

Научная статья

УДК 625.712

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-650-669>

EDN: JICWGS



КЛАССИФИКАЦИЯ УЧАСТКОВ ДОРОГ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ К ОБРАЗОВАНИЮ КОЛЕИ ИЗНОСА

А. С. Александров, Т. В. Семенова*, Д. Ю. Раскошный*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)**г. Омск, Россия**aleksandrov00@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2009-5361>**sibadisemenova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1921-8531>**denis1999-09@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-3443-1025>***ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. Интенсификация автомобилизации населения России привела к существенному увеличению количества легковых автомобилей, которые во многих регионах снабжаются шипованными шинами на зимний период. Это обстоятельство привело к масштабному появлению определенного вида колеи, обусловленных износом асфальтобетонного покрытия от действия шипованных шин и абразивных материалов, применяемых для борьбы с зимней скользкостью. Колея, образующаяся на поверхности дорожных покрытий, имеет комплексный характер и включает в себя три вида колеи: структурную, колею сдвига и колею износа. Вклад каждого вида колеи в общую глубину комплексной колеи различен и зависит от характеристик транспортных нагрузок, свойств материала покрытия и погодноклиматических факторов.

Материалы и методы. Колея износа образуется в зимний период от воздействия шипованных шин, а на ее глубину влияет множество факторов: режим и интенсивность движения автомобилей с шипованными шинами, тип шипов, их количество на шине, величина выступа рабочей вставки шипа, свойства асфальтобетонного покрытия, погодноклиматические факторы, а также мероприятия зимнего содержания дорог. На кривых малого радиуса, участках торможения или разгона, а также участках с обычным режимом движения автомобилей, горизонтальные нагрузки от шипованной шины различны. Это объясняется возникновением различных видов трения, а также зависимостью коэффициента сцепления шины с покрытием от скорости движения, которая на участках торможения и разгона является переменной. Вследствие этого на определенных участках вклад износа в глубину комплексной колеи больше, чем на участках с другим режимом движения. В статье проведено исследование по определению подверженности участков дорог с различным режимом движения к образованию колеи износа. Разработана методика вычисления различных составляющих комплексной колеи, обусловленных уплотнением и износом асфальтобетона покрытия, а также деформаций нижележащих слоев дорожной одежды и земляного полотна.

Результат. На основе данных экспериментов, выполненных на дорогах г. Омска, предложена классификация участков по степени опасности к образованию колеи износа, подразделяющая участки городских дорог на сильноизнашиваемые, изнашиваемые и слабоизнашиваемые. На основе анализа данных диагностики дорог, выполненных за последние пять лет, определены ориентировочные сроки службы покрытий до момента образования колеи глубиной 30 мм.

Обсуждение и заключение. Изложены представления авторов о влиянии трения и скорости движения на процесс колееобразования, обусловленного износом. Показано соответствие экспериментальных данных, полученных авторами статьи, с данными коллег, выполнявшими подобные исследования в России и за рубежом. Разъяснены уточнения, введенные авторами в общепринятые представления об износе асфальтобетонного покрытия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колея, дорожное покрытие, износ дорожного покрытия, покрытие из асфальтобетона, классификация, шипованная шина

Статья поступила в редакцию 02.10.2023; одобрена после рецензирования 23.10.2023; принята к публикации 24.10.2023.

© Александров А. С., Семенова Т. В., Раскошный Д. Ю., 2023



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Александров А.С., Семенова Т.В., Раскошный Д.Ю. Классификация участков дорог по степени опасности к образованию колеи износа // Вестник СиБАДИ. 2023. Т. 20, № 5 (93). С. 650-669. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-650-669>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-650-669>

EDN: JICWGS

CLASSIFICATION OF ROAD SECTIONS ACCORDING TO THE DEGREE OF DANGEROUS TO THE FORMATION OF A WEAR TRACK

Anatoly S. Aleksandrov, Tatiana V. Semenova*, Denis Y. Raskoshny

Siberian State Automobile and Road University (SibADI)

Omsk, Russia

aleksandrov00@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2009-5361>

sibadisemenova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1921-8531>

denis1999-09@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-3443-1025>

**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. The intensification of the motorization of the Russian population has led to a significant increase in the number of passenger cars, which in many regions are supplied with studded tires for the winter period. This circumstance led to the large-scale appearance of a certain type of ruts caused by the wear of asphalt concrete pavement from the action of studded tires and abrasive materials used to combat winter slipperiness. The track formed on the surface of road surfaces has a complex character and includes three types of tracks: structural, shear track and wear track. The contribution of each type of track to the total depth of the complex track is different and depends on the characteristics of transport loads, the properties of the coating material, and weather and climatic factors.

Materials and methods. The wear track is formed in winter from the impact of studded tires, and its depth is affected by many factors: the mode and intensity of movement of cars with studded tires, the type of spikes, their number on the tire, the size of the protrusion of the working insert of the spike, the properties of asphalt concrete pavement, weather and climatic factors, as well as winter road maintenance measures. On curves of a small radius, braking or acceleration sections, as well as sections with a normal mode of movement of cars, the horizontal loads from the studded tire are different. This is due to the occurrence of various types of friction, as well as the dependence of the coefficient of adhesion of the coated tire on the speed of movement, which is variable in the braking and acceleration sections. As a result, in certain areas, the contribution of wear to the depth of the complex track is greater than in areas with a different driving mode. In the article, a study was conducted to determine the susceptibility of road sections with different traffic modes to the formation of wear ruts. A method has been developed for calculating various components of the complex trackage caused by compaction and wear of the asphalt concrete coating, as well as deformations of the underlying layers of the pavement and the roadbed.

Result. Based on the data of experiments carried out on the roads of Omsk, a classification of sections according to the degree of danger to the formation of a wear track is proposed, dividing sections of urban roads into heavily worn, worn and weakly worn. Based on the analysis of data from road diagnostics performed over the past five years, the approximate service life of the coatings until the formation of a 30 mm deep track has been determined.

Discussion and conclusion. The authors' ideas about the influence of friction and the speed of movement on the process of track formation caused by wear are presented. The correspondence of the experimental data obtained by the authors of the article with the data of colleagues who performed similar studies in Russia and abroad is shown. Clarifications introduced by the authors into the generally accepted ideas about asphalt wear are explained.

© Aleksandrov A. S., Semenova T. V., Raskoshny D. Y., 2023



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

KEYWORDS: *track, road surface, road surface wear, asphalt pavement, classification, studded tire*

The article was submitted 02.10.2023; approved after reviewing 23.10.2023; accepted for publication 24.10.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Anatoly S. Aleksandrov, Tatiana V. Semenova, Denis Y. Raskoshny Classification of road sections according to the degree of danger to the formation of a wear track. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (5): 650-669. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-650-669>

ВВЕДЕНИЕ

Колеи, формирующиеся на поверхности дорожных покрытий, являются одним из наиболее распространенных дефектов дорожных одежд нежесткого типа, оказывающим негативное влияние на потребительские свойства автомобильной дороги, прежде всего, безопасность движения. В колею скапливается дождевая вода, вследствие чего происходит уменьшение коэффициента сцепления шины с покрытием [1, 2]. Водители, совершая маневр обгона, выезжают из колеи, а затем возвращаются в нее. В моменты выезда и въезда колеса в колею происходит динамическое воздействие шины с покрытием, результатом которого является появление динамических усилий, зависящих как от глубины колеи, так и скорости движения [3, 4, 5, 6, 7]. Динамическое взаимодействие колеи и колеса автомобиля негативно влияет на состояние ходовой части автомобиля и способствует повышению напряженно-деформированного состояния покрытия дороги. В результате межремонтные сроки дорожного покрытия и ходовой части автомобиля уменьшаются.

В настоящее время известны результаты многочисленных экспериментальных работ, выполненных на эксплуатируемых дорогах и испытательных стендах, благодаря которым удалось произвести классификацию колеи по основной причине их образования [1, 8, 9, 10, 11]. В результате установлено, что колея является комплексным процессом, обусловленным влиянием различных видов деформаций. На рисунке 1 приведены основные типы колеи, образующиеся на асфальтобетонном покрытии [12].

Рассматривая причины образования колеи, показанных на рисунке 1, отметим, что они имеют как общие черты, так и отличия. Структурная колея, показанная на рисунке 1, а, образуется в результате остаточных деформаций, накапливаемых во всех слоях дорожной одежды и грунте земляного полотна [1, 11, 12]. В процессе накопления остаточ-

ных деформаций возникают как деформации уплотнения, обусловленные, прежде всего, шаровой компонентой тензора напряжений, так и деформации сдвига, величина которых зависит от значения девиатора напряжений. Поэтому основной причиной образования структурной колеи на асфальтобетонных покрытиях считают деформации уплотнения материалов или их комбинацию с деформациями сдвига [13, 14, 15], причем в данном типе колеи деформации сдвига относительно небольшие. Кроме того, щебеночные материалы подвержены измельчению, приводящему к изменению зернового состава с последующей переупаковкой частиц. В дорожных одеждах с усовершенствованным асфальтобетонным покрытием деформации, связанные с уплотнением материала и изменением гранулометрического состава зернистых материалов, в основном происходят в слоях основания и земляном полотне. Поэтому структурная колея является глубинной. Структурная колея формируется на дорогах всех регионов РФ.

