

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В НЕСТАНДАРТНЫХ УСЛОВИЯХ ТОРМОЖЕНИЯ

VEHICLE BRAKING PERFORMANCE STUDY UNDER NON-STANDARD BRAKING CONDITIONS

Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий (ДТП) — важный процесс выявления причин их возникновения, среди которых значимое место занимает торможение. В статье рассмотрена проблема торможения транспортных средств (ТС) в условиях, отличающихся нестандартными характеристиками и достаточно часто сопровождающих дорожно-транспортные происшествия (например, торможение ТС при неконтролируемом перемещении или боковом скольжении, при нестандартном состоянии шин колес ТС или дорожного покрытия). Проведены экспериментальные исследования процесса торможения в нестандартных условиях, на основе которых получена дополнительная информация для актуализации баз данных о процессе торможения ТС, установлены эмпирические зависимости характеристик процесса замедления ТС от нестандартных условий торможения. Это позволит экспертным и следственным подразделениям, осуществляющим расследование ДТП и его экспертное сопровождение, более полно и всесторонне определять составляющие механизма его образования.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, торможение, коэффициент сцепления, замедление.

Investigation and examination of road transport accidents (RTA) is an important process of identifying the causes of their occurrence, among which braking occupies a significant place. The article discusses the problem of vehicle braking in conditions that differ in non-standard characteristics and quite often accompany road accidents (for example, vehicle braking in case of uncontrolled movement or lateral sliding, in case of non-standard condition of vehicle wheel tires or road surface). Experimental studies of the braking process in non-standard conditions were carried out, on the basis of which additional data were obtained for updating databases on the vehicle braking process, empirical dependencies of the characteristics of the vehicle deceleration process from non-standard braking conditions were established. This will allow expert and investigative units investigating the road transport accident and its expert support to more fully and comprehensively determine the components of the mechanism of its formation.

Keywords: road traffic accident, braking, coefficient of adherence, deceleration.

Введение

Дорожно-транспортные происшествия в настоящее время являются одной из основных проблем транспортной отрасли и наносят ущерб как экономическому по-

тенциалу страны, так и демографическому. Ежегодно в нашей стране получают травмы и гибнут от ДТП сотни тысяч сограждан. Так, например, в 2024 году общее количество ДТП составило 132 037, в которых по-

гибло 14 403 человека, а ранено — 164 754. Государство предпринимает колоссальные усилия для снижения данных показателей, что приносит определенные результаты. Так, за последние 10 лет количество погибших в результате ДТП в абсолютном значении снизилось на 8711, что является существенным [1].

Несмотря на положительные тенденции в решении проблем, связанных с аварийностью на дорогах, ее показатели остаются достаточно высокими. Очевидно, что расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий позволяют выявлять наиболее значимые факторы возникновения условий совершения ДТП, а следовательно, и их профилактики.

Наиболее распространенной ситуацией при совершении ДТП является процесс торможения транспортных средств [2, 3]. Следует отметить, что это не всегда происходит в стандартных условиях. Нередки случаи, когда ТС не обладают нормированными значениями состояния шин колес (недостаточное внутреннее давление, высота протектора шин отличается от производственного или нормированного значения), когда ТС передвигаются в состоянии неконтролируемого перемещения (при боковом скольжении) или по нестандартным поверхностям (технологическая фреза, асфальтовая заплатка при ямочном ремонте, искусственная неровность, колейность и др.) [4, 5]. Все перечисленные состояния перемещения и торможения транспортного средства можно отнести к нестандартным, которым в научной и нормативной литературе не уделяется достаточного внимания при исследовании торможения транспортных средств.

Методы

Для определения влияния названных условий на торможение автомобиля проведен ряд эмпирических исследований с использованием как предложенных способов оценки сцепных качеств покрытия дороги и шин

колес автомобиля, указанных ранее в наших работах [6–10], так и с помощью нормированных эталонных приборов (таких, как Эффект-02 [11] и портативная версия ППК-МАДИ-ВНИИБД (ИКСп)) в соответствии с требованиями к подобным испытаниям, основанными на ГОСТ¹. Все приборы имеют актуальную поверку.

Для определения коэффициента сцепления, производной которого является замедление транспортного средства с опорной поверхностью, был предложен способ, описанный ранее в работах и запатентованный. Данный способ позволяет делать измерения при различных углах волочения колеса относительно оси скольжения. Измерения проводились в различные климатические периоды. Внешний вид установки и пример проведенных испытаний показаны на рис. 1 и 2 [12, 13].

