

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2022, №1, Том 9 / 2022, N 1, Vol. 9 <https://t-s.today/issue-1-2022.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS122.pdf>

DOI: 10.15862/10SATS122 (<https://doi.org/10.15862/10SATS122>)

Проблемы колееобразования на автомобильных дорогах

¹Ковалев Д.И., ²Шайхутдинова Р.А.

¹ФАУ «Российский дорожный научно-исследовательский институт», Москва, Россия

²АО «Государственная транспортная лизинговая компания», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Шайхутдинова Регина Алексеевна, e-mail: Regina22121995@mail.ru

Аннотация. Отсутствие дефектов на автомобильной дороге является основным фактором безопасности дорожного движения. Вместе с автомобильным бумом к многочисленным проблемам, возникающим на наших автомобильных дорогах, прибавилась еще одна — интенсивный износ, приводящий к образованию колеи, что, в свою очередь, негативно сказывается на безопасности дорожного движения, колея становится причиной аварий, причем с достаточно серьезными последствиями. В последние десятилетия проблема колееобразования на покрытиях автомобильных дорог выходит на передний план среди всех дефектов покрытия. Данный вид деформации снижает уровень безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах, негативно влияет на долговечность эксплуатации автомобильных дорог, а также наносит значительный ущерб экономике страны. Причиной колееобразования на автомобильных дорогах являются многочисленные и разнообразные факторы, связанные с эксплуатационными нагрузками, природно-климатическими воздействиями, особенностями износа поверхности транспортными средствами.

В статье определены основные виды (формы) формирования колеи автомобильных дорог. Также установлено, что в условиях роста интенсивности и величины транспортной нагрузки наблюдается увеличение размеров колеи, вплоть до необратимых деформаций конструктивных слоев дорожной одежды. Исследовать проблемы колееобразования необходимо для лучшего понимания процесса разрушения и более точного проектирования конструктивных решений автомобильных дорог. Выявление причин формирования, анализ причин и механизмов образования колеи является необходимым инструментом совершенствования способов профилактики и борьбы с рассматриваемым дефектом покрытий автомобильных дорог. Возникновение колеи на дорогах приводит к снижению эффективности использования финансовых ресурсов, направляемых в дорожную отрасль, так как появляется необходимость проводить ремонт покрытия автомобильной дороги гораздо чаще, чем это предусмотрено нормативными документами.

Ключевые слова: колея; дорога; дефекты; колееобразование; безопасность дорожного движения; дорожная одежда; асфальтобетон

Wheel track rutting problems on highways

¹Denis I. Kovalev, ²Regina A. Shaykhutdinova

¹Russian Road Research Institute, Moscow, Russia

²State Transport Leasing Company, Moscow, Russia

Corresponding author: Regina A. Shaykhutdinova, e-mail: Regina22121995@mail.ru

Abstract. The evenness of the road pavement is one of the main road safety factors. Along with the automobile boom, to the numerous problems that arise on our roads, another one has been added — intensive wear-out, leading to the tracing ruts formation, which negatively affects road safety, the tracing rut causes accidents, and with quite serious consequences. In recent decades, the wheel track rutting problem on road pavement has come to the fore among all pavement defects. This type of deformation reduces the traffic safety level on roads, negatively affects road durability, and also causes significant damage to the country's economy. Wheel track rutting on roads is caused by numerous and diverse factors associated with operational loads, natural and climatic influences, and surface wear-out peculiarities by vehicles.

The article defines the main types (forms) of the wheel track rutting formation of roads. It has also been established that under conditions of an increase in the

traffic load intensity and magnitude, an increase in the wheel tracking size is observed, up to irreversible deformations of the pavement structural layers. It is necessary to study the wheel track rutting problems for a better understanding of the destruction process and a more accurate constructive solutions design for highways. Identification of the formation reasons and analysis of the wheel tracking formation causes and mechanisms is a necessary tool for improving the preventing methods and combating the considered defect in road pavements. The tracing ruts appearance on the roads leads to a decrease in the efficiency of the financial resources use allocated to the road industry, since it becomes necessary to repair the road surface much more often than it is provided for by regulatory documents.

Keywords: tracing ruts; road; defects; wheel track rutting; road safety; road pavement; asphalt concrete

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

Сравнивая состояние дорог в России и за рубежом, эксперты отмечают различия в использовании технологий обслуживания дорожного полотна. Интенсивность эксплуатации дорог в России значительно выше, поэтому физический износ наступает быстрее, чем, например, в Европе.

Основной причиной, оказывающей наибольшее влияние на снижение качества дорожного полотна, называют превышение массы и потока автомобилей, которые образуют колеи. Образование колеи в первую очередь влияет на безопасность дорожного движения. Атмосферные осадки на автомобильных дорогах скапливаются в колее, так как она препятствует отводу воды. При наезде шин колес транспортного средства на полосу, в пределах которой расположена колея, заполненная водой, коэффициент сцепления шин с покрытием уменьшается, так как величина коэффициента зависит от скорости движения, глубины воды в колее, параметров шероховатости покрытия [1–3].

В настоящее время широко прорабатывается вопрос обеспечения устойчивости дорожных одежд к образованию колеи. Новые усовершенствованные технологии в строительстве помогают улучшать качество показателей прочности и деформируемости материалов в слоях дорожной одежды, приводят к обеспечению оптимального температурного режима укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей [4–5].