Колея сдвига формируется быстро, она является следствием превышения девиатором напряжений предельного сопротивления сдвигу материала слоя. Такие колеи глубокие, они, как правило, сопровождаются боковыми выпорами. Но в правильно запроектированных дорожных одеждах появление колеи сдвига связывают либо с высокой температурой нагрева асфальтобетона, либо с повышенной дозировкой битумного вяжущего [6, 16, 17]. Таким образом, сдвиговая колея на асфальтобетонном покрытии является следствием брака, допущенного либо при содержании дороги (несвоевременно принятых мерах по снижению температуры покрытия, например, несвоевременный полив нагретого покрытия холодной водой), либо при приготовлении асфальтобетонной смеси (избыток вяжущего сверх рецептурного количества). Колея сдвига в основном характерна для южных регионов России.

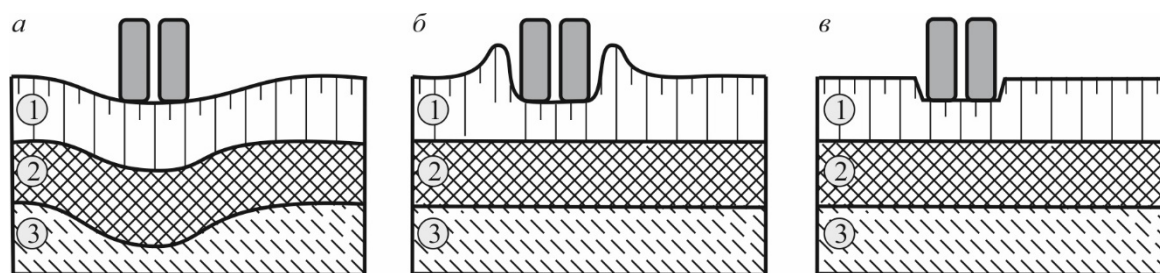


Рисунок 1 – Колеи на асфальтобетонном покрытии [12]:
а – структурная колея; б – колея сдвига; в – колея износа;
1 – асфальтобетонные слои; 2 – слои основания; 3 – рабочий слой земляного полотна

Figure 1 – Rut on asphalt concrete pavement [12]:
a) structural rut; б) shear rut; в) wear rut;
1 – asphalt concrete layers; 2 – base layers; 3 – working layer of the roadbed.

Третий тип колееобразования связан с износом асфальтобетонных покрытий. В настоящее время такой тип колеевности превратился в бич для дорог и улиц городов России, расположенных в районах с продолжительным зимним периодом [1, 8, 18, 19]. В течение зимнего периода водители снабжают легковые автомобили шипованными шинами, а дорожные службы в целях борьбы с зимней скользкостью используют пескосоляные смеси. Действие шипов является главной причиной износа асфальтобетонного покрытия, но величина износа зависит от режима, скорости и интенсивности движения автомобилей на шипованных шинах, величины, выступающей из покрышки, части шипа, количества шипов на покрышке и т.д. Пескосоляные смеси, применяемые при борьбе с зимней скользкостью, содержат песок, который после таяния снежно-ледяных отложений работает как абразив, способствуя интенсификации износа асфальтобетона.

Экспериментальные работы по исследованию причин образования и интенсивности развития колеи износа начаты в 60–70-х годах прошлого века, они проведены за рубежом [20, 21, 22]. Необходимость этих исследований была продиктована введением в эксплуатацию шипованных шин. По данным работы J.H Keyser [21], использование шипованных шин в Швеции начато в 1959 г., а через 2-3 года некоторые участки дорог были настолько изношены, что на дне колеи наблюдали поверхность материала нижележащего слоя, подстилающего верхний слой покрытия. В работе [21] J.H Keyser сообщает, что износ на автомагистралях с интенсивным движением колеблется от $\frac{1}{4}$ до $\frac{3}{4}$ дюйма. Такое катастро-

фическое положение привело к тому, что подрядчики и дорожные строители перестали гарантировать срок службы покрытий в течение периода, превышающего 2 года. Отсюда следует, что интенсивное движение на городских магистральных улицах существенно влияет на износ покрытия, тем самым уменьшая его срок службы.

В то время за рубежом уровень автомобилизации населения был высок, а доля легковых автомобилей с шипованными шинами составляла до 80% [20, 21]. В нашей стране (бывшем СССР) надобности в таких исследованиях не было, вследствие того что в 1970 г. среднее по стране количество легковых автомобилей составляло 5,1 ед. на 1000 чел. населения, а значительная часть территории государства находилась в районах РСФСР и союзных республиках с теплым климатом. В современной России уровень автомобилизации населения значительно возрос и, по данным Роскомстата, в 2022 г. в среднем по стране составил 326,9 легковых автомобилей на 1000 чел. Поэтому начало российских исследований колеи износа приходится на 21 век, а интенсификация экспериментов датируется прошлым и настоящим десятилетием [1, 8, 18, 19]. В связи с этим в основе обзора используем литературу различной датировки, тем самым отдавая дань уважения труду пионеров [20, 21, 22] и их последователей.

В практике исследования процесса износа асфальтобетонного покрытия эксперименты выполняются как в лаборатории на малых кольцевых стендах, так и на эксплуатируемых дорогах, а также на специально построенных опытных участках, подобных петлевому

натурному стенду ассоциации AASHTO¹. На этом петлевым стенде AASHTO J.E. Burke и L.J. McKenzie выполнили эксперименты [20] по изучению влияния режимов движения на начальный, наиболее интенсивный, этап износа асфальтобетонного и цементобетонного покрытия. В своих экспериментах авторы работы [20] исследовали влияние на износ покрытий движения как с постоянной небольшой скоростью, так и с переменной, характеризующейся положительным и отрицательным ускорением.

На рисунке 2 приведены иллюстрации изменения асфальтобетонной поверхности по мере увеличения числа воздействий шипованной шины автомобиля Chevrolet при различных режимах движения.

В результате экспериментов авторы работы [20] пришли к выводу, что наиболее опасными для износа покрытий являются режимы торможения и старта с места, особенно в тех случаях, когда водитель предпринимает меры к экстренной аварийной остановке или быстрому старту с места, то есть, как говорят, педаль тормоза или акселератора «в пол». Наименее опасным режимом движения является постоянная скорость, в данном эксперименте она была невелика и составляла 40,2 км/ч. Результаты испытаний, выполненные на эксплуатируемых дорогах [9, 23], подтверждают этот вывод. Коллектив авторов в работе [9] сообщает, что скорость движения оказывает существенное влияние на износ асфальтобетонного покрытия, но высокая интенсивность изнашивания присуща движению с большими линейными скоростями 110 км/ч и выше, а при скорости 90 км/ч интенсивность износа в 2 раза уменьшается. Это можно объяснить возникновением больших динамических усилий от шипованной шины, вращающейся на колесе с высокой угловой скоростью, которая приводит к увеличению скорости в точке соударения тел (шипа и покрытия). Аналогичный вывод сделан авторами работы [18], указавшими, что на крайних левых полосах движения Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД), на которых происходит интенсивное движение легковых автомобилей со средней скоростью 120 км/ч, колея образуется раньше, чем на других полосах движения.

Результаты экспериментов, выполненные специалистами МАДИ на универсальном комплексе для испытания дорожных одежд

КУИДМ-2 [8], показали, что при движении шипованной шины со скоростью 80 км/ч износ покрытия из щебеночно мастичного асфальтобетона ЩМА-20 значительно больше (в 2 и более раза), по сравнению с его износом от стандартной шины. Тем не менее отметим, что комплекс КУИДМ-2 является кольцевым стендом, имитирующим движение по окружности диаметром 30 м, что отличает условия движения имитатора от реальных условий движения легкового транспорта.

Отличие условий движения имитаторов по кольцевым стендам от условий движения транспорта по дорогам побудило исследователей выполнять эксперименты на эксплуатируемых участках. Такие эксперименты проведены в работах [1, 18, 19]. В работе [19] выполнено исследование образования колеи износа на криволинейных участках дорог г. Самары. В этой работе интересна фиксация колеи износа на кривой малого радиуса. Интерес обусловлен тем, что колея сосредоточена криволинейного участка, а до начала и после кривой колеи нет. Аналогичные данные получены нами в работе [1]. Отсюда следует, что кривые малого радиуса создают наиболее опасные условия движения для образования колеи износа. Это уточняет данные работ зарубежных специалистов [20], в которых наиболее опасным режимом движения считается торможение и набора скорости.

Эксперименты по определению износа асфальтобетонных покрытий, выполненные на различных участках дорог с разными режимами движения, привели к выводу, что режим движения обуславливает контактное взаимодействие шипа с дорожным покрытием, а значит, и величину износа. Тем не менее авторы работы [21] пришли к выводу, что данные о степени опасности различных режимов движения автомобилей с шипованными шинами к образованию и развитию колеи износа могут быть не точными, а подчас противоречивыми. В подтверждении этого вывода в работе [21] приводятся данные разных исследований, в которых сравниваются глубины колеи износа на участках замедления и набора скорости.

При этом в одних работах установлено, что глубина колеи износа на участках торможения всегда больше, чем на участках разгона.

¹ AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials (Американская ассоциация государственных автомобильных дорог и транспорта).

