

УДК 629.3

ВЛИЯНИЕ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ (АБС) НА ПОВЕДЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ В ПРОЦЕССЕ ТОРМОЖЕНИЯ

Ткачева Татьяна Михайловна, канд. физ.-мат. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, tatmihotka@rambler.ru

Ларин Егор Сергеевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, e.s.larin63@mail.ru

Лаубе Артем Ильич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, laubeartem6@gmail.com

Шевченко Никита Максимович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64,
nikitashevchenko654@gmail.com

Аннотация. В статье приведены экспериментальные результаты по изучению воздействия антиблокировочной системы (АБС) на устойчивость движения и торможения автомобиля. Показано, что использование АБС уменьшает тормозной путь (на сухом асфальте) примерно на 20%, а время торможения уменьшается на 15,5%. При отсутствии АБС в результате экстренного торможения наблюдается неконтролируемый занос автомобиля, причем отклонение от начального направления движения составляет от 30 до 45 градусов в зависимости от начальной скорости автомобиля, качества дорожного покрытия, а также от параметров и материала изготовления шин. Обсуждено возникновение сцепления и зависимость от факторов движения. Показано, что коэффициент сцепления в проведенных испытаниях с использованием АБС превышал коэффициент трения скольжения в испытаниях без АБС.

Ключевые слова: антиблокировочная система (АБС), коэффициент трения, коэффициент сцепления тормозной путь, ускорение, скорость, неконтролируемый занос.

IMPACT OF ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS) ON VEHICLE BEHAVIOR DURING BRAKING

Tkacheva Tatiana M., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, tatmihotka@rambler.ru

Larin Egor S., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, e.s.larin63@mail.ru

Laube Artem I., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, laubeartem6@gmail.com

Shevchenko Nikita V., student,

MADI, 64, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russia, nikitashevchenko654@gmail.com

Abstract. The article presents experimental results on the study of the impact of the anti-lock braking system (ABS) on the stability of the movement and braking of the car. It is shown that the use of ABS reduces the braking distance (on dry pavement) by about 20%, and the braking time is reduced by 15.5%. In the absence of ABS, as a result of emergency braking, an uncontrolled skid of the car is observed, and the deviation from the initial direction of movement is from 30 to 45 degrees, depending on the initial speed of the car, the quality of the road surface, as well as the parameters and material of the tires. The emergence of adhesion and the dependence on motion factors are discussed. It is shown that the adhesion coefficient in the tests performed with ABS exceeded the coefficient of sliding friction in tests without ABS.

Key words: anti-lock braking system (ABS), coefficient of friction, coefficient of adhesion braking distance, acceleration, speed, uncontrolled skid.

Введение

Автомобили давно перестали быть роскошью и превратились в повседневный предмет быта. Количество автомобилей на душу населения растет непрерывно, причем речь идет обо всех возможных взаимодействиях человека с автомобилем – личный автомобиль, общественный транспорт, логистика (покупка любого товара), путешествия и прочее. Одновременно растет и количество разных аварий, которые могут привести и к инвалидности участников, и даже к летальному исходу. Одной из причин является недостаточное обеспечение безопасности движения автомобиля. Решением стало применение антиблокировочной системы (АБС).

Эта система предложена более 80 лет назад и впервые стала применяться для предотвращения переворачивания самолетов во время торможения при посадке и взлете. Переворачивание может возникнуть за счет смещения центра масс при резком уменьшении скорости движения. Кроме того, резкое торможение приводит к полной блокировке колес, что также служит причиной переворачивания. Не только самолетам

требовалась антиблокировка колес в процессе торможения.

Железнодорожный транспорт, да и любой рельсовый испытывал острую необходимость в таких системах для предотвращения слишком быстрого износа рельсов и предотвращения схода локомотива с рельсов. Для рельсового транспорта история создания антиблокировочной системы начинается еще в 20-х годах 20 века.