В области прогнозирования процесса развития колеи применяют аналитические решения [6], эмпирические формулы [7–10] и численные методы [11], что позволяет совершенствовать расчеты дорожных одежд, дает возможность внедрять новые решения в практику проектирования.

В работе «Анализ применимости современных технологий ремонта и борьбы с колеобразованием на дорогах» О.В. Серова сделала вывод, что колея — это особый вид деформирования дорожной конструкции, причиной возникновения которой могут быть как внешние факторы, связанные с воздействием окружающей среды на дорожное покрытие, так и внутренние факторы — физико-механические характеристики дорожной конструкции. Одной из наиболее частых причин возникновения колеи под воздействием внутренних факторов являются: превышение содержания битумного вяжущего, применение чрезмерно разжиженных индустриальным маслом (или другим пластификатором) полимерно-битумных вяжущих, использование чрезмерного количества круглых частиц щебня, песка [9].

Про причины образования колеи, установленные путем анализа натуральных и лабораторных экспериментальных исследований, в своей работе писал А.С. Александров [12]. В ней он предложил конструкции дорожных одежд со скрытоколейными элементами, которые в целях борьбы с глубинной колеей размещаются на поверхности земляного полотна, а при борьбе с поверхностной колеей на основании дорожной одежды [12].

Исследования в области материаловедения для улучшения качества дорожного полотна направлены на поиск составов смесей [13] и разработку добавок [14].

В статье Д.А. Строева показано, как введение в качестве добавки стабилизатора «АРМАДОР» в щебеночно-гравийно-песчаную смесь возрастают физико-механические показатели, данный стабилизатор создает прочные кристаллизационные и коагуляционные связи, применение которых рекомендуется совместно с минеральным вяжущим веществом [14].

Для достоверного и качественного исследования геометрических параметров колеи необходимо использовать современное, верифицированное оборудование, позволяющее проводить замеры с небольшим шагом и высокой точностью. Об основных методах и возможностях измерения колеи было написано в статье Д.И. Ковалева «Некоторые методы измерения параметров колеи на дорожных покрытиях» [19].

Работы, направленные на борьбу с образованием колеи, актуальны для дорожной отрасли и позволяют уменьшать интенсивность ухудшения безопасности движения, увеличивать прочность дорожной одежды, поддерживать скорость движения на требуемом уровне.

Причины образования колеи и их последствия

Tracing ruts causes and consequences

Интенсивное развитие колеи на дорожном покрытии на данный момент входит в перечень наиболее широко распространенных проблем, встречающихся при эксплуатации большинства автомобильных дорог [15].

Активный рост количества автотранспорта в стране (рис. 1), увеличение интенсивности движения и количества тяжеловесного автомобильного транспорта в составе транспортных потоков, возрастание скоростей движения автомобилей, широкое применение ошипованных

шин и использование химических реагентов в зимний период приводит к ускоренному образованию одного из наиболее распространенных дефектов на покрытиях автомобильных дорог — колеиности.

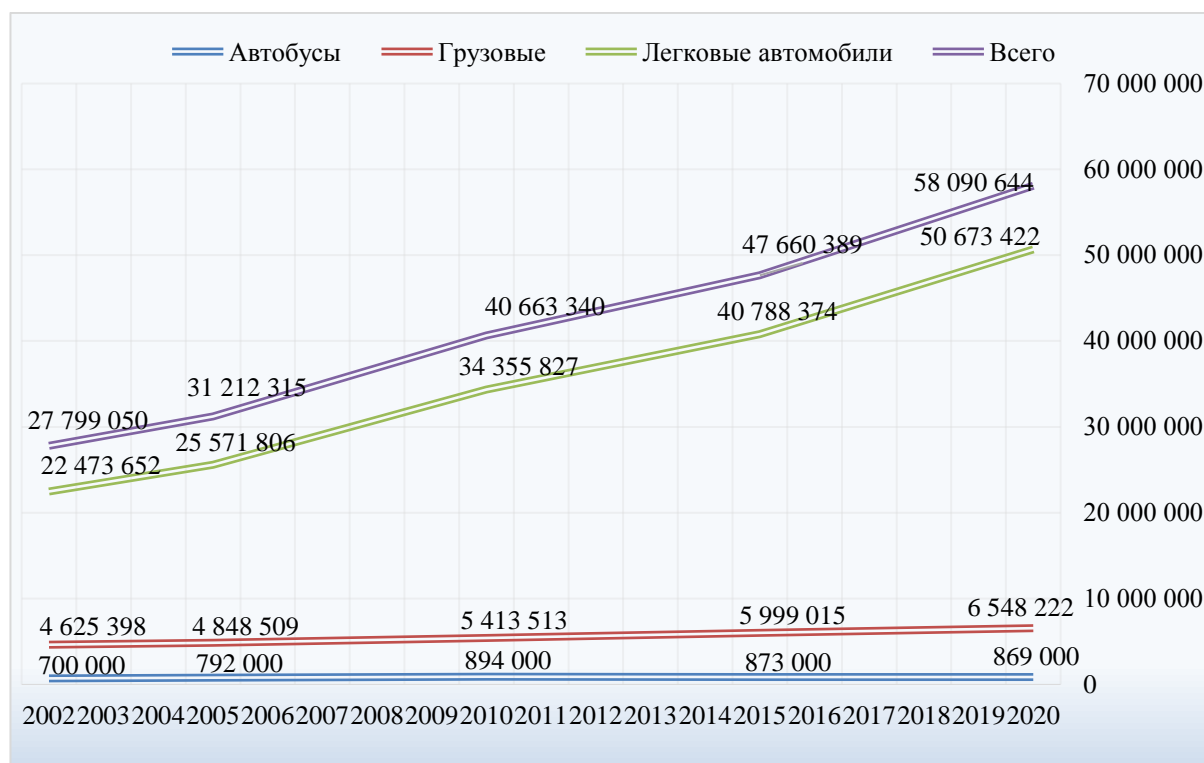


Рисунок 1. Количество зарегистрированных автомобилей в 2002–2020 гг. (составлено автором)

