
Bulgaria
hkanevski@gmail.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СПИРАЧНОТО ЗАКЪСНЕНИЕ НА ЛЕК АВТОМОБИЛ ПРИ РАЗЛИЧНИ ПЪТНИ УСЛОВИЯ

Abstract

In this paper, the authors present an experimental study to determine the influence of the active safety system “ABS” on the braking deceleration of vehicles under different road surfaces and at different driving speeds. Different vehicles were used for the purpose of the experiment. The experiments were conducted in two stages. In the first stage of the experiment, the braking deceleration was measured with the ‘ABS’ system running, at different speeds and road surfaces. In the second stage of the experiment, under the same conditions, the braking deceleration was measured with the “ABS” system deactivated. The purpose of this study is to analyse the influence of the “ABS” system on the braking deceleration under different factors in a real environment. A modern method for determining the braking deceleration by applying the ENERGOTEST EnergoSM 4.0 non-contact speed and acceleration measurement system.

Keywords: ABS; Braking Deceleration; Braking Distance; Vehicle Braking.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Ефективната спирачна система може значително да намали риска от пътно-транспортни произшествия, като осигури бърза реакция и намаляване на скоростта в критични ситуации. Високото спирачно закъснение позволява на водача да избегне сблъсъци и да намали тежестта на евентуални инциденти.

Спирачното закъснение (deceleration) е ключов параметър в оценката на спирачните качества на лек автомобил. То представлява скоростта на намаляване на скоростта на автомобила и обикновено се измерва в метри за секунда на квадрат (m/s^2). Високото спирачно закъснение е индикатор за ефективността на спирачната система, която трябва бързо и надеждно да намали скоростта на автомобила до пълно спиране. Спирачното закъснение е критичен показател за оценка на спирачните качества на лек автомобил. Ефективното спиране не само осигурява безопасност и контрол, но също така подпомага интеграцията на съвременни технологии и спазването на регулаторните стандарти [1]. Внимателното изследване и оптимизиране на спирачното закъснение е от съществено значение за развитието на по-безопасни и надеждни автомобили.

Изследвания на спирачната ефективност често включват измерване на спирачното закъснение и времето за спиране при различни скорости. Спирачното закъснение се определя като промяната в скоростта на превозното средство по време на спиране и е ключов показател за ефективността на спирачната система [2].

Антиблокиращата спирачна система (ABS) е една от ключовите технологии за активна безопасност, предназначена да предотврати блокирането на колелата по време на

спиране, като по този начин запазва управляемостта и стабилността на автомобила. Внедряването на ABS значително намалява риска от злополуки и подобрява общата безопасност на пътя.

ABS функционира чрез сензори, които следят скоростта на въртене на всяко колело. Когато системата открие, че дадено колело се блокира, тя временно намалява спирачното налягане към това колело, позволявайки му да продължи да се върти. Това предотвратява загубата на сцепление и запазва управляемостта на автомобила [3].

Изследванията показват, че ABS значително подобрява спирачния път и стабилността на автомобила в критични ситуации. Проучвания от Cicchino (2017) и IIHS (Insurance Institute for Highway Safety) демонстрират, че автомобилите, оборудвани с ABS, имат по-нисък процент на задни сблъсъци. В частност, IIHS отчита, че ABS системите намаляват честотата на задни сблъсъци с до 50% [4], [5]. ABS е доказала своята ефективност на различни пътни повърхности, включително мокри и заснежени пътища. Според много проучвания, системата е особено полезна при шофиране в условия на намалена видимост и хлъзгави повърхности, където рискът от блокиране на колелата е по-голям [1], [6], [7].

Съвременните изследвания се фокусират върху интеграцията на ABS с други системи за активна безопасност като електронен контрол на стабилността (ESC) и автоматични системи за аварийно спиране (AEB). Това сътрудничество между различни системи позволява по-високо ниво на безопасност и адаптивност към разнообразни пътни ситуации [8].