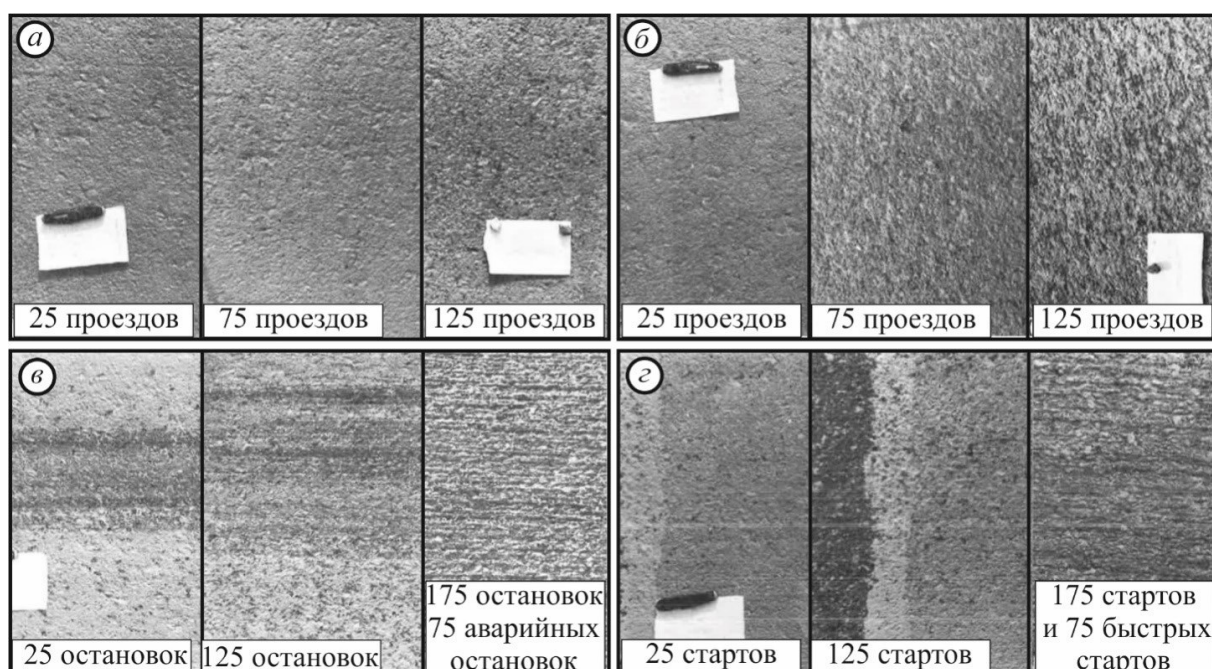


Рисунок 2 – Изменение поверхности асфальтобетонного покрытия в процессе увеличения числа воздействий шипованной шины при различных режимах движения [20]:
а – постоянная скорость 25 миль/ч (40,2 км/ч); б – движение по кривой;
в – остановки в обычном режиме и аварийные остановки; г – старты с места обычные и быстрые

Figure 2 – Changes in the surface of the asphalt concrete pavement in the process of increasing the number of impacts of the studded tire under different driving modes [20]:
a) constant speed of 25 mph (40,2 km/h); б) movement along the curve;
в) stops in the reverse mode and emergency stops; г) shift starts are normal and fast.

Однако при более детальном изучении материалов экспериментальных работ выяснилось, что режим движения на участках разгона характеризовался положительным ускорением 1,5–3,0 м/с, а отрицательное ускорение на участках торможения составляло 3,0–4,6 м/с. В этом случае действие шипов на участке торможения было более агрессивным. В других работах выводы были противоположные, в них более опасным режимом движения считался участок разгона.

Отсюда следует, что глубина колеи износа в пределах участков торможения и разгона зависит от стиля вождения автомобиля, присутствующего пользователям отдельно взятой дороги. На одних дорогах водители плавно набирают скорость, а тормозят более резко. В этом случае участок торможения изнашивается раньше участка разгона. На других дорогах, наоборот, водители постепенно сбрасывают скорость, а стартуют с места более резко. В этом случае износ на участке разгона больше, чем на участке торможения. Это свидетельствует о необходимости изучения процесса изнашивания покрытий в каждом городе и поселении, что позволит учесть специфику вождения ав-

томобилей населением этого района города или поселка.

Учитывая результаты работ предшественников, целью настоящей работы является разработка классификации участков дорог с асфальтобетонным покрытием по степени опасности к формированию колеи износа. При этом необходимо решить следующие задачи:

- разработать методику определения величины износа асфальтобетонного покрытия, позволяющую отделить глубину колеи, обусловленную этим процессом, от глубины колеи, возникновение которой обусловлено уплотнением асфальтобетона и деформированием нижележащих слоев дорожной одежды и земляного полотна;

- на основе решения первой задачи дать рекомендации по выделению в пределах диагностируемого участка дороги под участки, в пределах которых износ покрытия является преобладающей причиной образования колеи;

- произвести классификацию участков дорог с различными режимами движения, но при скоростях характерных для городских дорог (не более 80 км/ч), по степени опасности к формированию колеи износа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Определение участков сосредоточения колеи износа выполняется на основе результатов диагностики автомобильной дороги и детальных обследований, выделенных участков. В первую очередь по данным измерений глубины колеи необходимо выделить участки, в пределах которых глубина колеи наибольшая. Для этого в камеральных условиях анализируют ведомость измерений, находя в

ней участки, в пределах которых глубина колеи возрастает, достигая максимума, а затем уменьшается, приобретая значения, характерные для основного протяжения дороги. Рассмотрим данные таблицы 1, в которой приведены глубины колеи, измеренные на покрытии толщиной 5 см из ЩМА 16 магистральной улицы общегородского значения Красный Путь г. Омск на участке подходов к пересечению с улицы Кемеровская.

Таблица 1
Ведомость измерения глубины колеи в прямом направлении движения на покрытии магистральной улицы Красный Путь на участке подхода к пересечению с улицы Кемеровская
Источник: составлено авторами.

Table 1
The statement of measuring the depth of the track in the forward direction of movement along the highway «Red Way» on the site of the approach to the intersection with the street «Kemerovskaya»
Source: compiled by the authors.

Расстояние до пересечения, м	Глубина колеи по полосам движения в прямом направлении, мм							
	Полоса 1 (левая)		Полоса 2		Полоса 3		Полоса 4 (правая)	
	внутренняя	внешняя	внутренняя	внешняя	внутренняя	внешняя	внутренняя	внешняя
200	18	18	22	23	11	10	10	10
180	19	20	23	23	12	12	9	10
160	22	22	25	24	11	11	9	9
140	26	27	28	28	11	12	10	9
120	30	30	32	31	12	11	9	10
100	34	33	35	36	14	14	9	9
80	40	40	42	42	20	21	9	10
60	46	45	50	51	24	25	14	15
40	53	51	58	58	31	30	20	20
20	48	47	53	54	33	32	26	25
10	44	42	48	50	28	29	28	29
0	38	36	42	44	23	22	30	31
-10	36	35	42	42	21	21	25*	26*
-20	34	32	40	39	19	18	20*	19*
-40	28	27	32	31	12	10	16*	15*
-60	21	20	23	24	11	11	7*	8*
-80	15	15	17	18	10	11	7*	7*
-100	14	14	17	16	10	9	6*	7*
-120	15	14	16	17	9	9	-	-
-140	13	15	18	18	9	9	-	-
-160	14	14	18	17	9	10	-	-
-180	15	15	16	16	10	10	-	-
-200	18	18	22	23	11	10	10	10

Примечание: 1. Положительные значения расстояний соответствуют участкам торможения транспортных средств, расположенных перед стоп-линией (участок 200–20 м), а также участкам стартов с места (участок 20–0 м); 2. Отрицательные значения расстояний соответствуют участкам набора скорости (участок от 0 м до -80 м) и участкам движения с постоянной скоростью (участок от -80 м до -200 м); 3. Глубины колеи, с верхним индексом «*» измерены по ул. Кемеровская по ходу движения транспорта, совершившего маневр правого поворота; 4. Внешней и внутренней колеи названы колеи, образовавшиеся от колес по внешнему и внутреннему бортам транспортных средств.

Таблица 2
Интенсивность движения легковых автомобилей
по полосам движения магистральной улицы Красный Путь
Источник: составлено авторами.

Table 2
The intensity of passenger car traffic along the lanes of the main street «Red Way»
Source: compiled by the authors.

Направление движения	Интенсивность движения легковых автомобилей по полосам движения, авт./сут			
	Полоса 1 (левая)	Полоса 2	Полоса 3	Полоса 4 (правая)
Прямое в направлении к ул. Кемеровская	9280	10230	7940	1460
Обратное в направлении от ул. Кемеровская	8990	10040	7550	890

Примечание: в таблице приведены математические ожидания интенсивности движения, принятые с точностью до 10 авт./сут, по результатам статистической обработки выборок из 62 наблюдений.

В таблице 1 обычным шрифтом выделены глубины колеи, образовавшихся на участках с постоянной скоростью движения. На таких участках глубина колеи имеет наименьшие практически не изменяющиеся значения. На участках торможения, расположенных в пределах подходов к местам остановки транспортных средств, глубина колеи увеличивается, достигая максимальных значений в пределах участка остановки автомобилей, совершаемой в целях ожидания разрешающего сигнала светофора. За участком остановки следует участок набора скорости, на котором глубина колеи уменьшается до значений, соответствующих участкам движения с постоянной наибольшей скоростью. В пределах указанных участков торможения, остановки и разгона глубина колеи больше, чем на участке движения с постоянной скоростью. Значения глубин колеи, образовавшихся на таких участках, в таблице 1 выделены подчеркиванием. Магистральная ул. Красный Путь в пределах пересечения с улицей Кемеровская имеет четыре полосы движения, из которых крайняя правая полоса предназначена для поворота «направо», а другие полосы предназначены для движения «прямо». Интенсивность движения на полосах различная, на крайней правой полосе она минимальная, а на второй от оси дороги полосе движения интенсивность наибольшая. Движение легковых автомобилей, осуществляющих поездку, прямо сконцентрировано на первой и второй полосе от оси магистрали, а на третьей полосе преимущественно движется общественный и грузовой транспорт, а также наименьшая часть легковых автомобилей, выполняющих маневр «перестроения», или готовящихся к такому маневру. В таблице 2 приведена интенсивность движения легковых автомобилей по полосам

движения магистральной улицы общегородского значения Красный Путь.