История создания автомобильной АБС начинается в середине 20 века [1]. Первоначально оснастили такой системой автомобили с использованием барабанных тормозов (Morris 6, 1952), а затем дисковых (Jaguar, 1958). В США АБС стали ставить на заводах компании Форд (Continental Mark II, 1954). Далее антиблокировочную систему стали применять и для мотоциклов. Развитие микроэлектроники позволило автомобильным компаниям перейти с механической АБС на новые системы с электронным управлением (Imperial 1971). Компания Bosch, начиная с 1978, стала оснащать АБС автомобили марок BMW и Mercedes, и занимает очень большой сегмент рынка АБС в мире. Еще одной успешной компанией, производящей АБС, является компания Tevis - Continental, изделия которой оказались не только надежными, но и более дешевыми по сравнению с АБС других производителей [2]. В России работает представительство корейской корпорации MANDO, которая имеет более 60-летний опыт производства автозапчастей, в частности АБС. Продукцию корпорации MANDO используют Hyundai Motors, Ssang Yong, Daewoo, Kia Motors и Ford.

Оценка роста продаж АБС, предложенная в 2019 году американской компанией Allied Market Research (AMR), предсказывала объем рынка в 80,65 миллиарда долларов к 2026 году. Пандемия Covid-19, принесла уменьшение спроса на антиблокировочные системы в связи с уменьшением спроса на автомобили (на ~59% в 2020 г.), а также с нехваткой процессоров для электронных систем управления автомобилем,

в том числе для управления АБС. Разумеется, снизились заказы и на различные тормозные системы

В РФ предлагается наладить собственное производство АБС и всего, что связано с этими системами, благодаря выделенному финансированию в сумме 190 млрд рублей за период до 2035 года [3].

Цель исследования

Экспериментальное подтверждение необходимости применения АБС для легкового автомобиля с гидравлическими дисковыми тормозам для уменьшения тормозного пути и обеспечения управляемости автомобилем.

Материалы и методы исследования

Эксперимент проводили с использованием автомобиля KIA Sportage IV, шины Hankook Ventus Sievo2 SUV (245/45, R19). Эксперимент проводился на сухом асфальте при температуре дорожного покрытия 3-4 °C и температуре шин 7-8 °C. Температуру измеряли пирометром Temp Pro 900 с пределом измерения -50/+900 °C и приборной погрешностью ± 1.5 °C Давление в шинах поддерживалось в $(2,4 \pm 0,1)$ атм. Были выполнены эксперименты торможения от 80 км/час до полной остановки как с включенной антиблокировочной системой, так и без нее.

В автомобиле стоит блок АБС производства компании MANDO. Измерения угловой скорости и ускорения при разгоне и торможении фиксировали с помощью инерционного измерительного блока imc CRONOS flex и шины S-CAN-IMU-01 в 3D. CAN-шина собирает данные автомобиля по количеству оборотов колеса в реальном времени и может, перерабатывая GPS сигнал, определить местоположение автомобиля. Скорость автомобиля и тормозной путь также определяли по сигналу GPS с погрешностью $\pm 2\%$ [4], который обрабатывался инерционным измерительным блоком.

Результаты и обсуждение

Использование АБС позволяет увеличить и стабилизировать эффективность тормозной системы автомобиля. Управляемость автомобиля с АБС также в немалой степени зависит от возможности адаптации к неровностям дорожного покрытия, что связано с отсутствием незапланированной блокировки колеса на неровностях, а также с длительностью блокировки во время торможения [5].

Проведение эксперимента требовало предварительных оценок возможного тормозного пути. Для этого использован традиционный подход с использованием уравнений динамики прямолинейного движения [6]. В соответствие с этими представлениями расчет тормозного пути возможен только, если известен коэффициент трения. Стандартная формула для расчета тормозного пути

$$S = \frac{v_0^2}{2fg},$$

где v_0^2 – начальная скорость, f – коэффициент трения, g – ускорение свободного падения.