Антиблокиращата спирачна система (ABS) е ключова технология за активна безопасност, която значително подобрява управляемостта и стабилността на автомобила по време на спиране. Изследванията показват, че ABS намалява риска от злополуки и спомага за повишаване на общата безопасност на пътя. С развитието на технологиите и интеграцията с други системи за активна безопасност, ABS ще продължи да играе важна роля в автомобилната индустрия.

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 (фиг. 4), на фирмата ENERGOTEST.

2. МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Методиката на експерименталните изследвания включва измерване на спирачното закъснение на лек автомобил при аварийно спиране по различни пътни настилки с различен коефициент на сцепление и настилка от асфалт. Изследванията са проведени през зимния период от годината, при температура на въздуха около 10 градуса по целзий и температура на асфалта 4 градуса по целзий. Настилката върху която са проведени изследванията е полигон (Фиг.1), намиращ се в гр. Смолян, покрит с асфалтова настилка. Изследванията са проведени на прав и хоризонтален участък при различни пътни условия: суха настилка, мокра настилка и пясъчно поръсена с три различни леки автомобили, произведени през различни години.

Видът на повърхността е един от най-важните фактори, отговорни за спирачния път. Различните видове повърхности имат различни коефициенти на сцепление. Нещо повече, замърсяване като пясък, малки камъчета или кал може да се намери във всеки тип повърхности, което ефективно намалява коефициента на сцепление на определен тип повърхност [6], [7], [9].



Фиг. 1. Полигон с асфалтова настилка.

За експеримента са използвани три вида леки автомобили от един и същи клас, всичките оборудвани стандартно със система за активна безопасност ABS:

1. BMW 318 i , произведен през 1991 год. (Фиг. 2), оборудван със зимни гуми, марка „Viking WinTech“, с размери 185/65 R15 и измерена височина на протектора 6 mm.



Фиг. 2. Лег автомобил BMW 318 i

2. SEAT LEON, произведен през 2005 год. (Фиг. 3) оборудван със зимни гуми, марка „Lassa Snoways4“, с размери 195/65 R15 и измерена височина на протектора 8 mm;



Фиг. 3. Лег автомобил SEAT LEON

3. OPEL ASTRA, произведен през 2013 год. (Фиг. 4), оборудван със зимни гуми, марка „Debica Frigo“, с размери 205/60 R16 и измерена височина на протектора 7 mm.



Фиг. 4. Лег автомобил OPEL ASTRA

Изследванията с посочените автомобили, които са стандартно оборудвани със система за активна безопасност ABS, са проведени на прав и хоризонтален участък при различни скорости на движение. В експеримента са включени опити при различни скорости на движение: 40, 50 и 60 km/h като освен това при същите условия са проведени и тестове с принудително изключена ABS система.

В това изследване е използвана безконтактна система за измерване на скоростта и ускорението на движещи се превозни средства EnergoSM 4.0 (фиг. 5), на фирмата ENERGOTEST [10].

Максималното спирачно закъснение е измерено от деселерометъра „Energo-SM 4.0“ от момента на задействане на спирачката (началото на нарастване на закъснението) до пълното спиране на автомобила, като резултатите от проведеното изследване са

обработени със софтуер „ESM2: EnergoSM decelerometer windows software“ Ver.2.0.5. Той предоставя възможност за графично представяне на получените резултати от изследваните параметри в зависимост от времето, също така представя и скоростта на движение на автомобила.



Фиг. 4. Decelerometer “Energo-SM 4.0”

Основните характеристики на уреда са:

- **Безконтактно Измерване:** Energo-SM 4.0 използва безконтактни технологии за измерване, което осигурява по-точни и стабилни резултати в сравнение с традиционните методи. Подходящ за измервания както на затворени трасета, така и в реални пътни условия.
- **Висока Прецизност:** Системата е проектирана да предоставя висока точност на измерванията, което е критично за изследвания и разработки в областта на автомобилната безопасност и динамика. Прецизността на измерванията е ключова за валидността на експерименталните данни и за извеждането на надеждни заключения.
- **Измерване на Скорост и Спирачно Закъснение:** 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.