Влияние интенсивности движения легковых автомобилей на глубину колеи прослеживается из таблицы 1. На первых двух от оси дороги полосах движения глубина колеи и ее протяженность больше, чем на двух других. Для более подробного пояснения сказанного, на рисунке 3 представлена иллюстрация перекрестка с обозначенными режимами движения транспорта.

Из анализа данных таблицы 1 следует, что глубина колеи на участках с постоянной скоростью движения составляет 14–15 мм и 16–18 мм на двух первых от оси дороги полосах движения, 9–10 мм на других полосах движения. На участках торможения, остановки и набора скорости глубина колеи возрастает, достигая значений в три раза превышающих глубины колеи на основном протяжении магистрали. Значит, на этих участках появился дополнительный фактор, влияющий на увеличение глубины колеи. Поэтому такие участки дороги следует принять к детальному обследованию, на основе которого необходимо определить глубину колеи, обусловленную износом покрытия, тем самым отделив ее от глубины колеи, сформированной по другим причинам.

При детальном обследовании на участках с глубокой колеей необходимо выделить поперечники, из которых в последствии будут отобраны пробы. В пределах каждого поперечника измеряют глубину колеи и отбирают как минимум две пробы асфальтобетона. Одну пробу берут из точки отбора, расположенной на дне колеи, а второй образец отбирают между колеи, ровно посередине между внешней и внутренней колеей.

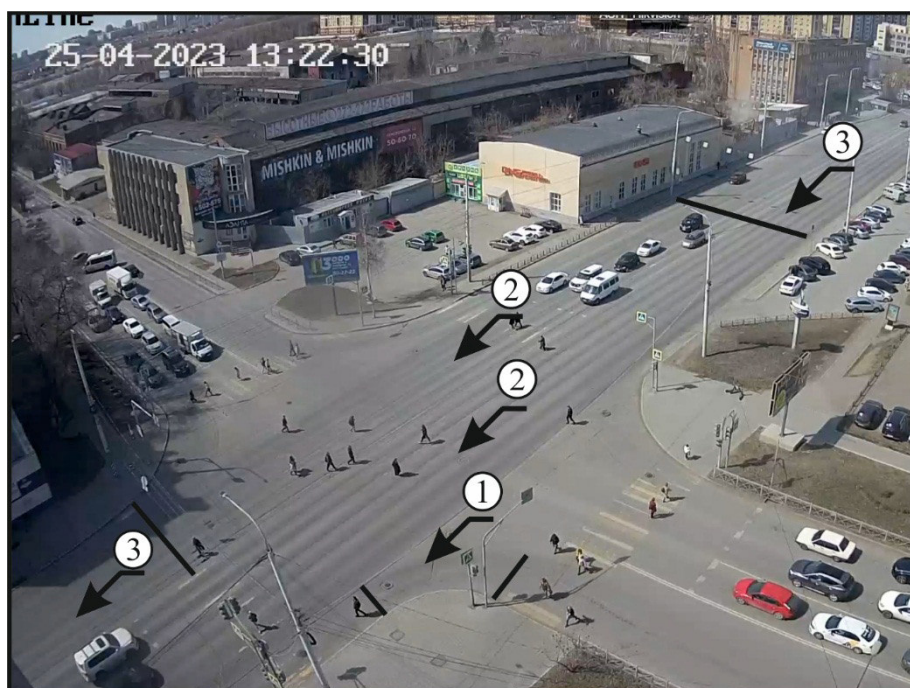


Рисунок 3 – Иллюстрация перекрестка магистральных улиц Красный Путь и Кемеровская:
1 – участок поворота автомобилей по кривой малого радиуса; 2 – участки торможения, остановки автомобиля с последующим стартом с места и набором скорости до 20 км/ч;
3 – участок разгона от 20 до 60 (80) км/ч
Источник: составлено авторами.

Figure3 – Illustration of the intersection of main streets «Red Way» and «Kemerovskaya»:
1 – a section of turning cars along a small radius curve; 2 – sections of braking, stopping the car, followed by starting from the spot and gaining speed up to 20 km/h;
3 – acceleration section from 20 to 60 (80) km/h
Source: compiled by the authors.

Второй образец нужен для сравнения, он является эталоном, вследствие того, что по сечению расположенному между колеи проезжает малое количество автомобилей. Иллюстрации работ, выполняемых при детальном обследовании колеи износа приведены на рисунке 4.

Детальное обследование начинают с определения поперечного сечения дороги, из которого необходимо отобрать образцы асфальтобетона. Для этого выполняют измерение глубин внешней и внутренней колеи, принимая за расчетное значение RD наибольшую величину. На участках с колеей малой протяженности, например, формирующихся на кривой малого радиуса, выбирают один поперечник с максимальной глубиной внутренней или внешней колеи RD . На участках с большой протяженностью колеи можно назначить несколько расчетных поперечников, разместив их в створах, в которых глубина колеи отличается от предыдущего створа на 5–10%. Иллю-

страция выполненного нами измерения глубины колеи, имеющей протяженность 30,2 м на пересечении улиц 1-я Чередовая и Невского, показана на рисунке 4, а. Измерениями установлено, что наибольшее значение глубины имеет внутренняя колея в поперечном профиле по ул. 1-я Чередовая, расположенном на расстоянии 4,58 м от точки пересечения осей. Через установленную точку разбивают поперечный профиль. После этого измеряют ширину колеи, сопоставляя ее значение с размерами шин, применяемым на легковом и грузопассажирском транспорте. Такое сравнение полезно для предварительного вывода о вкладе износа в общую глубину колеи. В тех случаях, когда ширина колеи приблизительно равна ширине беговой дорожки шины легкового транспорта, можно полагать, что вклад износа в глубину колеи достаточно велик. Помимо измерения ширины колеи необходимо установить наличие боковых выпоров, которые располагаются вдоль колеи.



Рисунок 4 – Иллюстрация работ при детальном обследовании износа:

- а – измерение глубины колеи под 2-метровой рейкой;
 б – высверливание кернов со дна внутренней колеи; в – отбор кернов из колеи и между колеи;
 г – иллюстрации различий поверхностей кернов, взятых из колеи и между колеи

Источник: составлено авторами.

Figure4 – Illustration of the work during a detailed inspection of wear:

- a) measurement of the depth of the track under a 2-meter rail; б) drilling of cores from the bottom of the inner track;
 в) selection of cores from the track and between the tracks;
 г) illustrations of the differences between the surfaces of cores taken from the track and between the track

Source: compiled by the authors.

Если выпоров нет, то это свидетельствует об отсутствии деформаций сдвига как в асфальтобетоне, так и в слоях основания, и земляном полотне. Это значит, что возникновение комплексной колеи обусловлено структурной колеиностью и колеей износа. В данном случае необходимо определить вклад структурной колеиности и колеи износа в общую глубину колеи, измеренную в данной точке расчетного поперечного профиля.

При обнаружении боковых выпоров целесообразно установить их ширину и пологость. Результаты такой оценки позволят сделать ориентировочное предположение о глубине

залегания зоны сдвига. Чем шире боковой выпор и больше пологость его вершины, тем глубже расположена линия скольжения, по которой произошел сдвиг. Такой сдвиг может произойти как в слое основания дорожной одежды из зернистого материала (встречается чаще), так и в подстилающем грунте земляного полотна (встречается реже). Узкие боковые выпоры говорят о сдвиге в асфальтобетонном покрытии и основании. Для наглядности наших рассуждений приведены на рисунке 5 иллюстрации деформированных слоев дорожной одежды, сфотографированные из траншей, открытых перпендикулярно оси дороги [1, 24].

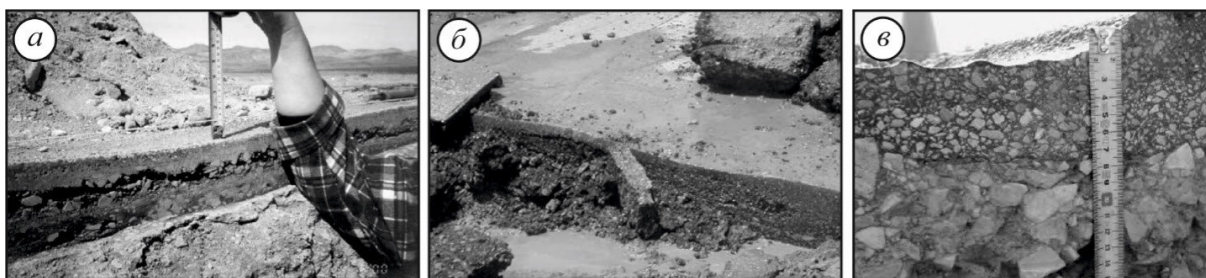


Рисунок 5 – Иллюстрация поперечных профилей колеи [1, 24]:
 а – колея без бокового выпора, обусловленная деформированием слоев основания и земляного полотна; б – колея с широким пологим выпором, обусловленная сдвигом по зернистому материалу основания;
 в – колея с узким выпором, обусловленная сдвигом асфальтобетона в верхнем и нижнем слое покрытия

Figure 5 – Illustration of the transverse profiles of the tracks [1, 24]:
 a) track without lateral bulge, due to deformation of the layers of the base and the roadbed; б) track with a wide gentle bulge, due to a shift in the granular material of the base;
 в) track with a narrow bulge, due to the shift of asphalt concrete in the upper and lower layer of the coating.