В предварительных расчетах использовано значение коэффициента трения скольжения на сухом асфальте 0,5 для движения без АБС, и 0,8 уже как коэффициент сцепления с дорогой, для движения с АБС. Эти значения были найдены в работе [7].

Коэффициент сцепления очень важный параметр движения. Он зависит от многих факторов, например, от скорости движения, от нагрузки на каждое колесо, и потому может быть разным даже для всех колес одного и того же автомобиля. Для определения коэффициента сцепления необходимо знать качество материала, из которого изготовлены шины, давление в них, насколько изношены шины, а также величину опорного контакта шины и дороги. Разумеется, качество дорожной одежды играет немалую роль в создании сцепления шин с дорогой. Увеличение скорости

автомобиля, а также наличие грязи и влаги на дороге уменьшают коэффициент сцепления. В работе [7] представлен график изменения коэффициента сцепления в направлении движения в зависимости от величины относительного скольжения колеса (см. рис. 1).

Из графика хорошо видно, что устойчивое движение автомобиля приходится всего лишь на 20% состояния скольжения колеса, а затем начинается нестабильный участок, который заканчивается полной блокировкой колес (речь идет о торможении только с помощью тормозной системы автомобиля).



Рис. 1. Зависимость коэффициента сцепления от величины относительного скольжения колеса. Источник: [7]

Выполнение реального опыта необходимо для того, чтобы наглядно показать работу АБС. Для этого на безопасном участке дороги разгоняли автомобиль до 80 км/ч, после чего выполняли торможение до полной остановки автомобиля с использованием АБС и без нее. Для наглядной визуализации экспериментов была произведена видеосъемка, благодаря которой наглядно видна и работа антиблокировочной системы, и полная блокировка колес в ее отсутствии. На рисунке 2 приведен скриншот видео двух экспериментов.

Во время опыта с включенной АБС автомобиль оставался управляемым до самого конца торможения и остановился ровно в том направлении, что и двигался изначально.

В процессе торможения без АБС автомобиль потерял управление, и это хорошо видно на рис.2. На рисунке сплошной линией показано начальное направление движения, а пунктиром отмечено отклонение от этого направление из-за заноса автомобиля.

В опыте с отключенной АБС автомобиль остановился под углом к траектории, по которой начинал свое движение с АБС. Его занесло и этот занос был неконтролируемый. Угол заноса в экспериментах варьировался от 30 до 45 градусов.



Рис. 2. Скриншот видео в момент полной остановки автомобиля.

Источник: данные авторов

Съемки позволили отчетливо установить момент начала торможения в обоих случаях. Однако в отсутствии АБС колеса не двигались во время торможения. В случае работы антиблокировочной системы на видео хорошо видно, как колеса полностью блокируются много раз. Но

включение АБС каждый раз приводит к падению давления в тормозной магистрали и позволяет колесам вновь вращаться.

Особенно видно различие в торможении с АБС и без нее на графиках зависимости ускорения замедления от времени (рис.3).

На графиках отчетливо видно, в какой момент начато торможение. Индикатором служат показания датчика ускорения, которые резко возрастают. Резкое уменьшение ускорения показывает конец торможения, то есть полную остановку автомобиля.