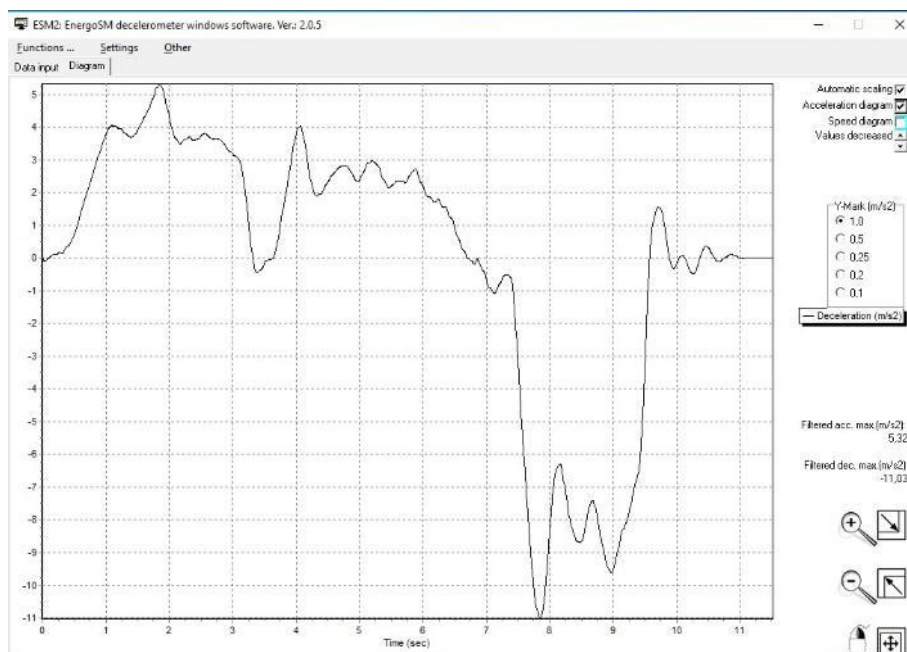
Приложения:

- **Тестове на Спирачни Системи:** Използва се за експериментални изследвания на ефективността на спирачните системи, като предоставя данни за спирачното закъснение и времето за спиране при различни скорости и условия.
- **Динамичен Анализ на Превозни Средства:** Системата се използва за анализ на динамичните характеристики на превозните средства, включително ускорение, забавяне и поведение при различни маневри.

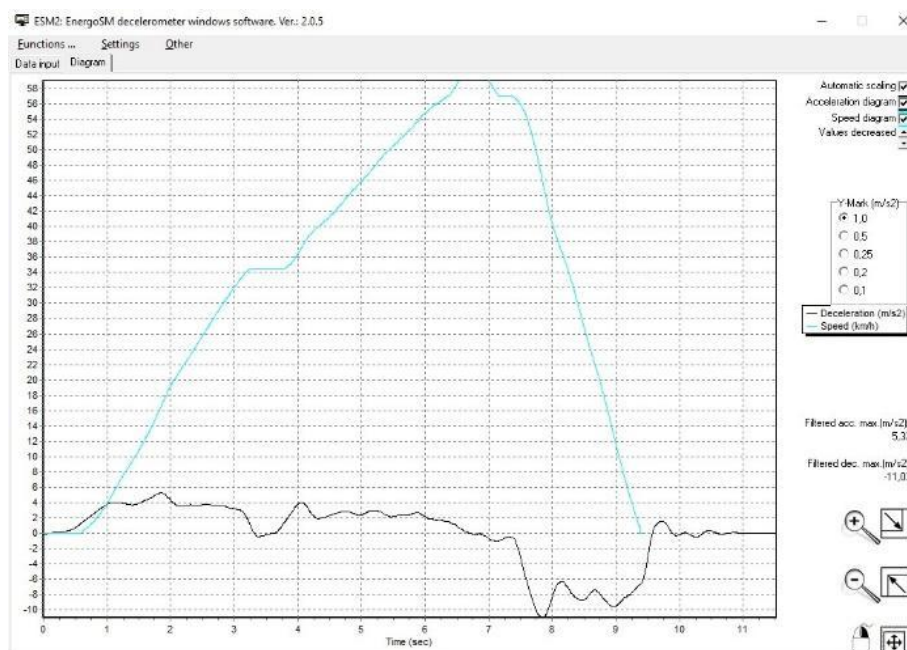
Акселерометърът Energo-SM 4.0 представлява съвременен инструмент за прецизно измерване и анализ на динамичните характеристики на превозните средства, което го прави много ценен в областта на автомобилните изследвания и разработки.

