

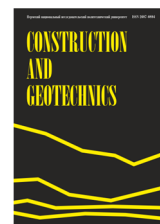


**пермский
политех**

CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 16, № 3, 2025

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2025.3.07

УДК 625.7

ОБРАЗОВАНИЕ КОЛЕИ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

А.В. Квитко, Н.А. Козловский

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 06 ноября 2024
Одобрена: 29 августа 2025
Принята к публикации:
10 сентября 2025

Ключевые слова:

образование колеи, технология
уплотнения, неоднородность,
сдвиговая устойчивость,
дорожное покрытие.

АННОТАЦИЯ

Повышение устойчивости дорожных одежд в процессе их эксплуатации – важная задача для всех участников строительства этого сложнейшего инженерного сооружения. Одним из видов отказов для нежестких дорожных покрытий является образование колеи. Образование колеи может происходить как из-за недостаточной сдвиговой устойчивости верхнего слоя, так и всей дороги в целом. Как показывают исследования отечественных и зарубежных ученых, на процесс образования колеи большое влияние оказывает сдвиговая устойчивость материала дорожного покрытия. Разрушение происходит тогда, когда значения внешней нагрузки достигнут или превысят предел прочности материала на сдвиг. При этом в верхнем слое дорожного покрытия начинают развиваться и накапливаться остаточные деформации. Накапливаясь во времени, они образуют колею в полосе наката верхнего слоя.

Анализ процесса взаимодействия колеса движущегося транспорта с дорожным покрытием показывает, что силы от него действуют на поверхность дороги в разных плоскостях, а не только параллельно продольной оси дороги. Но в процессе уплотнения слоя асфальтобетонной смеси укаткой со стороны вальцов не было сил, действующих в поперечном направлении дороги. Поэтому внешним силам, действующим в поперечном направлении дороги, слой износа сопротивляется менее эффективно, чем вдоль продольной оси дороги. Это является одним из главных факторов получения дорожного покрытия с неоднородной структурой в направлениях – вдоль и поперек оси дороги.

Таким образом, существующая технология уплотнения слоя горячей асфальтобетонной смеси укаткой дорожными катками априори предусматривает получение неоднородного асфальтобетонного покрытия, не способного одинаково сопротивляться внешним, особенно сдвиговым, нагрузкам в различных направлениях.

Снижению неоднородности структуры верхнего слоя может способствовать совершенствование технологии уплотнения.

© Квитко Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент; e-mail: kvitko.67.67@mail.ru
Козловский Николай Андреевич – аспирант; e-mail: nkozlovskiy@abz-1.ru

Alexander V. Kvitko – Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, e-mail: kvitko.67.67@mail.ru
Nikolay A. Kozlovsky – Postgraduate Student, e-mail: nkozlovskiy@abz-1.ru



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

RUTTING FORMATION OF NON-RID ROAD PAVEMENTS

A.V. Kvitko, N.A. Kozlovsky

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint-Petersburg, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 06 November 2024
Approved: 29 August 2025
Accepted for publication:
10 September 2025

Keywords:

rutting, compaction technology,
heterogeneity, shear stability,
road surface.

ABSTRACT

Increasing the stability of road pavements during their operation is an important task for all participants in the construction of this complex engineering structure. One of the failure modes for flexible pavements is rutting. Rutting can occur both due to insufficient shear stability of the top layer and the entire road as a whole. As studies by domestic and foreign scientists show, the process of rutting is greatly influenced by the shear stability of the road surface material. Failure occurs when the external load reaches or exceeds the shear strength of the material. At the same time, residual deformations begin to develop and accumulate in the upper layer of the road surface. Accumulating over time, they form a rut in the run-up zone of the upper layer.

An analysis of the interaction process between the wheels of a moving vehicle and the road surface shows that the forces from it act on the road surface in different planes, and not just parallel to the longitudinal axis of the road. But, during the process of compacting the layer of asphalt concrete mixture by rolling, there were no forces from the rollers acting in the transverse direction of the road. Therefore, the wear layer resists external forces acting in the transverse direction of the road less effectively than along the longitudinal axis of the road. This is one of the main factors in obtaining a road surface with a non-uniform structure in the directions – along and across the road axis.