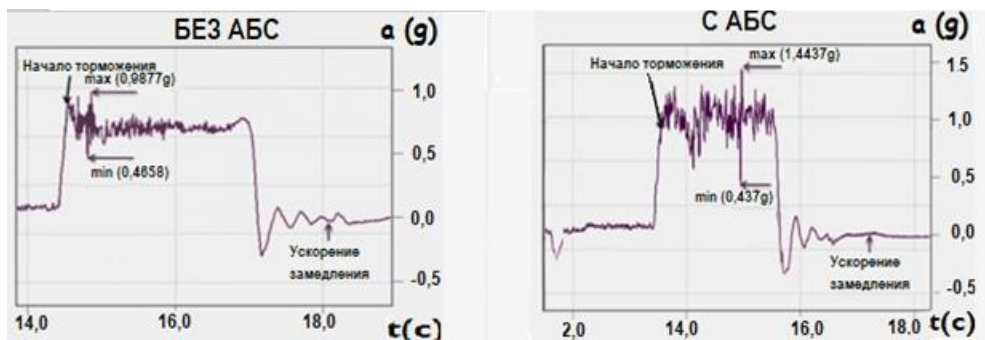


Рис. 3. Зависимость ускорения замедления от времени (данные авторов)

Из графиков были определены коэффициенты трения для разных условий торможения. Значения определяли, исходя из традиционного подхода динамики прямолинейного равнопеременного движения. Для такого подхода вычислить величину коэффициента трения (сцепления) можно при делении полученного значения ускорения на ускорение свободного падения.

Коэффициент трения в пиковом значении в случае торможения без АБС равнялся 1,4437g, его минимальное значение равнялось 0,4658g, а после усреднения получили 1,0070g. В течение процесса торможения пиковое и минимальное значение наблюдаются только в самом начале торможения, а затем ускорения замедления практически не изменяется, оставаясь равным среднему значению.

Коэффициент сцепления при торможении с АБС имел гораздо меньший размах в значениях: в пике его значение составило 0,9877g, а минимальное значение равнялось 0,4658g. Хорошо заметна работа АБС: быстрая смена максимального и минимального значения ускорения, что соответствует чередованию частичной блокировки колес и их возврату к процессу качения. Этот процесс соответствует изменению сцепления от трения покоя до трения скольжения в каждом новом этапе от блокировки до полной разблокировки колеса.

В таблице 1 приведены значения расчетов и измерений параметров движения. Проведено сравнение предварительных расчетов параметров движения с расчетами, в которых использовали полученные значения коэффициентов трения, а также расчеты с реальными данными экспериментов. Из формул традиционного подхода к прямолинейному равнопеременному движению была выражена зависимость ускорения от g. С её помощью были найдены реальные коэффициенты из графиков. Из последующего расчета тормозного пути с этими коэффициентами трения получили значения гораздо более близкие к экспериментальным.

Таблица 1

Параметры движения автомобиля

Наименование параметра	Тормозной путь	Ускорение замедления	Время торможения от 80 км/час до полной остановки
Предварительный расчет <u>без</u> АБС	50,39 м (коэф. тр. 0,5)	0,5g	4,535 с
Расчет с экспериментальными данными <u>без</u> АБС	35,95м (коэф. тр. 0,7)	0,7g	3,239 с
Данные из эксперимента <u>без</u> АБС	33,07м (коэф. сц. 0,8)	0,8g	2,710 с
Предварительный расчет <u>с</u> АБС	31,49м (коэф. сц. 0,8)	0,8g	2,834 с
Расчет с экспериментальными данными <u>с</u> АБС	26,52м (коэф. сц. 0,95)	0,95g	2,386
Данные из эксперимента <u>с</u> АБС	26,49м (коэф. сц. 0,95)	0,95g	2,290 с

Тормозной путь для движения с АБС уменьшился на 20% по сравнению с торможением без использования АБС. Время до полной остановки также уменьшилось на 15,5%. Экспериментальные значения коэффициента сцепления (трения) в случае использования АБС выросли примерно на 1 -1,5 %, что соответствует приведенными ранее представлениями о сцеплении поверхности шин с дорожным полотном.

В процессе экстренного торможения всегда возникает блокировка колес, причем заблокированные колеса будут скользить по дорожному покрытию. При этом эти скользящие колеса никак не будут реагировать на другие боковые усилия, передаваемые им с целью удержат курсовое направление движения. Автомобиль теряет устойчивость движения, то есть возникают условия, приводящие к неконтролируемому заносу, что и было показано экспериментами (см. скриншот видео на рис.3).