Figure 1. Number of registered vehicles in 2002–2020 (compiled by the author)

В настоящее время в рамках выполнения национального проекта «Безопасные и качественные дороги» предпринимаются значительные усилия по приведению автомобильных дорог общего пользования в нормативное состояние. Несмотря на это, протяженность дорог с глубиной колеи более 10 мм составляет примерно 1/3 от общей протяженности автомобильных дорог федерального значения (данные автоматизированного банка дорожных данных «АБДД Дорога»).

Колейность дорожного покрытия определяется рядом факторов, среди которых важное место занимает процесс износа, вызываемого контактом колеса с покрытием [16].

Появление на дорогах колеи приводит к снижению уровня безопасности движения, несвоевременной доставки грузов, сокращению межремонтных сроков службы автомобильных дорог и к значительному экономическому ущербу. Основная опасность движения автомобильного транспорта при проезде по колее связана с частыми ударами колеса автомобиля о стенку колеи. Возникают касательные и боковые силы, которые в значительной мере снижают устойчивость и управляемость

автомобиля. Наиболее опасной считается ситуация, когда автомобиль входит в колею и выходит из нее под углом. В первом случае передние колеса находятся в колее, а задние находятся сбоку, создавая возможность резкого заноса. Во втором случае при выходе из колеи передние колеса подпрыгивают, а задние остаются в колее, возникает вероятность вращения автомобиля вокруг задней оси. От геометрических параметров колеи, в частности от глубины, ширины и угла наклона боковой стенки колеи, а также угла выезда автомобиля из колеи, зависит его устойчивость и управляемость. Ситуация усугубляется, когда во время дождя в колее скапливается вода, создавая эффект аквапланирования. В случае попадания в такую колею колеса не успевают коснуться твердого покрытия и полностью теряют сцепление с дорожным покрытием.

Одной из существенных причин, приводящих к ускоренному образованию колеи вследствие износа дорожного покрытия, является применение ошипованных шин. В России допускается использование ошипованных шин, в отличие, например, от Германии. В феврале 2020 года Комитетом Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации по транспорту и строительству была создана специальная рабочая группа, которая занимается проблемой применения шипованной резины. В марте 2021 года прошла 2-я международная конференция Асфальтобетон-2021, по итогам которой была направлена резолюция в Правительство Российской Федерации с требованием ужесточить правила использования шипованной резины вне сезона¹.

По данным исследований в некоторых регионах Российской Федерации доля «ошипованных» легковых автомобилей в зимний период достигает 90 %. При этом распространённость шипованных шин по регионам имеет большую вариабельность. Кроме того, к технологическим особенностям, негативно влияющим на эксплуатацию автомобильных дорог в Российской Федерации, относятся более «агрессивные» шипы, более высокие чем за рубежом разрешенные скорости движения легковых транспортных средств, более высокий уровень загруженности российский автомобильных дорог, составляющих опорную дорожную сеть страны (в результате все более нарастающей диспропорции между приростом парка автомобилей и приростом дорожной сети) [16].

Стоит отметить, что полная отмена шипованной резины значительно увеличит аварийность на автомобильных дорогах в зимний период. Данную проблему стоит решать комплексно и на законодательном уровне.

¹ <https://www.kommersant.ru/doc/4242937>.