As a result, the existing technology for compacting a layer of hot asphalt concrete mixture by rolling road rollers a priori provides for the production of a heterogeneous asphalt concrete coating that is not capable of equally resisting external, especially shear, loads in different directions.

Improving compaction technology can help reduce the heterogeneity of the structure of the top layer.

Введение

В последнее время мировая практика эксплуатации автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием столкнулась с проблемой образования колеи, которая снижает срок их службы. Одной из многочисленных причин, вызывающих ее образование и развитие в процессе эксплуатации дороги, является неоднородность свойств уплотненного асфальтобетонного слоя. Так, существующая технология уплотнения слоев асфальтобетонных смесей дорожными катками предусматривает их движение по схеме «вперед – назад» вдоль продольной оси дороги. Используемые в процессе строительства дорожные катки не могут выполнять уплотнение асфальтобетонной смеси так, чтобы в результате получалось дорожное покрытие с одинаковыми физико-механическими свойствами по всем направлениям. Рабочие органы уплотняющих машин оказывают направленное силовое воздействие на формирование структуры асфальтобетона в процессе уплотнения, так как силовое воздействие со стороны рабочих органов дорожных катков находится в плоскости, параллельной продольной оси дороги. Это приводит к формированию структуры уплотняемого материала с направленной ориентацией зерен наполнителя, что обуславливает неоднородность физико-механических свойств дорожного покрытия. В результате чего сопротивление асфальтобетона на сдвиг в продольном и поперечном направлениях дорожного полотна различные. Это стимулирует процесс образования продольной колеи и приводит к снижению срока службы дорожного покрытия. Отсюда вытекает потребность в разработке рекомендаций по совершенствованию технологии уплотнения асфальтобетона для получе-

ния однородной структуры, снижающей темпы колееобразования, а также необходимость в разработке новых методов контроля дорожных покрытий на развитие колеи.

Основная часть

Повышение устойчивости дорожных одежд в процессе их эксплуатации является важной задачей для всех участников строительства этого сложнейшего инженерного сооружения. Одним из видов отказов для нежестких дорожных покрытий является образование колеи [1–4]. Образование колеи может происходить как из-за недостаточной сдвиговой устойчивости верхнего слоя, так и всей дороги в целом [5–7]. Как показывают исследования отечественных и зарубежных ученых [6; 8–11], на процесс образования колеи большое влияние оказывает сдвиговая устойчивость материала дорожного покрытия. Разрушение происходит тогда, когда значения внешней нагрузки достигнут или превысят предел прочности материала на сдвиг. При этом в верхнем слое дорожного покрытия начинают развиваться и накапливаться остаточные деформации. Накапливаясь во времени, они образуют колею в полосе наката верхнего слоя. Установлено, что на величину сопротивления сдвиговым нагрузкам верхнего слоя дорожного покрытия оказывают влияние такие факторы, как температура, так и структура самого асфальтобетона [11; 13].

Однако на процесс образования и развитие колеи оказывают влияние и другие факторы, представленные на рисунке: это и нагрузка от транспортных средств (ТС), окружающая среда и сама технология устройства дорожных одежд. Они могут значительно ускорить процесс образования и развития колеи на дороге, сократить межремонтные сроки [8; 12–15].



Рис. Схема влияния различных факторов, оказывающих влияние на образование колеи

Fig. Scheme of the influence of various factors influencing rutting

Большое влияние на образование колеи оказывает завершающий этап строительства (см. рисунок) – это процесс уплотнения свежеложенного слоя, укаткой дорожными катками [2; 13]. ГОСТ Р 58406.2-2020 предусматривает необходимые требования по выполнению процесса укатки этого слоя, при которых дорожное покрытие в процессе эксплуата-

ции должно оставаться устойчивым к воздействию внешних нагрузок, в том числе и к образованию колеи.