3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Максималното спирачно закъснение е измерено от деселерометъра „Energo-SM 4.0“ от момента на задействане на спирачката, като резултатите от проведеното изследване са обработени със софтуер „ESM2: EnergoSM decelerometer windows software“ Ver.2.0.5. Графично представяне на получените резултати от изследваните параметри в зависимост от времето (фиг. 5), също така има възможност и за представяне допълнително и скоростта на движение на автомобила (фиг. 6).



Фиг. 5. Графика от “Energo-SM 4.0”, обработена със софтуер „ESM2“, показваща спирачното закъснение в m/s^2

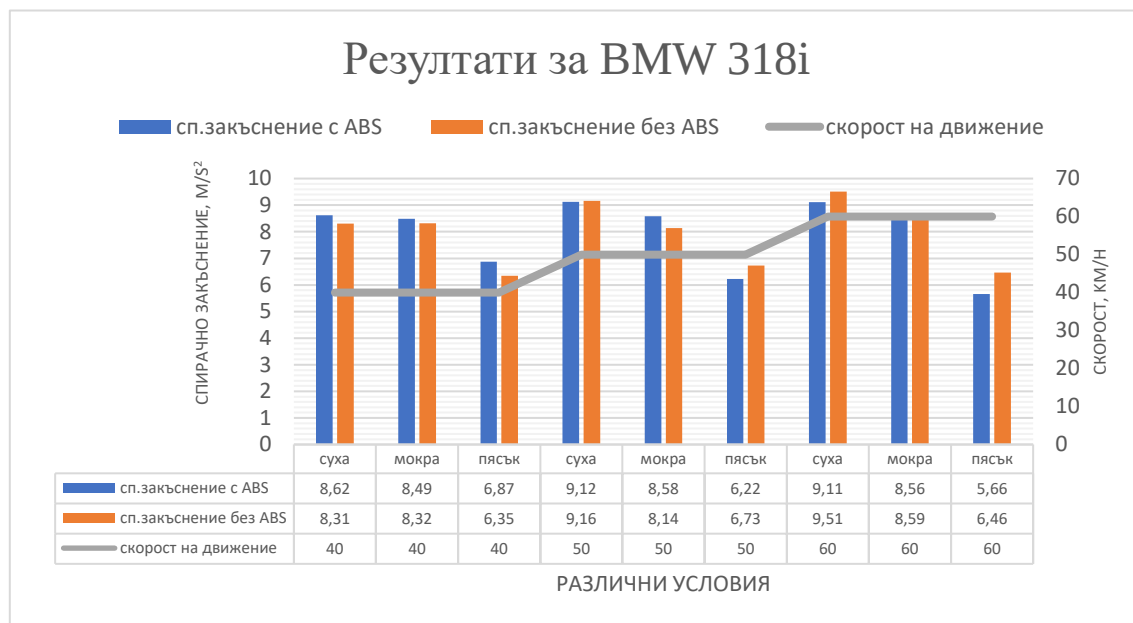


Фиг. 6 Графика от “Energo-SM 4.0”, обработена със софтуер „ESM2“, показваща спирачното закъснение в m/s^2 и допълнително скоростта на движение в km/h .