Для определения замедления движения автомобиля, на котором установлены шины с различной высотой протектора, использовался эталонный прибор Эффект-02. Испытания с целью исключения влияния на результаты эксперимента проводились на одном транспортном средстве, которое снаряжалось колесами одного типоразмера, но с различной остаточной глубиной протектора шин (рис. 3). Кроме этого, антибло-

¹ ГОСТ 33078–2014. «Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием».



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки



Рис. 2. Пример проведения испытаний в летний период года

кировочная система автомобиля была принудительно отключена.

Автомобиль, снаряженный прибором Эффект-02, представлен на рис. 4. Ходовые измерения проводились в летнее время на сухом асфальтобетонном покрытии.

Для измерения коэффициента сцепления на атипичных поверхностях использовалась портативная версия прибора ППК-МАДИ-ВНИИБД (ИКСп). Измерения осуществлялись на таких поверхностях, как технологическая фреза (с пропиткой и без пропитки), поверхность колейности, технологическая асфальтовая заплатка, искусственная неровность и др. Примеры проведения измерений представлены на рис. 5–8.

Все измерения проводились на поверенном и нормированном оборудовании. По результатам испытаний составлены протоколы.

Результаты

При измерении коэффициента сцепления при неконтролируемом перемещении были

получены результаты при различных углах поворота колеса относительно оси волочения, представленные на рис. 9. Способ измерения описан в патентах [14–17].

Кроме этого, на графике (см. рис. 9) показаны полученные регрессионные зависимости в виде полинома второго порядка, где x — угол поворота колеса относительно вектора волочения в радианах.

Также были проведены ходовые испытания с различными углами волочения и скоростями перемещения транспортного средства. Результаты были обработаны в программе MathLab, после чего построены графики (рис. 10) в виде объемного полинома. Там же были получены полиномиальные зависимости, которые представлены в таблице.

При проведении ходовых испытаний с применением эталонного измерительного прибора Эффект-02 были выполнены заезды с использованием одного типа шин (205/55R16) с различными остаточными глубинами протектора колес. Заезды осуществлялись с учетом требований инструкции прибора, проводилось контрольное торможение, фиксировался результат [11, 18]. Установленные значения замедления в зависимости от остаточной глубины протектора шин представлены на рис. 11.

С использованием программы MathLab было проведено корреляционное исследование и установлена функциональная зависимость величины замедления автомобиля



Рис. 3. Измерение остаточной глубины шин перед испытаниями



Рис. 4. Снаряжение автомобиля прибором Эффект-02



Рис. 5. Измерения на технологических заплатках



Рис. 6. Измерения на технологической фрезе (с пропиткой)



Рис. 7. Измерения на технологической фрезе (без пропитки)