Однако, как показывают исследования [2; 13; 16], сама технология уплотнения свежеложенного слоя в дорожном покрытии укаткой предопределяет возможность образования колеи. Так как после завершения укатки дорожное покрытие обладает неоднородной структурой, которая различно сопротивляется сдвиговым нагрузкам в продольном и поперечном направлениях дороги, что обусловлено формированием такой структуры покрытия после завершения процесса его уплотнения.

Укатка верхнего слоя горячей асфальтобетонной смеси, уложенного в дорожное покрытие, осуществляется катками различного типа и массы. К ним относятся катки с гладкими металлическими вальцами (катки статического действия), катки вибрационного типа, катки на пневматических шинах. Также широко применяются комбинированные катки, сочетающие в себе две оси, из которых одна представляет собой гладкий металлический валец со встроенным вибратором (вибрационный валец), а другая – набор пневматических колес (пневматический валец). Перечисленные типы катков выпускаются различной массы – от легких, 4–6 тс, до тяжелых – 10 тс и более.

Начинают укатку катком легкого типа, у которого контактные давления под рабочим органом не должны превышать предел прочности уплотняемого материала. После нескольких проходов по следу легкого катка происходит увеличение плотности и прочности слоя покрытия. Для дальнейшего получения требуемых значений плотности его должны последовательно друг за другом сменить более тяжелые катки: средний, а затем тяжелый. Каждый из них должен выполнить на всей площади захватки, с перекрытием предыдущего следа, несколько проходов сначала легким, а затем катками более тяжелого типа. Количество проходов каждого катка определяется условиями производства и квалификацией оператора (прораба). Поэтому выполнить процесс укатки верхнего слоя дорожного покрытия звеном дорожных катков, различных по типу и их массе, при постоянно изменяющихся условиях производства является сложнейшей задачей, превращающейся в искусство дорожного мастера [17; 18].

Укатка свежеложенного слоя по длине захватки осуществляется путем перемещения катка по схеме вперед – назад вдоль продольной оси дороги. При этом на слой асфальтобетонной смеси со стороны вальцов дорожного катка действуют две силы как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Однако эти силы находятся только в одной плоскости – в плоскости движения катка, которая располагается параллельно продольной оси дороги. В поперечном направлении на слой действует только вертикальная сила. Под действием этих сил и формируется структура будущего слоя асфальтобетонного покрытия. Поскольку асфальтобетон представляет собой реологический материал, который, как и все подобные ему материалы, обладает памятью, он помнит, в каком направлении действовали внешние нагрузки при формировании его структуры. Поэтому покрытие с такой структурой будет сопротивляться наиболее эффективно именно в этом направлении, то есть вдоль продольной оси дороги.

Однако анализ процесса взаимодействия колеса движущегося транспорта с дорожным покрытием показывает, что силы от него действуют на поверхность дороги в разных плоскостях, а не только параллельно продольной оси дороги. Но в процессе уплотнения слоя асфальтобетонной смеси укаткой со стороны вальцов не было сил, действующих в поперечном направлении дороги. Поэтому внешним силам, действующим в поперечном

направлении дороги, слой износа сопротивляется менее эффективно, чем вдоль продольной оси дороги. Это является одним из главных факторов получения дорожного покрытия с неоднородной структурой в направлениях – вдоль и поперек оси дороги.

Таким образом, существующая технология уплотнения слоя горячей асфальтобетонной смеси укаткой дорожными катками априори предусматривает получение неоднородного асфальтобетонного покрытия, не способного одинаково сопротивляться внешним, особенно сдвиговым, нагрузкам в различных направлениях, что и предопределяет возможность образования колеи. В связи с этим ГОСТ 58406.3-20 предусматривает испытание материала, используемого в верхнем слое, на предрасположенность его к образованию колеи [6; 7; 13].