Графично и таблично резултатите от проведеното експериментално изследване са представени на фиг. 7, фиг. 8 и фиг. 9.

1. Изследване на спирачното закъснение на лек автомобил BMW 318

Графиката от фиг. 7 представя резултатите за спирачното закъснение на BMW 318i при различни пътни условия (суха настилка, мокра настилка и пясъчно поръсена настилка) и различни скорости на движение (40, 50 и 60 km/h). Данните са разделени на две групи: с нормално работеща система ABS и с принудително изключена система ABS.



Фиг. 7. Изменение на спирачно закъснение на лек автомобил BMW 318i в зависимост от вида на пътната настилка, скоростта на движение и наличието на ABS.

Тестваният лек автомобил BMW 318i показва стабилни стойности на спирачно закъснение при всички условия на пътната настилка.

На суха настилка, спирачното забавяне е почти идентично с ABS и без ABS, като стойностите варират между 8.62 m/s^2 и 9.12 m/s^2 с ABS и от 8.31 m/s^2 до 9.51 m/s^2 без ABS. Това показва, че ABS системата няма съществено влияние при идеални условия на пътя.

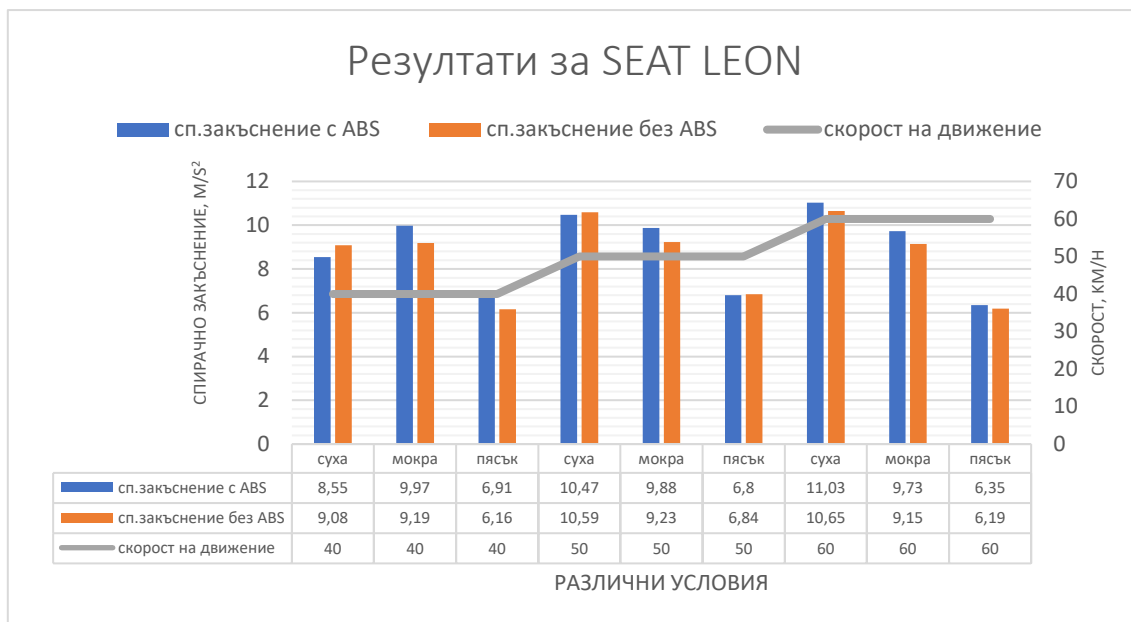
При мокра настилка, разликата между спирачното закъснение със и без ABS е забележима. ABS системата осигурява по-ефективно забавяне (8.49 m/s^2 , 8.58 m/s^2 и 8.56 m/s^2), докато при липса на ABS се наблюдава по-малко забавяне (8.32 m/s^2 , 8.14 m/s^2 и 8.59 m/s^2). Това потвърждава значителната роля на ABS при предотвратяване на загубата на сцепление на мокри повърхности.