Рис. 8. Измерения на эксплуатационной колее

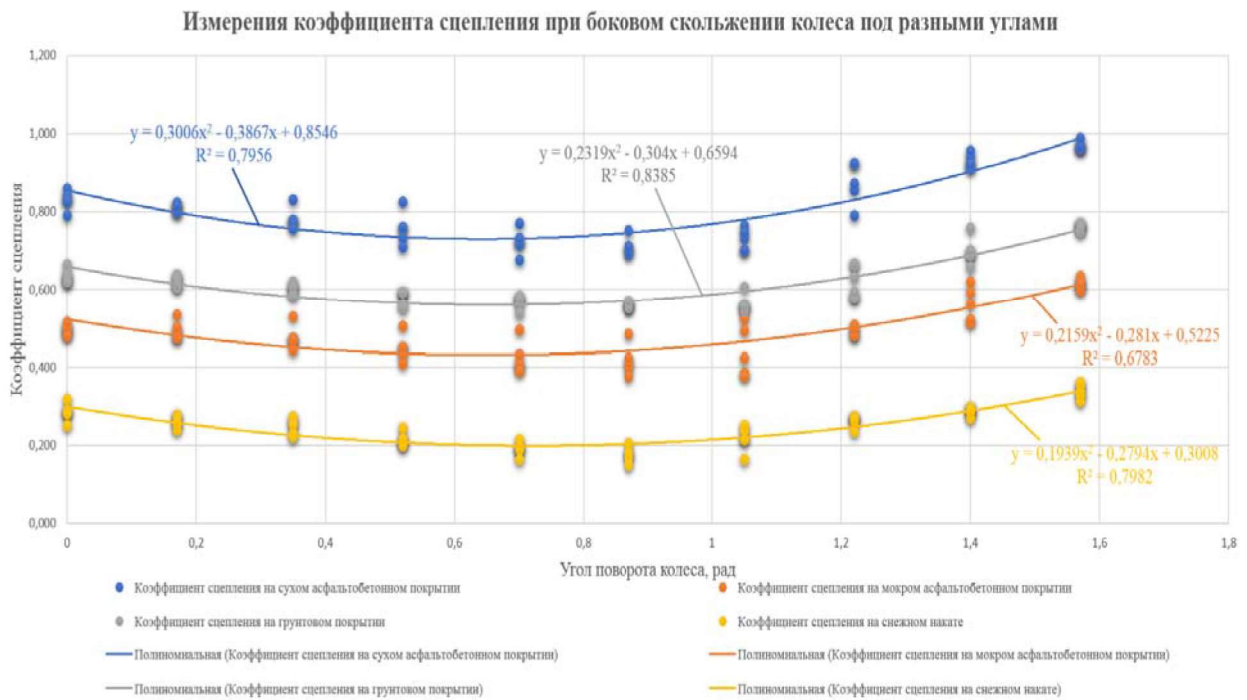


Рис. 9. Влияние угла расположения колеса относительно вектора волочения на значение коэффициента сцепления в зависимости от опорной поверхности

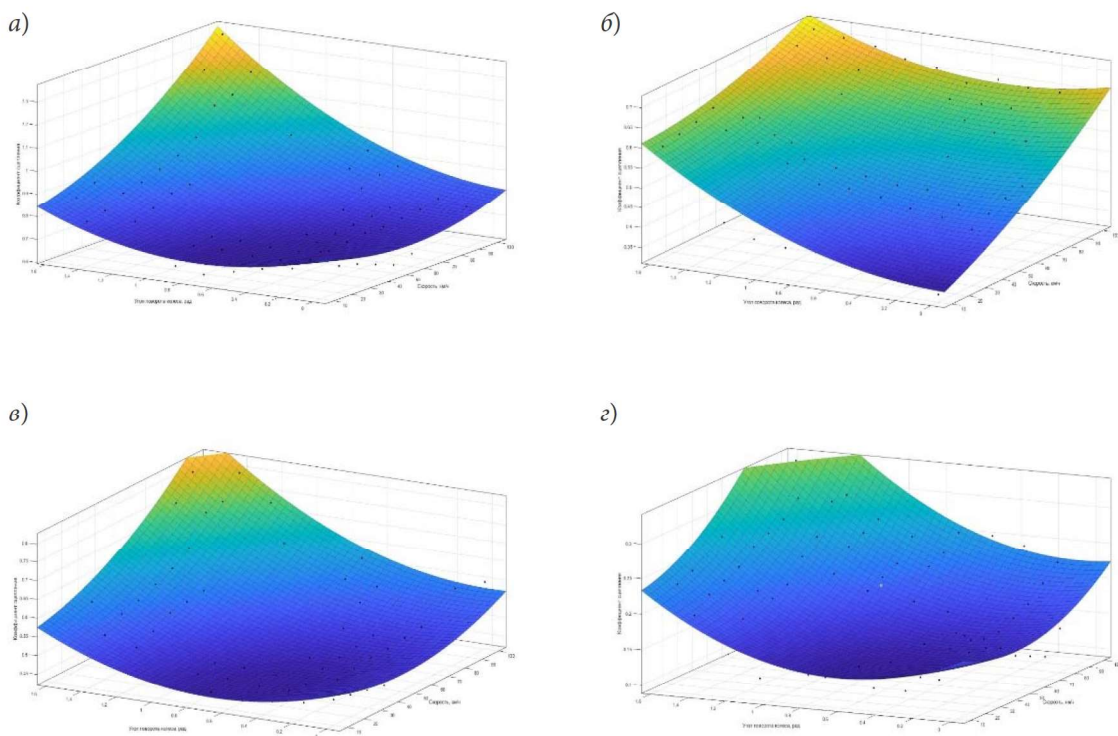


Рис. 10. Корреляционные зависимости коэффициента сцепления от скорости скольжения и угла расположения колеса относительно вектора скольжения при измерениях на различных поверхностях: а — на сухом асфальтобетонном покрытии; б — на мокром асфальтобетонном покрытии; в — на грунтовом покрытии; г — на снежном накате