Оценка состояния колёйности

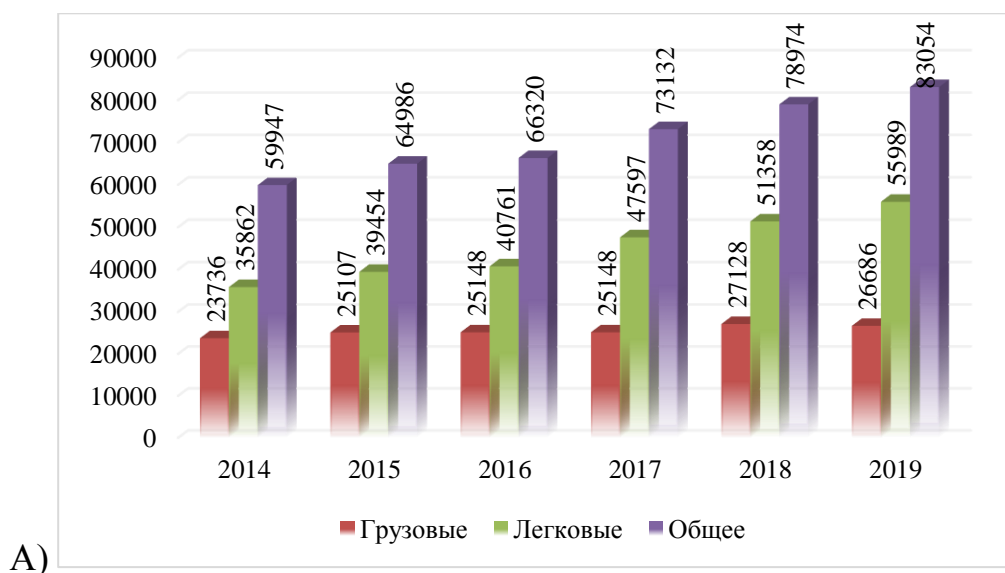
Wheel tracking condition assessment

До середины 90-х годов прошлого столетия в России практически не проводились работы по исследованию и оценке состояния параметров колёйности: не создавалось оборудование и не разрабатывались методы ее обследования и оценки. Также не было методик измерения параметров колеи и требований к её параметрам. Это объясняется тем, что низкая интенсивность движения, состав транспортных потоков и их скоростные режимы не приводили к существенному росту колёйности. Однако к концу 90-х годов, ситуация кардинальным образом изменилась, и образование колёйности на покрытии автомобильных дорог стало одной из самых злободневных проблем сегодняшних дорог².

Для оценки роста интенсивности движения на федеральных автомобильных дорогах было рассмотрено 3 участка:

- М5 «Урал», участок, расположенный на 28 км + 800 м;
- М9 «Балтия», участок, расположенный на 83 км + 700 м;
- А-103 «Щелковское шоссе», участок, расположенный на 38 км + 800 м.

Результаты проведенной оценки приведены на рисунке 2.



² <http://dorconsult.ru/article1.html>.

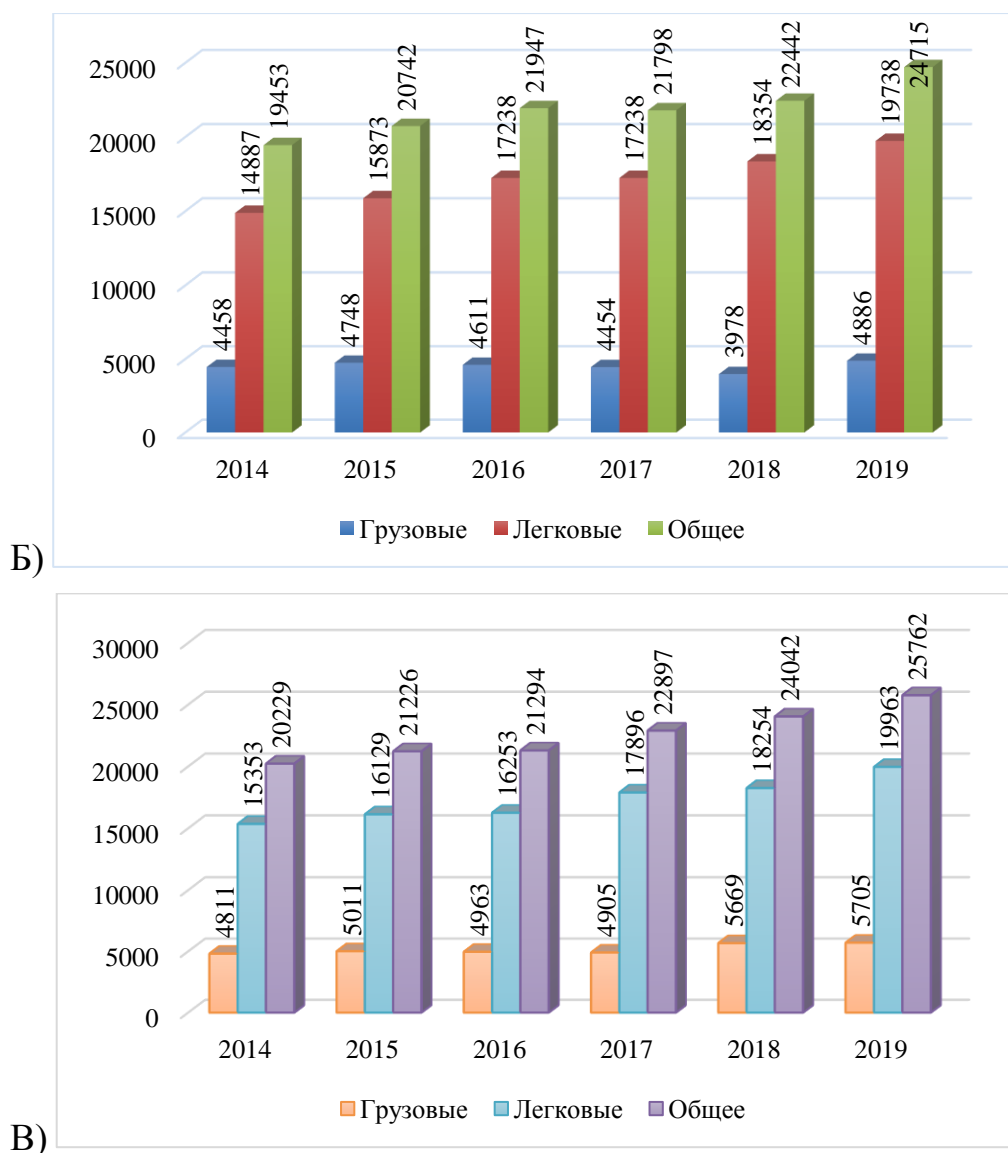


Рисунок 2. Результаты оценки роста интенсивности движения на участках автомобильных дорог федерального значения: а) М-5 "Урал" 28+800; б) М-9 "Балтия" 83+700; в) А-103 "Щелковское шоссе" 38+800 (составлено автором)

Figure 2. The results of assessing the traffic intensity growth on federal highway sections: a) M-5 "Ural" 28+800; b) M-9 "Baltic" 83+700; c) A-103 "Shchelkovo highway" 38+800 (compiled by the author)

Приведенные данные показывают существенное увеличение интенсивности на указанных автомобильных дорогах федерального значения за последние годы. Стоит отметить, что с увеличением интенсивности движения растет и количество дорожно-транспортных происшествий, особенно в зимний период. По информации ГИБДД причиной 1/3 указанных аварий служит некачественное, либо вовремя не обслуженное, дорожное покрытие.