На пясък, ABS системата показва по-ниско спирачно закъснение (6.87 m/s^2 , 6.22 m/s^2 и 5.66 m/s^2) в сравнение с липсата на ABS (6.35 m/s^2 , 6.73 m/s^2 и 6.46 m/s^2), което е очаквано, тъй като на тази повърхност блокирането на колелата може да допринесе за по-бързото спиране чрез формиране на пясъчна преграда пред гумите.

Резултатите от изследването при първия лек автомобил показват, че максималното спирачно закъснение (9.51 m/s^2) е измерено при суха пътна настилка, скорост на движение – 60 km/h и с изключен ABS. Най-малко спирачно закъснение (5.66 m/s^2) е измерено при пясъчно поръсена пътна настилка, скорост на движение – 60 km/h и с работещ ABS.

2. Изследване на спирачното закъснение на лек автомобил SEAT LEON.

Графиката от фиг. 8 представя резултатите за спирачното закъснение на SEAT LEON при различни пътни условия (суха настилка, мокра настилка и пясъчно поръсена настилка) и различни скорости на движение (40, 50 и 60 km/h). Данните са разделени на две групи: с нормално работеща система ABS и с принудително изключена система ABS.



Фиг. 8. Изменение на спирачно закъснение на лек автомобил SEAT LEON в зависимост от вида на пътната настилка, скоростта на движение и наличието на ABS.

Тестваният автомобил SEAT LEON показва най-високите стойности на спирачно закъснение на суха настилка, както със, така и без ABS. При скорост 40 km/h на суха настилка, стойностите са почти еднакви (8.55 m/s² с ABS и 9.08 m/s² без ABS). Това отново демонстрира минималното влияние на ABS при идеални условия на пътя.

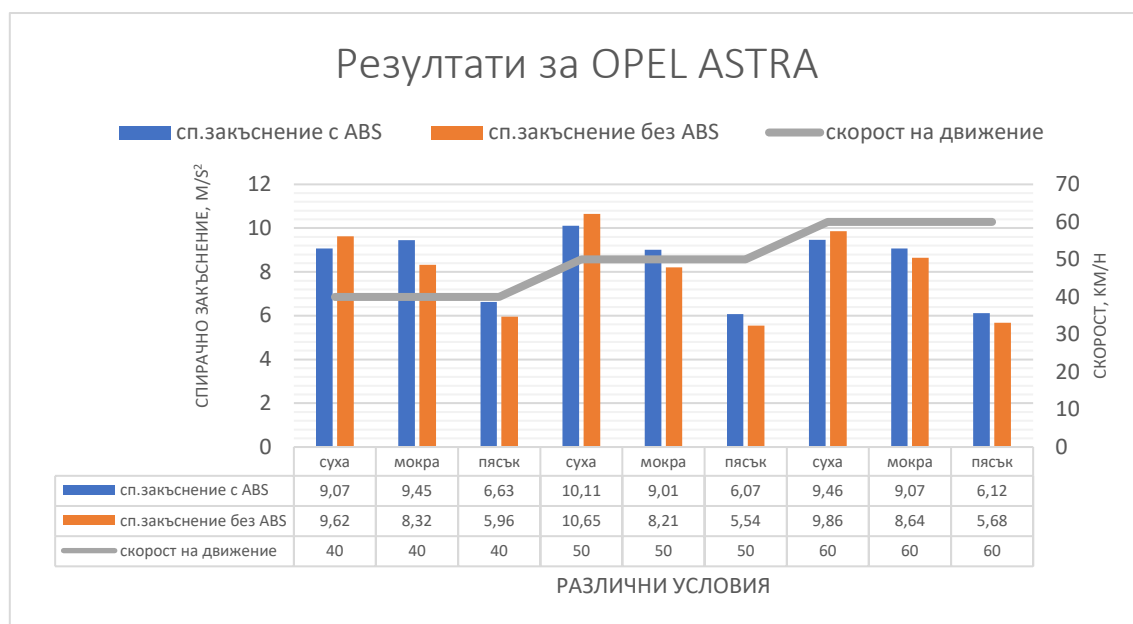
На мокра настилка, ABS системата значително подобрява спирачното закъснение (9.97 m/s², 9.88 m/s² и 9.73 m/s²), докато при липса на ABS се наблюдава по-малко спирачно закъснение (9.19 m/s², 9.23 m/s² и 9.15 m/s²). Този автомобил показва най-високото спирачно закъснение на мокра настилка със система ABS сред трите изследвани автомобили.