Полиномиальные зависимости коэффициента сцепления по двум переменным в зависимости от типа поверхности

Тип поверхности	Формула	
На сухом асфальтобетонном покрытии	$\varphi = 0,7845 - 0,003157 \cdot x - 0,2386 \cdot y + \dots$ $\dots + 3,326 \cdot a^{-5} \cdot x^2 + 0,002819 \cdot x \cdot y + 0,163 \cdot y^2$	(1)
На мокром асфальтобетонном покрытии	$\varphi = 0,3408 + 0,001848 \cdot x + 0,02727 \cdot y + \dots$ $\dots + 1,084 \cdot e^{-5} \cdot x^2 - 0,001093 \cdot x \cdot y + 0,08269 \cdot y^2$	(2)
На грунтовом покрытии	$\varphi = 0,5163 - 0,001747 \cdot x - 0,1584 \cdot y + \dots$ $\dots + 2,199 \cdot e^{-5} \cdot x^2 + 0,001451 \cdot x \cdot y + 0,1169 \cdot y^2$	(3)
На снежном накате	$\varphi = 0,1736 - 0,001227 \cdot x - 0,1114 \cdot y + \dots$ $\dots + 1,611 \cdot e^{-5} \cdot x^2 + 0,0009022 \cdot x \cdot y + 0,08875 \cdot y^2$	(4)
Переменные	x — скорость перемещения ТС; y — угол поворота колеса относительно оси скольжения	

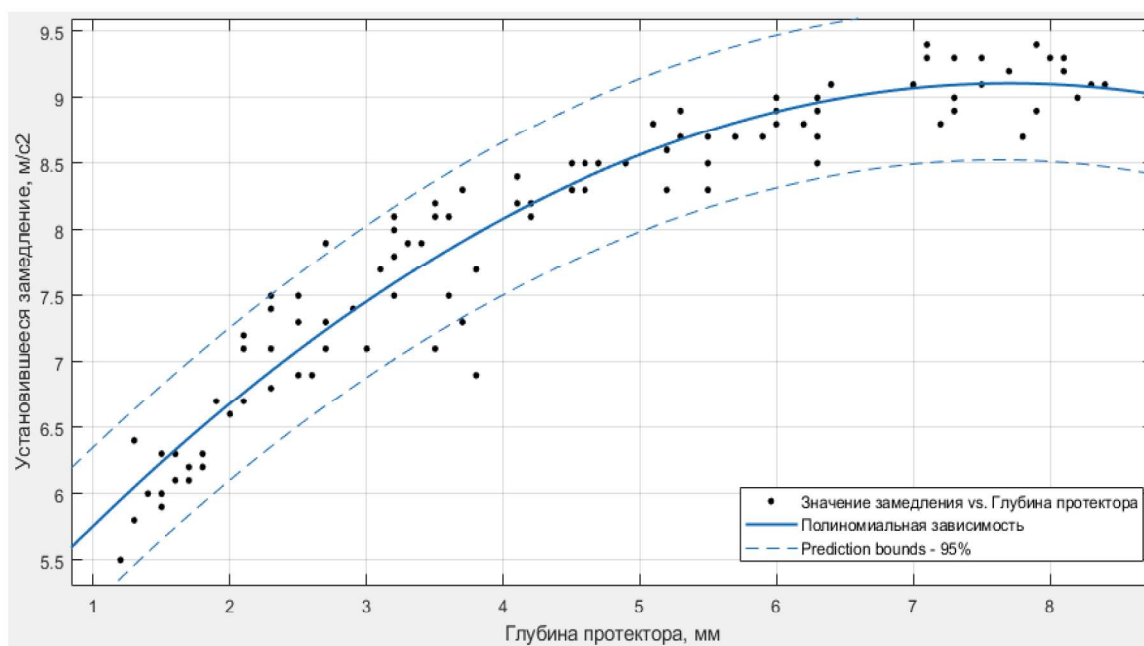


Рис. 11. Зависимость значения установившегося замедления автомобиля от глубины протектора шины

от остаточной глубины протектора шин при торможении:

$$f(x) = -0,07465 \cdot x^2 + 1,15 \cdot x + 4,68; \quad R^2 = 0,928, \quad (5)$$

где x — величина остаточной глубины протектора шины, мм.