Возрастающая агрессивность динамического воздействия колес автомобиля на дорожные покрытия при высоких скоростях, особенно при наличии даже незначительных дефектов, приводит к ее ускоренному

износу и разрушению. Отсутствуют обоснованные ограничения на осевые нагрузки и скорости движения в неблагоприятные периоды года:

- в весенний период, когда происходит оттаивание дорожного полотна и его водонасыщение, при высоких нагрузках и скоростях происходят деформации и разрушения покрытий, а при чередовании циклов замораживания и оттаивания происходит образование трещин и ускоренное образование в их зоне колеиности и выбоин;
- в жаркий летний период на большинстве автодорог, построенных на несоответствующих по вязкости битумах, при отсутствии ограничений нагрузки на ось и максимально допустимой скорости движения, образуется пластические деформации покрытий с соответствующим образованием колеиности;
- в зимний период на большинстве автодорог Российской Федерации возникает проблема снижения коэффициента сцепления из-за снеговых осадков и образования гололеда, в связи с чем большинство автотранспорта в зимний период осуществляет движение на шипованных шинах, что способствует ускоренному образованию износа.

Имеют место частые случаи отсутствия весовых ограничений на движении грузового автотранспорта с высокой нагрузкой на ось (более 6 тонн) по автодорогам общего пользования, запроектированных и построенных под нагрузку 6 тонн на ось способствуют значительному накоплению деформаций в дорожной одежде и несвоевременному увеличению колеиности на автомобильных дорогах.

Влияние климата региона на образование колеи

Influence of the region's climate on tracing ruts formation

Значительное влияние на колеобразование оказывают местонахождение и климат регионов, в которых находятся автодороги:

- в северных регионах в связи с продолжительным зимним периодом, когда автотранспорт более 7 месяцев передвигается на шинах с шипами, одной из основных причин колеобразования является износ;
- в южных регионах, где продолжительность периода с высокими температурами достигает 5 месяцев и более, основной причиной являются температурные (под воздействием транспорта) пластические деформации покрытия дороги;

- в зонах с нормальным континентальным климатом (средняя зона России) основными причинами являются и зимние, и летние факторы, обостряющиеся более высокой интенсивностью движения в зонах городских агломераций.

Виды колеи

Tracing ruts types

Проведённые предварительные исследования позволили определить не только специфику колееобразования, но и значительное влияние формы образующихся колеи на безопасность дорожного движения, включая:

а) наибольшую опасность, представляемую колеей с глубокими и с более крутыми откосами для движения в зимний период, когда достаточно велика вероятность снижения коэффициента сцепления, при образовании гололеда и попадания на поверхность колеи снега. При движении по таким колеям, резко возрастает вероятность нарушения прямолинейности движения транспорта при изменении им направления движения, при попытках выезда из колеи и т. д.;

б) значительную опасность представляет колея, возникающая из-за недостаточной несущей способности дорожных одежд. Образующиеся в таких колеях, выбоины, в значительной мере влияют на безопасность движения при торможении или изменении курса движения автотранспорта;

в) достаточно опасной является колея, образующаяся при движении автотранспорта (без ограничения веса и скоростей движения) по автомобильным дорогам с уже образовавшейся колеиностью, где при высоких положительных температурах возникает опасность выпотевания битума. Как следствие, резко ухудшается безопасность движения при попадании в такие колеи дождевых осадков, в связи с возникающим эффектом аквапланирования.

г) значительную опасность представляет колея, образующаяся на дорогах первых категорий при высоких скоростях движения, обычно, где безопасность движения оказывается обусловленной двумя критическими факторами: высокая скорость движения и наличие колеи.

Исходя из вышесказанного на автомобильных дорогах можно выделить как минимум 3 разновидности колеи (рис. 3):

- колея износа (рис. 3а);
- колея с пластическими деформациями в верхних слоях дорожного покрытия (рис. 3б);

- колея, обусловленная деформациями всех слоев дорожной одежды (рис. 3в).

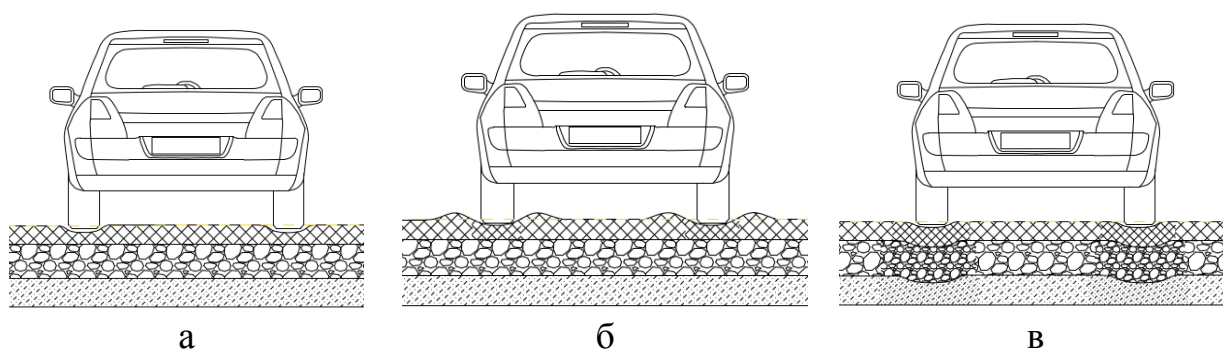


Рисунок 3. Разновидности колеи

на автомобильных дорогах общего пользования (составлено автором)

Figure 3. Tracing ruts types on the general-purpose highways (compiled by the author)

Каждому виду колеи соответствуют определенные причины возникновения и соответственно определенные методы устранения.