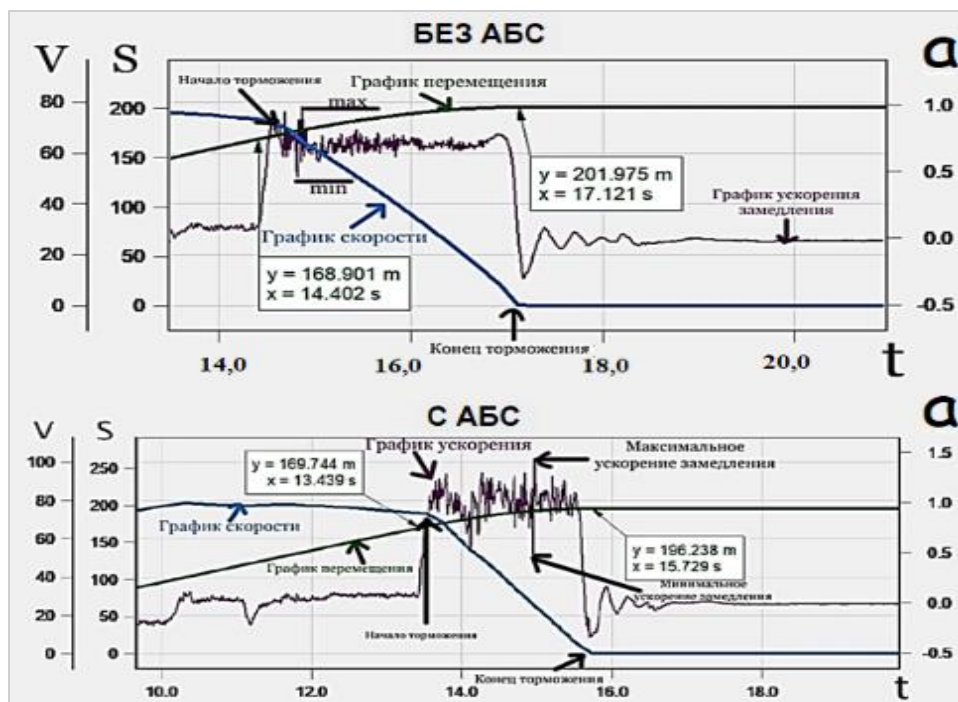


Рис. 4. Изменения скорости, тормозного пути, и ускорения замедления движения автомобиля во времени, как без использования АБС, так и с АБС (данные авторов).

АБС, воздействуя на тормозную систему, дает сигнал к уменьшению в ней давления, что позволяет колесам снова вращаться. Возникновение

вращения означает, что восстанавливается сцепление между шиной и дорогой, то есть вновь возникает сила трения покоя, переходящая в трение качения, а затем в трение скольжения, и все повторяется снова и снова.

Предполагается, что в каждом конкретном случае для системы АБС требуется подстройка под имеющиеся тормозные приводы к каждому колесу и под другие параметры механизма торможения и управления данным автомобилем. Кроме того, требуется учитывать изменения коэффициента сцепления опорной площади шин с дорожным покрытием в процессе движения, зависимость коэффициента трения качения от скорости, что также необходимо учитывать при оценке эффективности работы АБС [8].

Происходящая во время торможения деформация поверхностей шины и дорожного покрытия является одной из причин уменьшения скорости движения. Кроме этого, эти прижатые друг к другу поверхности скользят, то есть возникает взаимное проскальзывание, что также способствует торможению. Но, если подробно, рассматривать эти процессы, то следует обратить внимание на опорную поверхность контакта шины с дорогой. Как известно, шины имеют на поверхности зубчики прямоугольной формы. При торможении без АБС опорная поверхность этих зубчиков увеличивается за счет изгиба в сторону противоположную движению и остается таковой до полной остановки. Возникающее деформационное трение играет главную роль в остановке автомобиля.