При измерении прибором ППК-МАДИ-ВНИИБД (ИКСп) атипичных поверхностей было проведено по восемь измерений

на каждом участке. Результаты измерений представлены на рис. 12.

Обсуждение

Исследование характеристик торможения транспортных средств на специфических поверхностях и в специфических условиях показало, что значительная часть из них дает вариативность при исследовании процесса



Рис. 12. Измерение коэффициента сцепления на специфических поверхностях

торможения ТС, а следовательно, влияет на выводы эксперта при проведении экспертизы ДТП, связанного с процессом замедления автомобилей. Так, например, установлено, что при изменении угла скольжения коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью в промежуточной фазе (при стремлении угла поворота к 45 градусам) снижает свою эффективность по сцепным качествам, в то время, как при граничных значениях (0 градусов и 90 градусов) сцепные качества возрастают. В основном те же тенденции наблюдаются и при добавлении еще одного фактора влияния — скорости перемещения ТС. Однако в последнем случае функциональные зависимости переходят в более сложную форму.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что значение высоты протектора шин колес автомобиля, находящегося в состоянии торможения, показывает устойчивое влияние на его замедление. При этом с увеличением значений высо-

ты протектора шины его сцепные качества с опорной поверхностью возрастают и, наоборот, уменьшаются при снижении высоты.

При оценке нестандартных поверхностей скольжения в большей части измерений (фреза с пропиткой и без пропитки, технологическая заплатка, поверхность колеи) и сравнении со значениями базовых поверхностей, подвергшихся эксплуатационной и реконструкционной трансформации (см. рис. 12), выявлено, что влияние перемещения транспортного средства с одной поверхности на другую может быть значительным и будет способствовать возникновению аварийной ситуации. Так, разница на границе перехода (например, между асфальтированным покрытием и заплаточным покрытием) достигает 63 %, а переход между асфальтированным покрытием и асфальтовой искусственной неровностью (например, влияние на сцепные качества) практически не оказывает воздействия (3,3 %).

Выводы

Проведенные эмпирические исследования показали, что нестандартные условия торможения транспортного средства могут в значительной мере влиять на его замедление, что требует корректировки и уточнения расчетов при проведении дорожно-транспортной экспертизы. Экспериментальные испытания показывают, насколько важно использовать в экспертной практике эмпирический подход, исключая усреднение различных исходных значений характеристик движения ТС и их универсализацию и формализацию, что предлагается, например, в классических источниках Ю. Б. Суворова и более актуализированной версии В. Г. Григоряна [19, 20], используемых в экспертной практике. Полученные эмпирические зависимости позволяют экспертам получать значения тормозных параметров транспортных средств с использованием соответствующих переменных (например, исходя из значения глубины протектора шины или угла расположения колеса относительно вектора перемещения при боковом скольжении), что снизит зависимость получаемых выводов от усредненных значений коэффициента сцепления и замедления транспортного средства, а следовательно, повысит точность дорожно-транспортной экспертизы.