Колея износа (абразивная) — в настоящее время самый распространённый вид колейности. Основной причиной возникновения служат автомобили с шипованной резиной, увеличение скоростей и интенсивности движения, использование химических реагентов и т. д. Особенно сильно на износ влияют скорости движения автомобилей с ошипованными шинами. Пример этому крайние левые полосы Московской кольцевой автомобильной дороги, где средняя скорость движения порядка 120 км/ч. Многочисленные исследования показывают, что в двух крайних левых полосах МКАДа колея возникает значительно быстрее, чем в правых. Проблема нормирования использования шипованных шин в нашей стране не может решиться уже многие годы. Колея износа влияет не только на безопасность автомобильных дорог, но и на экологию. По данным института экономики транспорта и транспортной политики, за год только в Москве стирается примерно 400 тыс. т дорожного покрытия [17].

Колея с пластическими деформациями в верхних слоях дорожного покрытия — дефект дорожного покрытия, который образуется преимущественно в летний период времени, под воздействием высоких температур. Особенно подвержены данному дефекту автомобильные дороги на территории южных регионов. Под влиянием солнечной радиации происходит нагревание покрытие, тем самым вязкость битума в асфальтобетоне увеличивается, а за счет высокой интенсивности и значительной колесной нагрузки происходят сдвиговые деформации верхнего слоя асфальтобетона, приводящие к образованию колеи с выпорами. С учетом того, что выпоры под действием разных климатических и транспортно-эксплуатационных нагрузок, создаются

неоднородными, с разной формой и геометрическими параметрами, данный вид колеи можно считать наиболее опасным. Колея с пластическими деформациями чаще всего наблюдается в правых полосах движения, где преимущественно движутся тяжеловесный транспорт.

Колея, обусловленная деформациями всех слоев дорожной одежды — вид колеи образованный в следствии накопления остаточных деформаций во всех слоях дорожной конструкции — асфальтобетонное покрытие, дорожная одежда и грунт земляного полотна. Особенно подвластны деформации нижние слои дорожной одежды. Причиной этому является несоответствие прочности дорожной конструкции к уровню реальной нагруженности автомобильного потока. Большое количество автомобильных дорог было запроектировано и рассчитано на осевую нагрузку в 6 тонн, что не соответствует текущему транспортному потоку, когда допустимые осевые нагрузки были увеличены до 10 и 11,5 тонн. В случае если масса автомобиля превышает расчетную, дорожная конструкция и грунт земляного полотна теряют свойство корректно воспринимать заданную нагрузку и с учетом периодической повторяемости, превышающей проектную нагрузку, образуется колея.

Заключение

Conclusion

Таким образом, форма колеи может быть одним из важных факторов для оценки безопасных условий движения. На данный момент нормируется только глубина колеи, в то время как ширина, выпоры, углы наклона стенок и прочие геометрические параметры должным образом не исследовались и, соответственно, не нормируются [18]. В настоящее время из государственных стандартов, нормирующих колеиность, действуют:

- ГОСТ 32825-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений.
- ГОСТ 33220-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию.
- ОДМ 218.4.039-2018 «Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог»³. Он заменил ОДН 218.0.006-2002 «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог»⁴, в котором была нормирована расчетная

³ ОДМ 218.4.039-2018 «Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог».

⁴ ОДН 218.0.006-2002 «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог».

скорость движения в зависимости от глубины, который был заменен 04.07.2018 на вышеуказанный норматив, в который данные исследования не вошли.

Вышеизложенное позволяет выявить необходимость исследования следующих проблем:

- детальное изучение причин образования колеи на автодорогах;
- исследование влияния формы колеи на безопасность движения;
- разработка превентивных и оперативных мер по снижению колееобразования на автодорогах РФ;
- влияние образующейся колеи на безопасность движения автотранспорта;
- внесение изменений в существующие нормативные документы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Новизенцев, В.В.** Скорость, дорожные условия и безопасность движения / В.В. Новизенцев, Д.В. Оськин // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2007. — № 3. — С. 7–10. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13104253> (дата обращения: 14.01.2022).
2. **Александров, А.С.** Критерии проектирования шероховатых асфальтобетонных покрытий из условия обеспечения безопасности движения / А.С. Александров, Н.П. Александрова, Т.В. Семенова // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2009. — № 2. — С. 66–73. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18051342> (дата обращения: 14.01.2022).
3. **Кириллов, А.М.** Учет скорости движения транспортных средств в расчетах нежестких дорожных одежд / А.М. Кириллов. — DOI <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.8.959-972> // Вестник МГСУ. — 2018. — Т 13. — № 8. — С. 959–972. — URL: <http://vestnikmgisu.ru/ru/component/sjarchive/issue/article.display/2018/8/959-972> (дата обращения: 14.01.2022).
4. **Смирнов, Д.С.** Анализ опыта применения теплых асфальтобетонных смесей / Д.С. Смирнов, В.Е. Броднева, А.С. Лобанова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2019. — № 4. — С. 455–461. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41580950> (дата обращения: 14.01.2022).
5. **Полонов, Н.М.** Низкотемпературные асфальтобетонные смеси типов а, б, в в i (первой) дорожно-климатической зоне (опыт применения) / Н.М. Полонов, С.С. Шабуров // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2018. — Т. 8. — № 1. — С. 175–186. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741799> (дата обращения: 14.01.2022).
6. **Wichtmann, T.** Strain accumulation in sand due to drained cyclic loading: On the effect of monotonic and cyclic preloading (Miner's rule) / T. Wichtmann, A. Niemunis, T. Triantafyllidis. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.03.004> // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. — 2010. — Т 30. — № 8. — С. 736–745. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0267726110000631> (дата обращения: 14.01.2022).