Определение наличия деформации сдвига и местоположения линии скольжения является важным элементом предлагаемой нами методики определения вклада разных видов деформаций и износа в глубину колеи. Из анализа поперечного профиля колеи, показанной на рисунке 5, а, следует, что боковые выпоры отсутствуют, а наибольшее изменение толщины произошло в слое основания, подстилающем покрытие. На дне колеи толщина асфальтобетонного покрытия несколько меньше, чем в сечении между колеями. Поэтому уменьшение толщины асфальтобетонного покрытия можно определить разностью толщин кернов, взятых в двух разных точках одного и того же поперечника, а именно по оси колеи на ее дне и между колеями. Разность этих толщин определяет часть глубины колеи h_a , образовавшейся из-за износа и уплотнения асфальтобетона в верхнем слое. Вклад в глубину колеи деформаций нижележащих слоев определяется разностью общей глубины колеи, измерения которой показаны на рисунке 4, а, и найденной частью глубины колеи h_a . Таким образом, следуя нашим рассуждениям, для колеи, тип которых показан на рисунке 5, а, нужно из одного поперечника высверливать керны из двух точек, как показано на рисунке 4, б и рисунке 4, в. В целях определения вклада износа в общую глубину колеи основная причина которой состоит в деформации сдвига, произошедшей в основании дорожной одежды или земляном полотне, применяют аналогичную схему отбора образцов из двух точек поперечника. В этом случае определяем вклад износа покрытия в общую глубину колеи, а вклад деформации сдвига в основании или земляном полотне не определяем, но этот вклад учитывается глу-

биной колеи, обусловленной деформациями слоев, подстилающих покрытие. Колея, глубина которой в наибольшей степени обусловлена сдвигом верхнего слоя асфальтобетонного покрытия, требует иного подхода. Такая колея показана на рисунке 5, в. В этом случае в пределах поперечного профиля назначают три точки отбора. Две точки отбора назначаются как в первых двух случаях, то есть на дне колеи и между колеями. Третья точка принимается в этом же поперечнике, но в центральной части бокового выпора. По данным испытаний кернов, взятых из этой точки, оценивается вклад сдвига асфальтобетона в покрытие, в общую глубину колеи. Деформации сдвига по асфальтобетону не характерны для дорог г. Омска и Омской области. Такие колеи фиксируются на пунктах весового контроля, для которых характерна статическая нагрузка от тяжелых грузовых автомобилей и автопоездов. Деформации сдвига от таких нагрузок происходят в жару при нагреве покрытия до высоких температур. Появление деформаций сдвига в асфальтобетоне покрытия свидетельствует о необходимости замены материала на более сдвигоустойчивый. Такие деформации характерны для регионов России с теплым климатом, при котором число дней с твердыми атмосферными осадками невелико. Для борьбы с данным типом колеиности разрабатывают составы асфальтобетонной смеси с повышенной сопротивляемостью сдвигу [10]. Глубина колеи, обусловленных сдвигом асфальтобетона, сопровождающихся боковым выпором, велика, вследствие чего они недопустимы и должны быть ликвидированы в кратчайшие сроки. В силу этого обстоятельства вклад деформаций сдвига в глубину колеи нами не рассматривается.

После отбора кернов их очищают, омывая водой, при отсутствии дождя сушат на воздухе, как показано на рисунке 4, г, после чего нумеруют, упаковывают и транспортируют в лабораторию. При строительном контроле оценивают качество асфальтобетона и смеси, определяя показатели, регламентируемые стандартом, соответствующим типу асфальтобетона в обследуемом покрытии (обычно ГОСТ Р 58406.1–2020² или ГОСТ Р 58406.2–2020³, реже ГОСТ 9128–2013⁴). При обследовании колеи такие испытания тоже полезны, но не для определения вклада износа в глубину колеи, а для выявления возможных отклонений показателей свойств асфальтобетона от требований стандарта. Обнаруженные отклонения позволяют констатировать либо плохое качество строительства, либо факт ухудшения показателя в процессе эксплуатации. Например, накопление дефектов в структуре асфальтобетона увеличит водонасыщение, содержание воздушных пустот и одновременно с этим уменьшит коэффициент уплотнения, а также среднюю плотность.

В рассматриваемом нами методе в лаборатории необходимо определить среднюю плотность асфальтобетона в эталонных образцах $\rho_{срз}$, взятых между колеи, и аналогичную характеристику $\rho_{срк}$ образцов, отобранных со дна колеи. Керны, отобранные из этих двух точек, имеют одинаковые диаметры $D_э = D_к$ и радиусы $R_э = R_к$, но разные толщины (высоты) $H_э > H_к$. Причем, разность $H_э - H_к$ измеренных толщин асфальтобетона в кернах, взятых из разных точек, включает в себя сумму износа и деформации уплотнения. Для выделения из этой суммы составляющей, обусловленной уплотнением, используем закон сохранения массы и экспериментально установленные средние плотности $\rho_{срз}$ и $\rho_{срк}$. Используя геометрические характеристики образцов и их средние плотности, можно рассчитать массы эталонного керна и керна, масса которого обусловлена только деформацией уплотнения.

При определении массы эталонного керна $M_э$ будем использовать измеренные геометрические характеристики $R_э$ и $H_э$, а также среднюю плотность $\rho_{срз}$, определенную по данным лабораторных испытаний. В этом случае получим

$$M_э = \rho_{срз} \cdot H_э \cdot \pi \cdot R_э^2. \quad (1)$$

При определении массы керна после уплотнения $M_к$ нужно воспользоваться средней плотностью керна $\rho_{срк}$, взятого со дна колеи, и учитывающей уплотнение асфальтобетона в процессе эксплуатации, радиусом керна $R_к$. В качестве толщины уплотненного асфальтобетона нужно принять некоторую условную величину $H_у$. Эта условная величина характеризует толщину керна, которую бы он имел в условиях уплотнения от плотности величиной $\rho_{срз}$ до плотности величиной $\rho_{срк}$. Таким образом, толщина керна $H_у$ учитывает уплотнение асфальтобетона, а износа в ней нет. Тогда получим

$$M_к = \rho_{срк} \cdot H_у \cdot \pi \cdot R_к^2. \quad (2)$$

Следуя закону сохранения массы $M_э = M_к$, тогда из равенства зависимостей (1) и (2) можно вычислить искомую толщину $H_у$. Выполнив, простые действия, получим

$$H_у = H_э \cdot \frac{\rho_{срз}}{\rho_{срк}}. \quad (3)$$

Деформация уплотнения образца $h_у$, взятого со дна колеи, определяется разностью $H_э$ и $H_у$. Вследствие чего и с учетом зависимости (3) получим

$$h_у = H_э \cdot \left(1 - \frac{\rho_{срз}}{\rho_{срк}} \right). \quad (4)$$

Из анализа зависимости (4) следует, что при $\rho_{срк} > \rho_{срз}$ деформация уплотнения асфальтобетона $h_у$ меньше толщины керна в эта-

² ГОСТ Р 58406.1–2020 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия (с Изменением N 1): утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 мая 2020 г. № 191-ст. М.: Стандартинформ, 2020 // ИС «Техэксперт» / АО «Кодекс». Дата обновления: 11.09.2023.

³ ГОСТ Р 58406.2–2020 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия (с Изменением N 1, с Поправкой): утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 мая 2020 г. № 192-ст. М.: Стандартинформ, 2020 // ИС «Техэксперт» / АО «Кодекс». Дата обновления: 11.09.2023.

⁴ ГОСТ 9128–2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2013 г. № 2309-ст. М.: Стандартинформ, 2014 // ИС «Техэксперт» / АО «Кодекс». Дата обновления: 11.09.2023.

лонной точке H_3 . При $\rho_{\text{срк}} = \rho_{\text{срз}}$ деформация уплотнения керна h_y принимает нулевое значение. По сути, вычисленная по формуле (3) деформация образца h_y , равна глубине колеи обусловленной уплотнением асфальтобетона RD_{ya} . Толщина керна в эталонной точке H_3 равна или практически равна толщине построенного покрытия h_n . Поэтому формулу (4) можно записать в виде

$$RD_{ya} = h_n \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} \right). \quad (5)$$

Глубину колеи, обусловленную износом и уплотнением асфальтобетонного покрытия RD_a , находим разностью толщин кернов, отобранных в эталонной точке и со дна колеи

$$RD_a = H_3 - H_k = h_n - H_k. \quad (6)$$

Найденная по формуле (6) глубина колеи RD_a , при условии отсутствия сдвига в рассматриваемом асфальтобетонном слое является суммой двух составляющих, а именно глубин колеи, обусловленных уплотнением RD_{ya} и износом RD_{ia} асфальтобетона. Поэтому глубина колеи, обусловленная износом асфальтобетона RD_{ia} , вычисляется вычетом из величины RD_a , значения RD_{ya} . То есть искомую глубину колеи находим по формуле

$$\begin{aligned} RD_{ia} &= RD_a - RD_{ya} = \\ &= h_n - H_k - h_n \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Преобразовав формулу (7), получим

$$RD_{ia} = h_n \cdot \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} - H_k. \quad (8)$$

Глубина колеи, обусловленная деформациями слоев, подстилающих покрытие RD_o , определяется разностью общей глубины колеи RD , измерение которой показаны на рисунке 5, а, и обеих глубин колеи, обусловленной уплотнением RD_{ya} и износом RD_{ia} асфальтобетона. В этом случае получим

$$\begin{aligned} RD_o &= RD - h_n \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} \right) - \\ &- \left(h_n \cdot \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} - H_k \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, аналитическими рассуждениями и простыми арифметическими действиями нами получены три основные формулы (5), (8) и (9), сумма которых должна быть равна глубине колеи RD . Иными словами, должно иметь место тождество

$$\begin{aligned} RD &= h_n \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} \right) + \left(h_n \cdot \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} - H_k \right) + \\ &+ \left[RD - h_n \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} \right) - \left(h_n \cdot \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} - H_k \right) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

Раскрыв скобки в зависимости (10), можно убедиться, что имеет место уравнение, содержащее подобные члены, оно имеет вид

$$\begin{aligned} RD &= h_n - h_n \cdot \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} + h_n \cdot \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} - H_k + RD - \\ &- h_n + h_n \cdot \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} - h_n \cdot \frac{\rho_{\text{срз}}}{\rho_{\text{срк}}} + H_k. \end{aligned} \quad (11)$$

Приведя подобные в зависимости (11), получим тождество, свидетельствующее о верности наших рассуждений и арифметических операций, оно имеет вид

$$RD = RD. \quad (12)$$

Полученное тождество (12) указывает на возможности применения нашей методики, выделения глубины колеи износа из общей глубины колеи, образующейся на покрытии, для разработки классификации участков городских дорог по степени опасности к износу. При этом необходимо обсудить случай полного износа верхнего слоя, иллюстрация такого случая приведена на рисунке 4. В случае полного износа верхнего асфальтобетонного слоя глубина колеи, обусловленная износом этого слоя RD_{ia} , равна его толщине, измеряемой по толщине этого слоя в керне, взятом между колеи. Далее все показанные нами лабораторные эксперименты и расчеты применяются к нижнему слою асфальтобетонного покрытия. Величина износа определяется суммой изношенной толщины верхнего слоя и глубины колеи, обусловленной износом нижнего асфальтобетонного слоя.