Финансирование

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Библиографический список

1. Юннинен А. В., Евтюков С. С. Предложение по совершенствованию подхода в вопросе оценки безопасности дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 3–3 (86). С. 28–33.
2. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. СПб.: ООО «Издательство ДНК». 2005. 2-е изд. 288 с.
3. Домке Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Академия, 2009. 288 с.
4. Евтюков С. С. Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2020. 355 с.
5. Novikov I. A., Lazarev D. A., Kudinov D. V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 21. Pp. 42721–42724.
6. Лазарев Д. А., Баранов Ю. Н. Повышение эффективности проведения автотехнической экспертизы на основе теоретического подхода при изучении процесса торможения // Мир транспорта и технологических машин. 2016. № 4 (55). С. 82–89.
7. Baranov Y., Bodrov A., Lazarev D. Methods for investigating road accidents // Transportation Research Procedia. 2018. Pp. 25–32.
8. Novikov I., Degtyar A., Lazarev D., Makhonin V. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash // MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 341. P. 00070.
9. Новиков А. Н., Новиков И. А., Лазарев Д. А., Махонин В. Л. Исследование сложного перемещения транспортного средства при проведении дорожно-транспортной экспертизы // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3–3 (78). С. 53–59.
10. Новиков И. А., Новиков А. Н., Лазарев Д. А., Махонин В. Л. Исследование потери курсовой и вертикальной устойчивости транспортного средства при проведении дорожно-транспортной экспертизы // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3–1 (78). С. 41–49.
11. Измеритель эффективности тормозных систем автомобилей. Модификации «Эффект-02.01», «Эффект-02». Руководство к эксплуатации. Методика проверки. М.: НПФ «Мета», 2011. 23 с.
12. Махонин В. Л. Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования неконтролируемого перемещения автомобиля при дорожно-транспортном происшествии: дис. ... канд. техн. наук. Орел, 2024. 170 с.
13. Лазарев Д. А., Шутов А. И., Кущенко С. В. Расчет коэффициента трения заблокированного автомобильного колеса // Автомобильная промышленность. 2010. № 6. С. 17–19.
14. Пат. 158239, Российская Федерация. Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием / Д. А. Лазарев, И. А. Новиков, А. Е. Боровской, В. П. Логвинов; заявл. 01.04.2015; опубл. 27.12.2015. Бюл. № 36.
15. Пат. 159197, Российская Федерация. Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием

тием / Д. А. Лазарев, И. А. Новиков, А. Е. Боровской, В. П. Логвинов; заявл. 08.09.2015; опубл. 10.02.2016. Бюл. № 4.

16. Пат. 210446, Российская Федерация, СПК G01M 17/00. Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием / В. Л. Махонин, А. Н. Новиков, И. А. Новиков, Д. А. Лазарев и др. // заявитель и патентообладатель Махонин В. Л. № 2021139420; заявл. 28.12.2021; опубл. 15.04.2022. Бюл. № 11.

17. Пат. 217339, Российская Федерация, СПК G01N 19/02. Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием / В. Л. Махонин, С. В. Дорохин, Д. А. Лазарев и др. // заявитель и патентообладатель Махонин В. Л. № 2022134921; заявл. 28.12.2022; опубл. 28.03.2023. Бюл. № 10.

18. Novikov I. A., Degtyar A. N., Lazarev D. A., Zagorodniy N. A., Makhoni V. L. A new approach to the study of complex vehicle movement during road transport expertise. E3S Web of Conferences 371, 04008 (2023). URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337104008/>

19. Суворов Ю. Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП. М.: Экзамен: Право и закон, 2003. 208 с.

20. Григорян В. Г., Григорян А. В. Применение в экспертной практике параметров торможения автотранспортных средств. Методические рекомендации для экспертов. М.: РФЦСЭ, 2021. 40 с.

References

1. Yunninen A. V., Evtyukov S. S. *Predlozhenie po sovershenstvovaniyu podkhoda v voprose otsenki bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Proposal for improving the approach to road safety assessment]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2024, no. 3–3 (86), pp. 28–33.

2. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. *Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Investigation and examination of road accidents]. St. Petersburg, DNK Publ., 2005, 2-nd ed., 288 p.

3. Domke E. R. *Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Investigation and examination of road accidents]. Moscow, Akademiya Publ., 2009, 288 p.

4. Evtyukov S. S. *Metodologiya otsenki i povysheniya effektivnosti dorozhno-transportnykh ekspertiz. Diss.dokt. tekhn. nauk* [Methodology for assessing and improving

the effectiveness of road transport examinations. Dr Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2020, 355 p.

5. Novikov I. A., Lazarev D. A., Kudinov D. V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 21, pp. 42721–42724.

6. Lazarev D. A., Baranov Yu. N. *Povyshenie effektivnosti provedeniya avtotekhnicheskoy ekspertizy na osnove teoreticheskogo podkhoda pri izuchenii protsessa tormozheniya* [Improving the efficiency of auto-technical expertise based on the theoretical approach in the study of the braking process]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2016, no. 4 (55), pp. 82–89.

7. Baranov Y., Bodrov A., Lazarev D. Methods for investigating road accidents. *Transportation Research Procedia*. 2018, pp. 25–32,

8. Novikov I., Degtyar A., Lazarev D., Makhon V. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash. *MATEC Web of Conferences*, 2021, vol. 341, p. 00070.