7. **Lekarp, F.** Modelling permanent deformation behaviour of unbound granular materials / F. Lekarp, A. Dawson. — DOI [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(97\)00078-0](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(97)00078-0) // Construction and Building Materials. — 1998. — Т 12. — № 1. — С. 9–18. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061897000780> (дата обращения: 14.01.2022).
8. **Wolff, H.** Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design / H. Wolff, A. T. Visser. — DOI <https://doi.org/10.1680/itrans.1994.27137> // Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Transport. — 1994. — Т 105. — № 4. — С. 259–272. — URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/itrans.1994.27137> (дата обращения: 14.01.2022).
9. **Серова, О.В.** Анализ применимости современных технологий ремонта и борьбы с колееобразованием на дорогах / О.В. Серова, В.С. Герасимов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2016. — № 10–1. — С. 102–106. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27157900> (дата обращения: 14.01.2022).
10. **Гладких, В. А.** Стойкость сероасфальтобетонов к образованию колеи / В.А. Гладких, Е.В. Королёв, Д.Л. Хусид. — DOI <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2016.12.70-78> // Вестник МГСУ. — 2016. — № 12. — С. 70–78. — URL: <http://vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/article.display/2016/12/70-78> (дата обращения: 14.01.2022).
11. **Матуа, В.П.** Прогнозирование и учет накопления остаточных деформаций в дорожных конструкциях / В.П. Матуа, Л.Н. Панасюк. — Ростов-на-Дону: РГСУ, 2001. — 372 с.
12. **Александров, А.С.** Анализ причин колееобразования на покрытиях жестких дорожных одежд и рекомендации по уменьшению этого явления / А.С. Александров, Т.В. Семенова, А.Л. Калинин. — DOI <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-718-745> // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. — 2019. — Т 16. — № 6. — С. 718–745. — URL: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/986> (дата обращения: 20.01.2022).
13. **Андронов, С.Ю.** Технология производства холодного композиционного щебеночно-мастичного асфальта с дисперсным битумом / С.Ю. Андронов, Ю.А. Трофименко, А.В. Кочетков. — DOI <https://doi.org/10.15862/105TVN216> // Интернет-журнал «Науковедение». — 2016. — Т 8. — № 2. — С. 105TVN216. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/105TVN216.pdf> (дата обращения: 20.01.2022).
14. **Строев, Д.А.** Укрепление оснований дорожных одежд за счет применения стабилизирующих добавок / Д.А. Строев, С.В. Сизонец, В.А. Казарян. — DOI <https://doi.org/10.15862/08SATS418> // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». — 2018. — Т 5. — № 4. — С. 08SATS418. — URL: <https://t-s.today/08SATS418.html> (дата обращения: 20.01.2022).
15. **Мозговой, В.В.** Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи / В.В. Мозговой, А.Н. Онищенко [и др.] // Дорожная техника и технологии: каталог-справочник / Санкт-Петербург: ООО «Славутич», 2010. — С. 114–128. — URL: http://www.slavutich-media.ru/download.php?down=catalogtov_uploads/txt/txt81.pdf (дата обращения: 20.01.2022).
16. **Васильев Ю.Э.** Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным / Ю.Э. Васильев, А.В. Ивачев, И. С. Братищев // Интернет-журнал «Науковедение». — 2015. — Т. 7. — № 5. — С. 11TVN514. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf> (дата обращения: 20.01.2022).
17. **Лушников, Н.А.** Влияние ошипованных шин на износ дорожного покрытия / Н. А. Лушников, Д.В. Невельский, А.В. Корниенко. — DOI // Сборник трудов СОВРЕМЕННЫЙ ТРАНСПОРТ: инфраструктура, инновации, интеллектуальные системы № 18 / М.: Международная академия транспорта, 2015. — С. 155–156. — URL: <http://www.itamain.com/private/st18.pdf> (дата обращения: 20.01.2022).
18. **Лушников, Н.А.** Измерение глубины колеи на покрытии автомобильной дороги методом лазерного сканирования / Н.А. Лушников, Т.И. Лалова, П.А. Лушников, Д.И. Ковалев // Дороги и мосты. — 2020. — № 2. — С. 138–144. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46505717> (дата обращения: 20.01.2022).

19. Ковалев, Д.И. Некоторые методы измерения параметров колеи на дорожных покрытиях / Д.И. Ковалев, П.А. Лушников, В.А. Кретов, Н.А. Лушников // Дороги и мосты. — 2019. — № 2. — С. 104–110. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45638082> (дата обращения: 20.01.2022).