РЕЗУЛЬТАТ

Представленная методика применена при обследовании 32 участков с колеиностью на дорогах г. Омска. При обработке экспериментальных данных мы использовали полученные нами формулы (5), (8) и (9), по которым вычисляли составляющие глубины колеи, обусловленные износом и деформациями материала покрытия и материалов подстилающих слоев. После расчета указанных составляющих глубины колеи вычислялся вклад каждой составляющей (ΔRD_{ya} , ΔRD_{ua} и ΔRD_o) в глубину колеи (RD) в процентном отношении к ее величине на поверхности. Расчет вклада каждой составляющей выполнен по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta RD_{ya} &= \frac{100 \cdot RD_{ya}}{RD}; \\ \Delta RD_{ua} &= \frac{100 \cdot RD_{ua}}{RD}; \\ \Delta RD_o &= \frac{100 \cdot RD_o}{RD}.\end{aligned}\quad (13)$$

Результаты обработки части данных наших экспериментов приведены в таблице 3.

В таблице 3 нами приведена часть результатов, но в объеме, позволяющем делать выводы о факторах, приводящих к увеличению определенной составляющей, влияющей на глубину колеи. На участках с интенсивным движением пассажирского и грузового транспорта наибольшая часть глубины объясняется деформированием материалов и грунтов в слоях и земляном полотне, подстилающих асфальтобетонное покрытие. Это подтверждают данные, полученные на основе обследования дорог улиц Красный Путь и Интернациональная. В первом случае по третьей от оси дороги полосе осуществляется движение автобусов, троллейбусов и др. тяжелого транспорта и легковых автомобилей. На этой полосе преобладает составляющая, обусловленная деформациями подстилающих слоев. По мере приближения к разметке 1.12 «стоп линия» легковой транспорт перестраивается в эту полосу движения для последующего перестроения в крайнюю правую полосу, с которой разрешен поворот «направо». Маневры перестроения увеличивают долю легковых автомобилей в потоке. Составляющая износа постепенно увеличивается по мере приближения к разметке 1.12 «стоп линия», что объясняется как увеличением количества легковых автомобилей на шипованных шинах, так и их торможением вплоть до полной остановки. По

крайней правой полосе движутся в основном легковые автомобили, совершающие поворот направо на улицу Кемеровская. В центре кривой этого поворота износ составляет 94%, что объясняется малой интенсивностью движения тяжелых нагрузок. На улице Интернациональная местом сосредоточения колеи является остановка общественного транспорта «Главпочтамт», в пределах которой отсутствует заездной карман, остановка автобусов и троллейбусов происходит на крайней правой полосе. Кроме того, непосредственно вблизи остановки находится регулируемое пересечение с улицей Герцена, вследствие чего колея на этом участке обусловлена деформациями нижележащих слоев под действием большого числа статической нагрузки от автобусов и троллейбусов. На остальном протяжении этой полосы движения дороги глубина колеи мала. Вследствие этого деформации уплотнения асфальтобетона тоже малы и приняты с учетом округления до 0 или 1 мм. Поэтому при округлении деформации уплотнения асфальтобетона до 1 мм вклад этой деформации в глубину колеи завышен, а вклад износа соответственно занижен. При округлении деформации уплотнения асфальтобетона до 0 мм, наоборот, вклад уплотнения занижен, а вклад износа завышен.

Следует обратить внимание на участки дорог со смешанным режимом движения транспорта. Такими участками являются места заторов в часы пиковой интенсивности движения. На этих участках обычный режим движения осуществляется с постоянной скоростью (60–80 км/ч). На рисунке 3 такой режим обозначен цифрой 3. Но в часы пиковой интенсивности движения на этих участках, как правило, 2 раза в сутки возникают заторы транспорта «пробки», в которых водители легковых автомобилей многократно останавливаются и трогаются с места. При одинаковой интенсивности движения глубина колеи на таких участках несколько меньше, чем у перекрестков и наземных пешеходных переходов, но значительно больше, по сравнению с участками круглосуточного движения с постоянной скоростью. Длина участков с заторами движения достигает сотен метров, что делает ущерб от износа значительным.

На основе данных наших экспериментов мы разработали классификацию участков дорог по степени опасности к образованию колеи износа в г. Омске, учитывающей режим движения, она приведена в таблице 4.

Таблица 3
Экспериментальные данные о вкладе износа и деформаций в глубину колеи на асфальтобетонном покрытии на дорогах и улицах г. Омска
Источник: составлено авторами.

Table 3
Experimental data on the contribution of wear and deformations to the depth of the track on asphalt concrete pavement on the roads and streets of Omsk
Source: compiled by the authors.

Наименование дороги	Режим движения по рисунку 4	Глубина колеи RD , мм	Вклад составляющих в глубину колеи, %		
			ΔRD_{ya}	ΔRD_{ia}	ΔRD_o
1	2	3	4	5	6
Улица 1-я Чередовая (ремонт выполнен 08.09.2016)	1 (поворот на ул. Невского)	60 (измерена 13.11.2019)	0	83	17
Улица Д. Бедного (ремонт выполнен 08.09.2016)	3 (скорость 60–80 км/ч)	30 (измерена 13.11.2019)	0	3	97
Улица Д. Бедного (ремонт выполнен 08.09.2016)	2 (участок торможения)	39 (измерена 13.11.2019)	5	10	85
	2 (участок остановки)	44 (измерена 13.11.2019)	2	27	71
	2 (разгон до 20 км/ч)	36 (измерена 13.11.2019)	3	17	80
	3 (скорость 20–40 км/ч)	25 (измерена 13.11.2019)	0	16	84
Улица Интернациональная (ремонт выполнен 06.07.2016)	2 (остановка автобусов без кармана)	72 (измерена 10.10.2018)	1	10	89
	3 (скорость 20–40 км/ч)	6 (измерена 10.10.2018)	0	17	83
	3 (скорость 40–60 км/ч)	4 (измерена 10.10.2018)	0	0	100
Улица Красный Путь (первая от оси «крайняя левая» полоса движения, поворот налево запрещен) в пределах пересечения с ул. Кемеровская (ремонт выполнен 06.09.2018)	3 (скорость 60–80 км/ч)	18 (измерена 14.09.2023)	0	39	61
	3 (скорость 40–60 км/ч)	27 (измерена 14.09.2023)	0	44	56
	3 (скорость 20–40 км/ч)	34 (измерена 14.09.2023)	0	59	41
	2 (участок торможения)	46 (измерена 14.09.2023)	0	80	20
	2 (участок остановки)	53 (измерена 14.09.2023)	0	94	6
	2 (разгон до 20 км/ч)	48 (измерена 14.09.2023)	0	79	21
Улица Красный Путь (третья от оси полоса движения,) в пределах пересечения с улицы Кемеровская (ремонт выполнен 06.09.2018)	3 (скорость 40–60 км/ч)	10 (измерена 14.09.2023)	0	20	80
	3 (скорость 20–40 км/ч)	15 (измерена 14.09.2023)	7	20	73
	2 (участок торможения)	20 (измерена 14.09.2023)	5	35	60
	2 (участок остановки)	29 (измерена 14.09.2023)	7	34	59
Улица Красный Путь (четвертая от оси «крайняя правая» полоса движения)	1 (поворот на ул. Кемеровская)	31 (измерена 14.09.2023)	0	94	6

Примечание: границы специфических участков установлены по скорости движения дорожной диагностической лаборатории в свободном режиме движения за лидером (другим автомобилем, произвольно выбранном). В данном случае под свободным режимом понимаются условия, при которых пересечение дорог или дороги с пешеходным переходом преодолеваются за один сигнал светофора, то есть на красный сигнал светофора снизили скорость и остановились, а на зеленый сигнал набрали скорость и проехали пересечение.

Таблица 4

Классификация участков городских дорог по степени опасности к износу с учетом режима движения легковых автомобилей на шипованных шинах

Источник: составлено авторами.

Table 4

Classification of sections of urban roads according to the degree of danger to wear, taking into account the mode of movement of passenger cars on studded tires

Source: compiled by the authors.