9. Novikov A. N., Novikov I. A., Lazarev D. A., Makhonin V. L. *Issledovanie slozhnogo peremeshcheniya transportnogo sredstva pri provedenii dorozhno-transportnoy ekspertizy* [Study of complex movement of a vehicle during road transport examination]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2022, no. 3–3 (78), pp. 53–59.

10. Novikov I. A., Novikov A.N., Lazarev D. A., Makhonin V. L. *Issledovanie poteri kursovoy i vertikal'noy ustoychivosti transportnogo sredstva pri provedenii dorozhno-transportnoy ekspertizy* [Study of loss of directional and vertical stability of a vehicle during road transport examination]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2022, no. 3–1 (78), pp. 41–49.

11. *Izmeritel' effektivnosti tormoznykh sistem avtomobilye. Modifikatsii «Effekt-02.01», «Effekt-02». Rukovodstvo k ekspluatatsii. Metodika proverki* [Vehicle brake system efficiency meter. Modifications “Effect-02.01,” “Effect-02.” Operation manual. Test procedure]. Moscow, NPF «Meta», 2011, 23 p.

12. Makhonin V. L. *Sovershenstvovanie dorozhno-transportnoy ekspertizy na osnove issledovaniya nekontroliruemogo peremeshcheniya avtomobilya pri dorozhno-transportnom proissheshtvii. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improvement of road transport expertise based on the study of uncontrolled movement of a car in a traffic accident. PhD in Sci. Tech. diss.]. Orel, 2024, 170 p.

13. Lazarev D. A., Shutov A. I., Kushchenko S. V. *Raschet koeffitsienta treniya zablockirovannogo avtomobil'nogo*

kolesa [Calculation of friction coefficient of locked car wheel]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automotive Industry*, 2010, no. 6, pp. 17–19.

14. Lazarev D. A., Novikov I. A., Borovskoy A. E., Logvinov V. P. *Ustanovka dlya izmereniya koeffitsienta stsepleniya zablockirovannogo avtomobil'nogo kolesa s dorozhnym pokrytiem* [Unit for measurement of adhesion coefficient of locked road wheel]. Patent RF, 2015. no. 158239.

15. Lazarev D. A., Novikov I. A., Borovskoy A. E., Logvinov V. P. *Ustanovka dlya izmereniya koeffitsienta stsepleniya zablockirovannogo avtomobil'nogo kolesa s dorozhnym pokrytiem* [Unit for measurement of adhesion coefficient of locked road wheel]. Patent RF, 2016, no. 159197.

16. Makhonin V. L., Novikov A. N., Novikov I. A., Lazarev D. A., et al. *Ustanovka dlya izmereniya koeffitsienta stsepleniya pri slozhnom dvizhenii zablockirovannogo avtomobil'nogo kolesa s dorozhnym pokrytiem* [Unit for measurement of adhesion coefficient at complex movement of locked road wheel]. Patent RF, 2021, no. 210446,

17. Makhonin V. L., Dorokhin S. V., Lazarev D. A., et al. *Ustanovka dlya izmereniya koeffitsienta stsepleniya pri slozhnom dvizhenii zablockirovannogo avtomobil'nogo kolesa s dorozhnym pokrytiem* [Unit for measurement of

adhesion coefficient at complex movement of locked road wheel]. Patent RF, 2023, no. 217339.

18. Novikov I. A., Degtyar A. N., Lazarev D. A., Zagorodniy N. A., Makhoni V. L. A new approach to the study of complex vehicle movement during road transport expertise. *E3S Web of Conferences*, 371, 04008 (2023). Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337104008/>

19. Suvorov Yu. B. *Sudebnaya dorozhno-transportnaya ekspertiza. Sudebno-ekspertnaya otsenka deystviy voditeley i drugikh lits, otvetstvennykh za obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, na uchastkakh DTP* [Forensic road transport examination. Forensic assessment of the actions of drivers and other persons responsible for ensuring road safety at road accident sites]. Moscow, Exam Publishing House, Law and Law Publishing House, 2003, 208 p.

20. Grigoryan V. G., Grigoryan A. V. *Primenenie v ekspertnoy praktike parametrov tormozheniya avtotransportnykh sredstv. Metodicheskie rekomendatsii dlya ekspertov* [Application of vehicle braking parameters in expert practice. Methodological recommendations for experts]. Moscow, RFTsSE, 2021, 40 p.