Как известно, для снижения образования колеи на дорожном покрытии предлагается много различных способов. В основном они направлены на повышение устойчивости материала покрытия сдвиговым нагрузкам путем изменения зернового состава заполнителя и модификации вяжущего или внесение дополнительных добавок (например, армирование) в его структуру [8; 13; 19; 20]. Эти меры несколько снижают темпы развития колеи, однако полностью не исключают ее образование.

Снижению неоднородности структуры верхнего слоя может способствовать совершенствование технологии уплотнения. Например, применение катков на пневматических шинах с рабочим органом в виде обычного автомобильного колеса. Силы, действующие на уплотняемый слой от такого колеса с протектором и без него, направлены не в одном направлении, как у металлического вальца, а в двух – вертикальном и горизонтальном.

Это дает возможность в процессе укатки формировать более однородную структуру, чем при уплотнении катками с гладкими вальцами, получить структуру верхнего слоя, устойчивую к сдвиговым нагрузкам как вдоль, так и поперек оси дорожного полотна.

Каждая ось дорожных катков, которые первыми появились в нашей стране (Д-472, Д-627 и др.), состояла из набора автомобильных колес. В дальнейшем эту конструкцию колес заменили на специально разработанную конструкцию, которая используется как у отечественных (Д-100 и RC-12SS), так и у зарубежных катков [21–23].

Однако такая замена создала много проблем в процессе эксплуатации пневмокатков с такими колесами. Они обладают жестким корпусом, гладкой и более широкой поверхностью контакта, чем автомобильные шины. В результате под таким колесом в плоскости, перпендикулярной продольной оси дороги, силы действуют на уплотняемый слой только в вертикальном направлении, так же, как и у гладкого металлического вальца. В результате чего при уплотнении верхнего слоя катками с такими колесами получают структуру материала, не однородную по своим сдвиговым характеристикам в продольном и поперечном направлениях дороги.

Кроме того, практика эксплуатации катков с такими колесами выявила ряд проблем, оказывающих негативно влияние на темпы строительства и качество работ. К ним относятся:

- повышенная миграция вяжущего на поверхность покрытия, которая снижает его шероховатость и сцепные качества. Миграция битума на поверхность покрытия происходит под действием вакуумной области, образующейся при качении такого колеса по гладкой поверхности уплотняемого слоя;

- такие колеса обладают также повышенным налипанием смеси на поверхность колес. Это требует длительного прогрева колес до начала их работы и хорошего постоянного смачивания их поверхности качения специальной жидкостью.

Эти недостатки, возникающие в процессе эксплуатации катков на пневматических шинах с такими колесами, ограничивают их применение, снижают темпы строительства, ухудшают сцепные качества дороги, а главное – предопределяют получение неоднородной структуры дорожного покрытия.

Заключение

Таким образом, можно сформулировать рекомендации к нашим производителям катков на пневматических шинах. В последующих конструкциях этих машин предусмотреть возможность избавить этот тип катков от перечисленных недостатков:

1. Вернуться к использованию в качестве рабочих органов таких катков автомобильные шины или авиационные колеса. Использование автомобильных шин исключит процесс миграции битума на поверхность уплотняемого слоя. Боковые протекторы дают возможность прониканию воздуха в область контакта колеса с уплотняемым слоем и исключить образование в ней вакуума.

2. Изготовителю катков на пневматических шинах предусмотреть навесное оборудование для обогрева колес, аналогично системе обогрева выглаживающей плиты укладчика асфальтобетонной смеси.

***Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.*

***Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

***Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.*

Библиографический список

1. 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 / ООО «Сдавучи». – СПб, 2010. – С. 114–128.
2. Мирончук, С.А. Мониторинг интенсивности, состава и скорости движения транспортных средств на участках федеральных дорог подверженных колееобразованию [Текст] / С.А. Мирончук, В.П. Матуа // Межд. науч.-практ. конф. «Строительство-2009». – Ростов н/Д.: РГСУ, 2009. – С. 34–35
3. A thermo-viscoelastic-viscoplastic-viscodamage constitutive model for asphaltic materials [Text] / M.K. Darabi [et al.] // International Journal of Solids and Structures. – 2011. – Vol. 48, № 1. – P. 191–207.
4. Казарновский, В.Д. Проблема колееобразования на дорогах с асфальтобетонным покрытием [Текст] / В.Д. Казарновский // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – № 2. – С. 3–4
5. Обзорная информация о отечественных и зарубежных методах предотвращения колееобразования на асфальтобетонных покрытиях в условиях современных транспортных нагрузок [Текст] / Федеральное дорожное агентство мин. транспорта РФ. – М.: Информавтодор, 2005. – 130 с.
6. Поздняков, М.К. Зарубежный опыт оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона [Текст] / М.К. Поздняков, Н.В. Быстров // Сб. ст. и док. ежегод. науч. сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М., 2009. – С. 7–17.
7. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи [Текст] / В.В. Мозговой, А.Н. Онищенко, А.В. Прудкий [и др.] // Дорожная техника. – 2010. – Вып. 65. – С. 114–128

8. Чернов, С.А. Пути повышения устойчивости к пластическому колееобразованию щебеночно-мастичных асфальтобетонов / С.А. Чернов, К.Д. Голубин // Дороги и мосты. – 2014. – Т.2, № 32. – С. 264–272.
9. Васильев, А.П. Причины образования колеи и пути их устранения [Текст] / А.П. Васильев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1999. – № 2. – С. 6–9.
10. Поздняков, М.К. Разработка метода оценки сопротивляемости асфальтобетона колееобразованию [Текст] / М.К. Поздняков, Н.В. Быстров // Сб. ст. и док. ежегод. науч. сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М., 2010. – С. 7–17.
11. EN 12697-22. 2033 Битумные смеси. Методы испытания горячего асфальтобетона [Текст]: Ч. 22. Испытание на колееобразование прокатыванием нагруженного колеса [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.docin.com/p-74011357.html> (дата обращения: 01.09.2024).
12. Бойцев, А.В. Обоснование параметров вальцов дорожного катка с изотропным силовым воздействием: автореф. ... канд. техн. наук / А.В. Бойцев. – СПб., 2016. – 16 с.
13. Васильев, А.П. Причины образования колеи и пути их устранения [Текст] / А.П. Васильев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1999. – №2. – С. 6–9.
14. Васильев, А.П. Проблемы разработки методов прогнозирования глубины колеи на автомобильных дорогах [Текст] / А. П. Васильев // Проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог в начале XXI века: сб. науч. тр. – М.: МАДИ (ГТУ), 2000. – С. 4–32.
15. Жалко М.Е., Черный К.А. Влияние водно-теплового режима основания автомобильной дороги на состояние дорожной одежды // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, по 3. – С 97–103. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.10
16. Бургунутдинов, А.М. Экспериментальные исследования физико-механических процессов в сезонно-мерзлых грунтах конструкций автомобильных дорог / А.М. Бургунутдинов, К.Р. Истомина, В.И. Клевеко// Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, по 3. – С. 98–106. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.09
17. Казарновский, В.Д. Проблема колееобразования на дорогах с асфальтобетонным покрытием [Текст] / В. Д. Казарновский // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – № 2. – С. 3–4.
18. Костельов, М.П. Уплотнению асфальтобетона требуется обновленное поколение дорожных катков [Текст] / М.П. Костельов // Дорожная техника: каталог-справочник. – СПб.: Славутич, 2003. – С. 12–22.
19. Костельов М.П. Новая усовершенствованная технология устойчиво обеспечивает высокое качество уплотнения асфальтобетона [Текст] / М.П. Костельов, В.П. Перевалов // Дорожная техника: каталог-справочник. – СПб.: Славутич, 2005. – С. 120-132.
20. Krishnan, J. M. On the mechanical behavior of asphalt [Text] / J.M. Krishnan, K.R. Rajagopal // Mechanics of materials. – 2005. – Vol. 37. – № 11. – P. 1085–1100.
21. Жданюк, В.К. Устойчивость асфальтобетонов различных гранулометрических типов к накоплению пластических деформаций в виде колеи / В.К. Жданюк, В.М. Доценко// Автошляховник України. – 2009. №1. – С. 31–34.
22. Путк А.И. Обоснование выбора некоторых параметров и режимов работы самоходных катков на пневматических шинах при уплотнении асфальтобетона [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / А.И. Путк. – М., 1967. – 365 с.