Сведения об авторах:

Ковалев Денис Игоревич — начальник отдела, ФАУ «Российский дорожный научно-исследовательский институт», Москва, Россия, e-mail: Kov_deni@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0862-4734>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1117708

Шайхутдинова Регина Алексеевна — заместитель начальника Управления, АО «Государственная транспортная лизинговая компания», Москва, Россия, e-mail: Regina22121995@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6967-6055>

Статья получена: 12.03.2022. Принята к публикации: 11.04.2022. Опубликовано онлайн: 25.04.2022.

REFERENCES

1. Novizentzev V.V., Oskin D.V. Speed, Road Conditions and Traffic Safety. *Advanced Science and Technology for Highways*. 2007; (3): 7–10. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13104253> (accessed 14th January 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
2. Aleksandrov A.S., Aleksandrova N.P., Semenova T.V. [Criteria for designing rough asphalt concrete pavements from the condition of ensuring traffic safety]. *News of higher educational institutions. Construction*. 2009; (2): 66–73. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18051342> (accessed 14th January 2022). (In Russ.).
3. Kirillov A.M. Design of Non-Rigid Pavements in View of Moving Vehicles Influence. *Vestnik MGSU*. 2018; 13(8): 959–972. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.8.959-972>.
4. Smirnov D.S., Brodneva V.E., Lobanova A.S. Analysis of application experience of warm asphalt mixes. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2019; (4): 455–461. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41580950> (accessed 14th January 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
5. Polonov N.M., Shaburov S.S. Low-Temperature Asphalt-Concrete Mixtures of Types A, B, C In I (First Road-Climate Zone (Application Experience)). *Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate*. 2018; 8(1): 175–186. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741799> (accessed 14th January 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Wichtmann T., Niemunis A., Triantafyllidis T. Strain accumulation in sand due to drained cyclic loading: On the effect of monotonic and cyclic preloading (Miner's rule). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2010; 30(8): 736–745. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.03.004>.
7. Lekarp F., Dawson A. Modelling permanent deformation behaviour of unbound granular materials. *Construction and Building Materials*. 1998; 12(1): 9–18. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(97\)00078-0](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(97)00078-0).
8. Wolff H., Visser A.T. Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Transport*. 1994; 105(4): 259–272. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1680/itrans.1994.27137>.
9. Serova O.V., Gerasimov V.S. [Analysis of the applicability of modern technologies for repairing and combating rutting on roads]. *Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2016; (10–1): 102–106. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27157900> (accessed 14th January 2022). (In Russ.).
10. Gladkikh V.A., Korolev E.V., Khusid D.L. Resistance of Sulphur-Extended Asphalt to Rutting. *Vestnik MGSU*. 2016; (12): 70–78. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2016.12.70-78>.

11. Matua V.P., Panasyuk L.N. [Forecasting and Accounting for the Accumulation of Residual Deformations in Road Structures]. Rostov-on-Don: Russian State Social University; 2001. (In Russ.).
12. 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., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-718-745>.
13. Andronov S.Y., Trofimenko Y.A., Kochetkov A.V. The production technology of cold composite crushed-stone and mastic asphalt with disperse bitumen. *Naukovedenie*. 2016; 8(2): 105TVN216. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/105TVN216>.
14. Stroev D.A., Sizonets S.V., Kazaryan V.A. Strengthening the pavement bases through the use of stabilizing additives. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2018; 5(4): 08SATS418. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/08SATS418>.
15. Mozgovoi V.V., Onishchenko A.N. et al. [Experimental assessment of the resistance of asphalt concrete pavement to rutting]. In: [*Road equipment and technologies: directory directory*]. St. Petersburg: LLC "Slavutich"; 2010. p. 114–128. Available at: http://www.slavutich-media.ru/download.php?down=catalogtov_uploads/txt/txt81.pdf (accessed 20th January 2022). (In Russ.).
16. Vasiliev Y., Ivachev A., Bratishev I. Research of road building materials wear rutting resistance in near working conditions. *Naukovedenie*. 2015; 7(5): 11TVN514. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf> (accessed 20th January 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
17. Lushnikov N.A., Nevel'skiy D.V., Korniyenko A.V. [Impact of studded tires on road surface wear]. In: *Modern transportation infrastructure, innovations, intelligent systems. Collected works No. 18*. Moscow: International Transport Academy; 2015. p. 155–156. Available at: <http://www.itamain.com/private/st18.pdf> (accessed 20th January 2022). (In Russ.).
18. Lushnikov N.A., Lalova T.I., Lushnikov P.A., Kovalev D.I. [Measuring the depth of the track on the pavement of the road by laser scanning]. *Roads and bridges*. 2020; (2): 138–144. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46505717> (accessed 20th January 2022). (In Russ.).
19. Kovalev D.I., Lushnikov P.A., Kretov V.A., Lushnikov N.A. Some Measurement Methods of Rut Parameters on Road Pavements. *Roads and bridges*. 2019; (2): 104–110. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45638082> (accessed 20th January 2022). (In Russ., abstract in Eng.).

Information about the authors:

Denis I. Kovalev — Russian Road Research Institute, Moscow, Russia, e-mail: Kov_deni@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0862-4734>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1117708

Regina A. Shaykhutdinova — State Transport Leasing Company, Moscow, Russia, e-mail:

Regina22121995@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6967-6055>

Submitted: 12th March 2022. Revised: 11th April 2022. Published online: 25th April 2022.