На пясък, подобно на BMW 318i, SEAT LEON има по-ниско спирачно закъснение с ABS (6.16 m/s²) в сравнение с липсата на ABS (6.91 m/s²). Това е характерно за всички автомобили и показва ограниченията на ABS при насипни повърхности.

Резултатите от изследването при втория лек автомобил показват, че максималното спирачно закъснение (11.03 m/s²) е измерено при суха пътна настилка, скорост на движение – 60 km/h и с работещ ABS. Най-малко спирачно закъснение (6.16 m/s²) е измерено при пясъчно поръсена пътна настилка, скорост на движение – 40 km/h и с изключен ABS.

3. Изследване на спирачното закъснение на лек автомобил OPEL ASTRA.

Графиката от фиг. 9 представя резултатите за спирачното закъснение на OPEL ASTRA при различни пътни условия (суха настилка, мокра настилка и пясъчно поръсена настилка) и различни скорости на движение (40, 50 и 60 km/h). Данните са разделени на две групи: с нормално работеща система ABS и с принудително изключена система ABS.



Фиг. 9. Изменение на спирачно закъснение на лек автомобил OPEL ASTRA в зависимост от вида на пътната настилка, скоростта на движение и наличието на ABS.

Тестваният лек автомобил OPEL ASTRA демонстрира сходни резултати на суха настилка с другите два автомобила, като стойностите с ABS и без ABS са много близки ($9.07 m/s^2$ с ABS и $9.62 m/s^2$ без ABS).

При мокра настилка, автомобилът с ABS показва значително по-добро спирачно закъснение ($9.45 m/s^2$, $9.01 m/s^2$ и $9.07 m/s^2$), докато при липса на ABS стойностите са по-ниски ($8.32 m/s^2$, $8.21 m/s^2$ и $8.64 m/s^2$). OPEL ASTRA също показва много добро поведение на мокри настилки, като резултатите показват значителното предимство на ABS системата при тези условия.

На пясък, както и при другите автомобили, ABS системата води до по-ниско спирачно забавяне ($5.54 - 5.96 m/s^2$), докато без ABS се наблюдава по-високо забавяне ($6.07 - 6.63 m/s^2$). Този резултат също потвърждава известните ограничения на ABS при пясъчно поръсени пътни настилки.

Резултатите от изследването при третия лек автомобил показват, че максималното спирачно закъснение ($10.65 m/s^2$) е измерено при суха пътна настилка, скорост на движение – $50 km/h$ и с изключен ABS. Най-малко спирачно закъснение ($5.54 m/s^2$) е измерено при пясъчно поръсена пътна настилка, скорост на движение – $50 km/h$ и с работещ ABS.

4. Изводи

1. Влияние на ABS при различни пътни условия:

ABS системата е най-ефективна при мокра пътна настилка, като значително увеличава спирачното закъснение и по този начин повишава безопасността на автомобила.

На суха настилка и пясъчно поръсена настилка, ефективността на ABS е по-спорна, като в някои случаи тя може дори да увеличи спирачния път, особено на пясък, където блокирането на колелата може да помогне за формирането на "клин" пред гумите, което да допринесе за по-бързото спиране.

2. Сравнение между изследваните автомобили.

При трите изследвани автомобила ABS системата показва сходни резултати, като значителни разлики се наблюдават при различните пътни настилки. Спирачното закъснение на всеки автомобил варира в зависимост от условията, като най-добри резултати са постигнати при суха настилка при ниска скорост.