23. Путь А.И. Температурный режим асфальтобетонной смеси при ее уплотнении катками на пневматических шинах [Текст] / А.И. Путь // *Автомобильные дороги*. – 1975. – № 3. – С. 8–9.

24. Путь А.И. Эффективность некоторых дорожных катков [Текст] / А.И. Путь // *Автомобильные дороги*. – 1978. – № 6. – С. 12–13.

References

1. Mozgovoy V.V. Eksperimental'naya ocenka ustojchivosti asfal'tobetonnoy pokrytiya k obrazovaniyu koleynosti / V.V.Mozgovoy, A.N.Onishchenko i dr. // *Dorozhnaya tekhnika i tekhnologii: katalog –spravochnik / OOO «Sdavutich»*, – SPb, 2010.- s.114-128.

2. Mironchuk S. A. Monitoring intensivnosti, sostava i skorosti dvizheniya transportnykh sredstv na uchastkakh federal'nykh dorog podverzhennykh koleeobrazovaniyu [Текст] / S. A. Mironchuk, V. P. Matua // *Mezhd. nauch.-prak. konf. «Stroitel'stvo-2009»*. – Rostov n/D.: RGSU, 2009. – S. 34-35.

3. A thermo-viscoelastic–viscoplastic–viscodamage constitutive model for asphaltic materials [Text] / M.K. Darabi et al. // *International Journal of Solids and Structures*. – 2011. – Vol. 48. – № 1. – P. 191-207.

4. Kazarnovskiy V.D. Problema koleeobrazovaniya na dorogah s asfal'tobetonnyy pokrytiem [Текст] / V. D. Kazarnovskiy // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. – 2000. – № 2. – S. 3-4

5. Obzornaya informatsiya o otechestvennykh i zarubezhnykh metodakh predotvrashcheniya koleeobrazovaniya na asfal'tobetonnykh pokrytiyakh v usloviyakh so-vremennykh transportnykh nagruzok [Текст] / *Federal'noe dorozhnoe agenstvo min. transporta RF*. – M.: Informavtodor, 2005. – 130 s.

6. Pozdnyakov M. K. Zarubezhnyy opyt ocenki sdvigoustojchivosti asfal'tobetona [Текст] / M. K. Pozdnyakov, N. V. Bystrov // *Sb. st. i dok. ezhegod. nauch. sessii Associatsii issledovatelej asfal'tobetona*. – M., 2009. – S. 7-17

7. Eksperimental'naya ocenka ustojchivosti asfal'tobetonnoy pokrytiya k obrazovaniyu koleynosti [Текст] / V. V. Mozgovoy, A. N. Onishchenko, A. V. Prudkiy i dr. // *Dorozhnaya tekhnika*. – 2010. – Vyp. 65. – S. 114-128

8. Chernov S.A., Golyubin K.D. Puti povysheniya ustojchivosti k plasticheskomu koleeobrazovaniyu shchebyonochno-mastichnykh asfal'tobetonov // *Dorogi i mosty*. 2014. T.2. № 32. S.264-272.

9. Vasil'ev, A. P. Prichiny obrazovaniya kolej i puti ih ustraneniya [Текст] / A. P. Vasil'ev // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli-1999.- №2.-S. 6-9*

10. Pozdnyakov M. K. Razrabotka metoda ocenki soprotivlyaemosti asfal'tobetona koleeobrazovaniyu [Текст] / M. K. Pozdnyakov, N. V. Bystrov // *Sb. st. i dok. ezhegod. nauch. sessii Associatsii issledovatelej asfal'tobetona*. – M., 2010. – S. 7-17

11. EN 12697-22. 2033 Bitumnye smesi. Metody ispytaniya goryachego asfal'tobetona [Текст]: CH. 22. Ispytanie na koleeobrazovanie prokatyvaniem nagruzhennogo koleasa [Elektronnyy resurs]. – URL: <http://www.docin.com/p-74011357.html>

12. Bojcev A.V. Obosnovanie parametrov val'cov dorozhnogo katka s izotropnym silovym vozdeystviem./Avtoref.na soisk.uch.st.k.t.n. SPb.,2016,s.-16.