Тип участков дорог и улиц	Характеристика участков	Перечень факторов, способствующих износу
1	2	3
Сильноизнашиваемые	Участки городских дорог и улиц, расположенные в пределах разворота и поворота легковых автомобилей	Совместное действие продольного и поперечного трения. Увеличение трения качения за счет уменьшения скорости
	Участки торможения легковых автомобилей, вплоть до их полной остановки с последующим стартом с места, включая участок разгона до 20 км/ч	Трение скольжения, возникающее при блокировке колеса, и возрастающее при уменьшении скорости, а при полной остановке переходящее в трение покоя
	Участки дорог с заторами движения, периодичностью три и более суток в неделю и продолжительность два и более часа в сутки	Трение скольжения и покоя при многократных торможениях и остановках. Трение качения на малых скоростях
Изнашиваемые	Участки разгона и торможения легковых автомобилей со скоростью движения 20–40 км/ч	Трение качения на малых скоростях
	Участки дорог с заторами движения, периодичностью менее трех суток в неделю и продолжительность два и более часа в сутки	Трение скольжения и покоя при многократных торможениях и остановках. Трение качения на малых скоростях
Слабоизнашиваемые	Все остальные участки дорог при скоростях движения не менее 40 и не более 80 км/ч	Действие трения качения, которое уменьшается с повышением скорости движения

Таблица 5

Ориентировочные сроки службы асфальтобетонных покрытий участков дорог и улиц г. Омска до образования колеи износа глубиной 30 мм

Источник: составлено авторами.

Table 5

Approximate service life of asphalt concrete pavement sections of roads and streets of Omsk before the formation of wear ruts with a depth of 30 mm

Source: compiled by the authors.

Интенсивность движения легковых автомобилей по полосе движения, ед./сут	Интервал времени до образования колеи износа глубиной 30 мм на участках городских дорог различной степени опасности к износу, годы		
	Сильноизнашиваемые	Изнашиваемые	Слабоизнашиваемые
10000	1,0–2,2	2,2–3,5	3,5–5,0
5000	2,0–4,5	4,5–7,0	Более 7,0
2000	Более 5,0	Более 7,0	12 и более
1000	Более 7,0	12 и более	12 и более

Примечание:

1. Наименьшие значения сроков службы соответствуют покрытиям из горячего асфальтобетона А16В_т и горячего плотного асфальтобетона типа А на битуме БНД 100/130. Наибольшие значения сроков службы соответствуют покрытиям из ЩМА-20 и ЩМА-16.

2. Сроки службы более 5 лет определены экстраполяцией экспериментальных данных, полученных в рамках диагностик дорог и улиц, выполненных за пять лет.

Классификация, представленная в таблице 4, учитывает влияние условий и скорости движения, что обуславливает величину силы трения и глубину проникновения шипа в покрытие, но в ней не учтено влияние на величину износа числа приложенных нагрузок, зависящего от интенсивности движения легковых автомобилей. Поэтому в дополнении к таблице 4 нами на основе интерполяции данных ежегодных диагностик дорог г. Омска установлены приблизительные сроки службы асфальтобетонных покрытий до образования в нем колеи глубиной 30 мм. Эти данные приведены в таблице 5.

В таблице 5 приведены сроки службы, характеризующие промежуток времени, в течение которого глубина колеи достигает значения 30 мм. Величина этого временного интервала может отличаться от продолжительности времени, которое можно найти по данным таблицы 3, вычисляя разностью дат обследования и выполнения ремонта. Поясняя такую разницу, заострим внимание, что сроки службы (см. таблицу 5) указывают время, по истечении которого глубина колеи достигает значения 30 мм, а по истечении интервалов времени (см. таблицу 3) глубина колеи достигает различных значений, отличающихся от 30 мм.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматривая влияние скорости движения на глубину проникновения шипа в покрытие, отметим, что, по нашему мнению, это влияние не однозначно. В настоящее время установлена верхняя граница скорости движения, при которой износ считается незначительным, она находится в пределах 80–100 км/ч. При более высоких скоростях вращение шины приводит к увеличению силового действия твердосплавной вставки шипа на покрытие, в результате чего износ покрытия увеличивается. В этом аспекте наши предшественники абсолютно правы, но при этом увеличение деформации во времени (фактор проявления ползучести) осталось без должного внимания. Основы теории ползучести (реологии) хорошо известны, и согласно этим основам деформация от постоянной по величине нагрузки увеличивается во времени. При уменьшении скорости движения время действия твердосплавной вставки шипа на покрытие возрастает, вследствие чего увеличивается его проникновение в покрытие. Поэтому диапазон безопасных скоростей должен быть ограничен как сверху, например, 80 км/ч, так и снизу, например, 40 км/ч. В диапазоне скорости движения от 40 до 80 км/ч, интенсивность износа наименьшая.

Рассматривая влияние режимов торможения и набора скорости, мы опирались на три вида трения: покоя, скольжения и качения. Как известно, наибольшее сопротивление движению оказывает трение покоя, оно характеризуется величиной силы, вызывающей или останавливающей движение. При этом коэффициент сцепления шины с покрытием имеет наибольшую величину. При действии трения покоя в момент остановки или начала движения горизонтальное усилие на покрытие имеет максимальную величину. Специфика действия горизонтальной нагрузки состоит в том, что эта сила сжимает одну часть полупространства, расположенного перед точкой приложения, и растягивает другую часть полупространства, находящуюся за точкой приложения силы. В этом случае происходит наибольшее пластическое оттеснение материала покрытия. Второй по величине является сила трения скольжения, она тем меньше, чем больше скорость движения. Поэтому по траектории торможения заблокированного колеса трение скольжения шины возрастает по мере уменьшения скорости и увеличения коэффициента сцепления. Трение качения наименьшее, но при увеличении скорости движения шипованной шины оно вначале незначительно уменьшается, а затем возрастает. Поэтому горизонтальные силы, обусловленные различными видами трения, должны учитываться в работах по износу покрытий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Александров А.С., Семенова Т.В., Калинин А.Л. Анализ причин колееобразования на покрытиях жестких дорожных одежд и рекомендации по уменьшению этого явления. Вестник СибАДИ. 2019;16(6):718-745. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-718-745>
2. Aho S., et al. Structural innovations // Roadex II Northern Periphery. A summary of Roadex II project phase II reports. 2005. 72 p.
3. Александров А.С. Критерии расчета дорожных конструкций по ровности, допускаемые и предельные неровности // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 4(17). С. 97–104.
4. Герцог В.Н., Долгих Г.В., Кузин Н.В. Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности асфальтобетонных покрытий // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 5 (57). С. 45 – 57. DOI: 10.5862/MCE.57.4.
5. Кириллов А.М. Учет скорости движения транспортных средств в расчетах жестких дорожных одежд // Вестник МГСУ. 2018. № 8(13). С. 959–972. DOI:10.22227/1997-0935.2018.8.959-972.
6. Лушников Н.А., Лушников П.А. Ковалев Д.И. Об определении допустимых углов наклона боко-

вых стенок колеи по условию устойчивости автомобиля против заноса на мокром покрытии // Дороги и мосты. 2022. № 1 (47). С. 152–160.

7. Цуканов И. Ю., Любичева А. Н., Ковалев Д. И. Оценка боковой силы при взаимодействии колеса автомобиля с дорожной колеёй // Мир транспорта. 2022. Т. 20, № 5. С. 6–12. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-5-1>.

8. Васильев Ю.Э., Ивачев А.В., Братищев И.С. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. Т. 7, Вып. 5 (24). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf> (дата обращения: 11.09.2023).

9. Данилов В.В., Цариков А.А. Опыт устранения колеи износа на примере автомобильных дорог Свердловской области // Дороги и мосты. 2020. Вып. 44. С. 93–114.

10. Левкович Т.И., Беяков А.И., Билько А.Е., Тищенко А.С. О модификации битумов и асфальтобетонных смесей для повышения сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Приволжский научный вестник. 2016. № 1 (53). С. 48–53.

11. Матуа В.П., Исаев Е.Н., Чирва Д.В. Методика исследования связных грунтов на накопление остаточных деформаций // Вестник ТГАСУ. 2016. № 3. С. 186–193.

12. Hoang L. N., Le T. H. Effect of aggregate gradation on rutting of asphalt concrete by using a wheel tracking device in Vietnam // Journal of the Mechanical Behavior of Materials. 2018. Vol. 27 (5-6). p. 1–6. DOI: 10.1515/jmbm-2018-2007.

13. Drakos C., et al. Identification of a physical model to evaluate rutting performance of asphalt mixtures // Journal of ASTM International. 2005. Vol. 2 (3). p. 165 – 185.

14. Ismael M. Q., Fattah M. Y., & Jasim A. F. Improving the rutting resistance of asphalt pavement modified with the carbon nanotubes additive // Ain Shams Engineering Journal. 2021. Vol. 12(4). p 3619–3627. DOI:10.1016/j.asej.2021.02.038.

15. Wang H., Zhang Q., Tan J. Investigation of layer contributions to asphalt pavement rutting // Journal of materials in civil engineering. Special issue: China. Innovative Use of Materials for Highway Construction. 2009. Vol. 21. p. 181– 185.

16. Hafeez I., Kamal M., Mirza M. Rutting prediction model of asphalt concrete mixtures using uniaxial repeated creep test // Kuwait Journal of Science & Engineering. 2011. Vol. 38 (2). p. 45 – 61.

17. Said S., Ahmed A.W., Carlsson H. Evaluation of rutting of asphalt concrete pavement under field-like conditions // The processing in 6th Eurasphalt&Eurobitume Congress. Prague. Czech Republic. 2016. p 1 – 11.