3. Влияние на ABS върху безопасността на движението (БД).

Въпреки че ABS не винаги е най-ефективното решение при всички условия, системата осигурява значителни ползи, особено при мокри условия, където има висок риск от аквапланинг и загуба на контрол.

ABS системата играе критична роля в подобряването на БД, като значително намалява риска от занасяне и загуба на контрол над автомобила при аварийно спиране. При активация на ABS, водачът запазва възможността да управлява автомобила, дори и при интензивно натискане на спирачния педал, което е особено важно при спиране на хлъзгави пътни настилки. Това подобрение в управляемостта и стабилността значително редуцира вероятността от пътни инциденти, в резултат на което ABS системата съществено допринася за повишаване на общото ниво на БД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването потвърждава значимостта на ABS системата за подобряване на спирачната ефективност при различни пътни условия, особено на мокри и хлъзгави пътни настилки. Резултатите показват, че ABS системата играе ключова роля в повишаване на пътната безопасност, като намалява риска от пътни произшествия и осигурява по-добър контрол над автомобила при аварийно спиране. На суха настилка, ABS има минимално влияние, докато на пясък, системата може дори да увеличи спирачния път, което показва, че системата може да има ограничения, които следва да бъдат взети предвид при управлението на автомобила в различни пътни условия.

REFERENCES // ЛИТЕРАТУРА

1. Toshev, N.; Minchev, R. (2023). "Increasing the Safety of the Car", Science Series "Innovative STEM Education", 2023, volume 05, ISSN: 2683-1333, Institute of Mathematics and Informatics – Bulgarian Academy of Sciences, pp. 153-162, DOI: <https://doi.org/10.55630/STEM.2023.0518>
2. Gillespie, T. D. (1992). "Fundamentals of Vehicle Dynamics". Society of Automotive Engineers, 1992
3. Toshev, N. (2022), "Modern Systems for Active and passive Safety of the Car", Third National Scientific Conference Man and the Universe, Smolyan 2021, Proceedings of Union of Scientists in Bulgaria - Smolyan, vol. 3, Iss. 3, ISSN:1314-9490 (online), pp. 454-464, 2021. // [Тошев, Н. Съвременни системи за активна и пасивна 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].
4. Cicchino, J. B. (2017). "Effectiveness of Forward Collision Warning and Autonomous Emergency Braking Systems in Reducing Front-to-Rear Crash Rates". Accident Analysis & Prevention, 2017, 99, pp. 142-152.
5. Insurance Institute for Highway Safety. (2017). "IIHS Status Report", Vol. 52, No. 4.
6. A. Erd, M. Jaśkiewicz, G. Koralewski, D. Rutkowski and J. Stokłosa, "Experimental research of effectiveness of brakes in passenger cars under selected conditions", 2018 XI International Science-Technical Conference Automotive Safety, Žasť, Slovakia, 2018, pp. 1-5, DOI: <https://doi.org/10.1109/AUTOSAFE.2018.8373299>
7. Lyubenov D.: "Research of the stopping distance for different road conditions". III International conference – Transport problems 2011, Katowice, Poland. pp. 199-205.

8. Kumar, D., Sharma, S., & Singh, S. (2020). “A Review Paper on Anti-lock Braking System (ABS) and Its Advancement”. *International Journal of Management, Technology And Engineering*, 2020, pp. 2249-7455.
9. Lyubenov D., “Experimental Determination of the Vehicles Deceleration on High Friction Surface”, *PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2012*, volume 51, book 4. // [Любенов. Д, Експериментално определяне на спирачното закъснение на автомобили по специална настилка. НАУЧНИ ТРУДОВЕ НА РУСЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ - 2012, том 51, серия 4].
10. “User manual Decelerometer for vehicles ENERGOTEST Energo-SM 4.0”.

Received: 09-08-2024 Accepted: 24-09-2024 Published: 20-12-2024

Cite as:

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, pp. 129-139, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55630/STEM.2024.0615>