13. Vasil'ev, A. P. Prichiny obrazovaniya kolej i puti ih ustraneniya [Текст] / A. P. Vasil'ev // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli-1999.- №2.-S. 6-9*

14. Vasil'ev A. P. Problemy razrabotki metodov prognozirovaniya glubiny kolei na avtomobil'nyh dorogah [Tekst] / A. P. Vasil'ev // Problemy stroitel'stva i ekspluatatsii avtomobil'nyh dorog v nachale XXI veka: Sb. nauch. tr. -M.: MADI (GTU), 2000. – S. 4 – 32
15. Zhalko M.E., Chernyj K.A. Vliyanie vodno-teplovogo rezhima osnovaniya avtomobil'noj dorogi na sostoyanie dorozhnoj odezhdy // *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura*. – 2019. – T. 10, No 3. – S. 97–103. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.10
16. Burgonutdinov A.M., Istomina K.R., Kleveko V.I. Eksperimental'nye issledovaniya fiziko-mekhanicheskikh processov v sezonno-merzlyh gruntah konstrukcij avtomobil'nyh dorog // *Construction and Geotechnics*. – 2022. – T. 13, No 3. – S. 98–106. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.09
17. Kazarnovskij V.D. Problema koleobrazovaniya na dorogah s asfal'tobetonnyim pokrytiem [Tekst] / V. D. Kazarnovskij // *Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli*. – 2000. – № 2. – S. 3-4
18. Kostel'ov M.P. Uplotneniyu asfal'tobetona trebuetsya obnovlennoe pokolenie dorozhnyh katkov [Tekst] / M.P. Kostel'ov // *Dorozhnaya tekhnika: katalog-spravochnik*. – SPb.: Slavutich, 2003. – S. 12-22.
19. Kostel'ov M.P. Novaya usovershenstvovannaya tekhnologiya ustojchivo obespechivaet vysokoe kachestvo uplotneniya asfal'tobetona [Tekst] / M.P. Kostel'ov, V.P. Perevalov // *Dorozhnaya tekhnika: katalog-spravochnik*. – SPb.: Slavutich, 2005. – S. 120-132.
20. Krishnan, J. M. On the mechanical behavior of asphalt [Text] / J.M. Krishnan, K.R. Rajagopal // *Mechanics of materials*. – 2005. – Vol. 37. – № 11. – P. 1085-1100.
21. Zhdanyuk V.K., Docenko V.M. Ustojchivost' asfal'tobetonov razlichnyh granulometricheskikh tipov k nakopleniyu plasticheskikh deformacij v vide kolei. *Avtoshlyahovnik Ukrainy*. 2009. №1. S.31-34.
22. Putk A.I. Obosnovanie vybora nekotoryh parametrov i rezhimov raboty samohodnyh katkov na pnevmaticheskikh shinah pri uplotnenii asfal'tobetona [Tekst] : dis. ... kand. tekhn. nauk / A.I. Putk. – M., 1967. – 365 s.
23. Putk A.I. Temperaturnyj rezhim asfal'tobetonnoj smesi pri ee uplotnenii katkami na pnevmaticheskikh shinah [Tekst] / A.I. Putk // *Avtomobil'nye dorogi*. – 1975. – № 3. – S. 8-9.
24. Putk A.I. Effektivnost' nekotoryh dorozhnyh katkov [Tekst] / A.I. Putk // *Avtomobil'nye dorogi*. – 1978. – № 6. – S. 12-13.