При использовании АБС изгиба зубчиков шины и соответственно увеличения площади опорной поверхности не наблюдается, поскольку очень быстро происходит восстановление формы за счет разблокировки колеса. Несмотря на большое количество блокировок и разблокировок во время действия АБС, торможение происходит плавно и не приводит к заносу.

Заключение

1. Результаты проведенных испытаний позволяют подтвердить эффективность антиблокировочной системы (АБС) в обеспечении безопасности дорожного движения.
2. Показано, что использование инерционного измерительного блока imc CRONOS flex и шины S–CAN–IMU-01, как части АБС автомобиля, позволяет определять ускорение замедления, изменение скорости, тормозной путь в режиме реального времени.
3. В проведенных испытаниях тормозной путь автомобиля с АБС уменьшился на 20% по сравнению с движением в тех же условиях, но без АБС.
4. Время торможения уменьшилось на 15,5% при использовании АБС.
5. Коэффициент сцепления в испытаниях с АБС превышал коэффициент трения скольжения в испытаниях без использования АБС.

Список литературы

1. Федянин, А.В. Воронежский научно-технический вестник. [Электронный ресурс.] / А. В. Федянин, И. И. Бойков, В. И. Посметьев, В. О. Никонов. – Режим доступа: http://vestnikvgtlta.ru/gallery/elibrary_29029212_71586282.pdf (Дата обращения 18.11.2022)
2. Игнашин, Б. Колеса [Электронный ресурс.] / Б. Игнашин. – Режим доступа: <https://www.kolesa.ru/article/svobodu-kolesam-istorija-abs-ot-30h-godov-donashih-dnej-2015-11-03> (Дата обращения 18.11.2022)
3. Новости. 19 августа 2022. [Электронный ресурс.] / Режим доступа: <https://www.ixbt.com/news/2022/08/19/abs-esp-190.html> (Дата обращения 18.11.2022)
4. Ткачева, Т.М. Погрешности видеокамеры, спидометра и навигатора // Т.М. Ткачева, К.А. Цибалов, Д.О. Шишкин // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2019. – №1(19). – С. 17

5. Нефедьев, Я.Н. Адаптивная АБС / Я.Н. Нефедьев // Журнал автомобильных инженеров. – 2017. – №2 (103). – С.22-27
6. Смык, А.Ф. Физика: учебное пособие / Смык А.Ф. – СПб.: Питер, 2023. – 352 С. – Серия: Учебник для вузов.
7. Автомобильный справочник / Robert Bosch GmbH.: пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : За рулем, 2004. – 992 с.
8. Ревин, А.А. Основные задачи конструктора колёсной машины при проектировании тормозной системы с АБС / А.А. Ревин, В.Г. Дыгало // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 2. – С. 18-26.

References

1. URL: http://vestnikvglt.ru/gallery/elibrary_29029212_71586282.pdf,
2. URL: <https://www.kolesa.ru/article/svobodu-kolesam-istorija-abs-ot-30h-godov-do-nashih-dnej-2015-11-03>
3. URL: <https://www.ixbt.com/news/2022/08/19/abs-esp-190.html>
4. Tkaheva T.M., Tsibalov K.A., Shishkin D.O. *Avtomobil. Doroga. Infrastruktura*, 2019, no. 1(19), pp. 17.
5. Nefediev Ya.N. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov*, 2017, no. 2 (103), pp. 22-27.
6. Smyk A.F. *Fizika*. (Physics), Saint Petersburg, Piter, 2023, p. 352.
7. *Avtomobilny spravochnik* (Automobile guide), Robert Bosch GmbH, Moscow, *Za rulem*., 2004, p. 992.
8. Revin A.A., Dygalo V.G. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 2019, no 2, pp. 18-26.

Рецензент: А.Ф. Смык, д-р физ.-мат. наук, доц., МАДИ