18. Ковалев Д.И., Шайхутдинова Р.А. Проблемы колееобразования на автомобильных дорогах // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2022 № 1. Т. 9. <https://doi.org/10.15862/10SATS122>

19. Чёлушкин И.А. Влияние сил от колес автомобиля при движении по криволинейным участкам

дорог на образование колеи в асфальтобетонном покрытии. Часть 1. Поперечные силы // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7, № 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/10KO615.pdf> (дата обращения: 11.09.2023).

20. Burke J. E., McKenzie L. J. Some Tests of Studded Tires in Illinois // Highway Research Record. 1966. Vol. 136. p. 42 – 58.

21. Keyser J. H. Effect of Studded Tires on the Durability of Road Surfacing // Highway Research Record. 1970. Vol. 331. p. 41 – 53.

22. Preus C. K. Effects of Studded Tires on Pavement Wear and Traffic Safety // Highway Research Record. 1972. Vol. 352. p. 23 – 44.

23. Lundy J. R. et al. Wheel Track Rutting Due to Studded Tires // Transportation research record. 1992. Vol. 1348. p. 18 – 28.

24. White T.D., Haddock J.E., Hand A. J.T. Contributions of Pavement Structural Layers to Rutting of Hot Mix Asphalt Pavements // National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). Washington, D.C. Report No 468.2002. 151 p.

REFERENCES

1. Aleksandrov A.S., Semenova T.V., Kalinin A.L. Rutting on the surfaces of non-rigid road pavements: analysis of the causes and recommendations for reducing. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019;16(6):718-745. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-718-745>

2. Aho S., et al. Structural innovations. *Roadex II Northern Periphery. A summary of Roadex II project phase II reports*. 2005; 72 p.

3. Aleksandrov A.S. Kriterii rascheta dorozhnykh konstrukcij po rovnosti, dopuskaemye i predel'nye nerovnosti [Criteria for calculating road structures by evenness, permissible and marginal irregularities]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2008; 4 (17): 97 – 104. (In Russ.)

4. Gercog V.N., Dolgih G.V., Kuzin N.V. Raschet dorozhnykh odezhd po kriteriyam rovnosti. Chast' 1. Obosnovanie norm rovnosti asfal'tobetonnykh pokrytij [Calculation of road clothes according to the criteria of evenness. Part 1. Justification of the evenness standards of asphalt concrete pavements]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2015; 5 (57): 45 – 57. DOI: 10.5862/MCE.57.4. (In Russ.)

5. Kirillov, A.M. Uchet skorosti dvizheniya transportnykh sredstv v raschetah nezhestkiy dorozhnykh odezhd [Taking into account the speed of vehicles in the calculations of non-rigid road clothes]. *Vestnik MGSU*. 2018; 8 (13): 959 – 972. DOI:10.22227/1997-0935.2018.8.959-972. (In Russ.)

6. Lushnikov N.A., Lushnikov P.A. Kovalev D.I. Ob opredelenii dopustimyykh uglov naklona bokovykh stенок kolei po usloviyu ustojchivosti avtomobilya protiv zanosov na mokrom pokrytii [On determining the permissible angles of inclination of the side walls of the track according to the condition of stability of the car against skidding on wet pavement]. *Dorogi i mosty*. 2022; 1 (47): 152 – 160. (In Russ.)

7. Cukanov I. YU., Lyubicheva A. N., Kovalev D. I. Ocenka bokovoj sily pri vzaimodejstvii kolea avtomobilya s dorozhnoj koleej [Evaluation of the lateral force in the interaction of the car wheel with the road track]. *Mir transporta*. 2022; T. 20. 5: 6 – 12. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-5-1>. (In Russ.)
8. Vasil'ev Y.E., Ivachev A.V., Bratishchev I.S. Issledovanie ustojchivosti dorozhno-stroitel'nyh materialov k iznosnomu koleebrazovaniyu v usloviyah, priblizhennyh k eksploatacionnym [Investigation of the resistance of road-building materials to wear-and-tear track formation in conditions close to operational]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2014; 7. Vyp. 5 (24). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf> (data obrashcheniya: 11.09.2023). (In Russ.)
9. Danilov V.V., Carikov A.A. Opyt ustraneniya kolei iznosa na primere avtomobil'nyh dorog Sverdlovskoj oblasti [The experience of eliminating the wear track on the example of highways of the Sverdlovsk region]. *Dorogi i mosty*. 2020; Vyp. 44: 93 – 114. (In Russ.)
10. Levkovich T.I., Belyakov A.I., Bil'ko A.E., Tishchenko A.S. O modifikacii bitumov i asfal'tobetonnyh smesey dlya povysheniya sdvigoustojchivosti asfal'tobetonnyh pokrytij avtomobil'nyh dorog [On the modification of bitumen and asphalt concrete mixtures to increase the shear resistance of asphalt concrete road surfaces]. *Privolzhskij nauchnyj vestnik*. 2016; 1 (53): 48 – 53. (In Russ.)
11. Matua V.P., Isaev E.N., CHirva D.V. Metodika issledovaniya svyaznyh gruntov na nakaplivanie ostatkovnyh deformacij [Methodology for the study of cohesive soils on the accumulation of residual deformations]. *Vestnik TGASU*. 2016; 3: 186 – 193. (In Russ.)
12. Hoang L. N., Le T. H. Effect of aggregate gradation on rutting of asphalt concrete by using a wheel tracking device in Vietnam. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*. 2018; 27 (5-6): 1 – 6. DOI: 10.1515/jmbm-2018-2007.
13. Drakos C., et al. Identification of a physical model to evaluate rutting performance of asphalt mixtures. *Journal of ASTM International*. 2005; 2 (3): 165 – 185.
14. Ismael M. Q., Fattah M. Y., & Jasim A. F. Improving the rutting resistance of asphalt pavement modified with the carbon nanotubes additive. *Ain Shams Engineering Journal*. 2021; 12 (4): 3619 – 3627. DOI:10.1016/j.asej.2021.02.038.
15. Wang H., Zhang Q., Tan J. Investigation of layer contributions to asphalt pavement rutting. *Journal of materials in civil engineering. Special issue: China. Innovative Use of Materials for Highway Construction*. 2009; 21: 181 – 185.
16. Hafeez I., Kamal M., Mirza M. Rutting prediction model of asphalt concrete mixtures using uniaxial repeated creep test. *Kuwait Journal of Science & Engineering*. 2011; 38 (2): 45 – 61.
17. Said S., Ahmed A.W., Carlsson H. Evaluation of rutting of asphalt concrete pavement under field-like conditions. *The processing in 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Prague, Czech Republic. 2016: 1 – 11.
18. Kovalev D.I., SHajhutdinova R.A. Problemy koleebrazovaniya na avtomobil'nyh dorogah [Problems of track formation on highways]. *Internet-zhurnal «Transportnye sooruzheniya»*. 2022; 1. T. 9. <https://doi.org/10.15862/10SATS122>. (In Russ.)
19. Chyolushkin I.A. Vliyanie sil ot kolea avtomobilya pri dvizhenii po krivolinejnym uchastkam dorog na obrazovanie kolei v asfal'tobetonnom pokrytii. Chast' 1. Poperechnye sily [The influence of forces from the wheels of the car when driving on curved sections of roads on the formation of a track in the asphalt concrete pavement. Part 1. Transverse forces]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2015; 7. 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/10KO615.pdf> (data obrashcheniya: 11.09.2023). (In Russ.)
20. Burke J. E., McKenzie L. J. Some Tests of Studded Tires in Illinois. *Highway Research Record*. 1966; 136: 42 – 58.
21. Keyser J. H. Effect of Studded Tires on the Durability of Road Surfacing. *Highway Research Record*. 1970; 331: 41 – 53.
22. Preus C.K. Effects of Studded Tires on Pavement Wear and Traffic Safety. *Highway Research Record*. 1972; 352: 23 – 44.
23. Lundy J.R. et al. Wheel Track Rutting Due to Studded Tires. *Transportation research record*. 1992; 1348: 18 – 28.
24. White T.D., Haddock J.E., Hand A. J.T. Contributions of Pavement Structural Layers to Rutting of Hot Mix Asphalt Pavements. *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)*. Washington, D.C. 2002; 468: 151 p.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Александров А.С. Руководство темой исследования, формирование целей и постановка задачи исследования. Анализ состояния вопроса. Участник приведённых в статье исследований. Анализ результатов.

Семенова Т.В. Общее редактирование. Участник приведённых в статье исследований. Подготовка материала для статьи, оформление статьи.

Раскошный Д.Ю. Участник приведённых в статье исследований. Обработка экспериментальных данных. Оформление наглядных материалов статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Anatoly S. Aleksandrov. Management of the research topic, formation of goals and formulation of the research task. Analysis of the state of the issue. Participant of the research presented in the article. Analysis of the results.

Tatiana V. Semenova. General editing. Participant of the research presented in the article. Preparation of the material for the article, the design of the article.

Denis Y. Raskoshny. Participant of the research presented in the article. Processing of experimental data. Design of visual materials of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александров Анатолий Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» института «Автомобильно-дорожное, промышленное и гражданское строительство». SPIN-код: 7573-4997.

Семенова Татьяна Викторовна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» института «Автомобильно-дорожное, промышленное и гражданское строительство». SPIN-код: 6344-3503.

Раскошный Денис Юрьевич – аспирант кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» института магистратуры и аспирантуры. SPIN-код: 6325-0064.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksandrov Anatoly Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of the Road Construction and Maintenance, Civil Engineering Institute. SPIN-код: 7573-4997.

Semenova Tatiana Victorovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of the Road Construction and Maintenance, Civil Engineering Institute. SPIN-код: 6344-3503.

Raskoshny Denis Yurievich – postgraduate student of the Department of the Road Construction and Maintenance, Institute of Magistracy and Postgraduate Studies. SPIN-код: 6325-0064.