

УДК (UDC) 625.084

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАВНОСТИ ОСТАНОВКИ КАТКА НА КАЧЕСТВО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

INVESTIGATION OF THE EFFORT OF SMOOTHNESS OF ROAD ROLLER STOP ON THE QUALITY OF ASPHALT

Казаков О.Ю.^{1, 2}, Кустарев Г.В.²
Kazakov O.Yu.¹, Kustarev G.V.²¹ - Машиностроительный завод БЕЦЕМА (Красногорск, Россия)² - Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (Москва, Россия)¹ - The machine factory BECEMA (Krasnogorsk, Russian Federation)² - Moscow automobile and road construction state technical university (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. Асфальтобетон нашел широкое применение в строительстве. Особенно стоит выделить его применение в качестве дорожного покрытия как распространенный и востребованный материал. Процесс уплотнения асфальтобетона дорожными катками - сложный процесс, обладающий своей спецификой и недостатками. Целью данного исследования является обоснование наличия технологий безостановочного уплотнения асфальтобетонного покрытия дорожным катком. В статье анализируются недостатки текущей технологии (возвратно-поступательное уплотнение с торможением) и рассматриваются возможные пути решения проблем путем поступательного уплотнения смеси. Представлена схема взаимодействия вальца катка с уплотняемой асфальтобетонной смесью, описаны негативные последствия возвратно-поступательного движения катка и резкого торможения на уложенном покрытии. Рассмотрены и проанализированы взаимосвязи дефектов и их причин возникновения по вине катка или его машиниста. Представлен ожидаемый эффект от внедрения поступательного уплотнения взамен циклического. Обосновано безостановочное уплотнение асфальтобетонного покрытия дорожным катком, описаны преимущества и недостатки различных технологий укатки.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, уплотнение, дорожный каток, дефект, валец, торможение.

Дата принятия к публикации: 05.08.2019
Дата публикации: 25.09.2019

Сведения об авторах:

Казаков Олег Юрьевич – инженер-конструктор, Машиностроительный завод "БЕЦЕМА", e-mail: 4informatika@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5747-6072

Кустарев Геннадий Владимирович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, e-mail: projectdm@mail.ru.

Abstract. Asphalt concrete, being a durable composite material, has found wide application in construction. Especially it is necessary to highlight its use as a road surface as a common and popular material. The process of compacting asphalt concrete by road rollers is a complex process, with its own specifics and disadvantages. The purpose of the research is to substantiate the availability of technologies for the continuous compaction of asphalt concrete pavement with a road roller. This article analyzes the drawbacks of current technology (reciprocating compaction with braking) and discusses possible solutions to problems by progressively compressing the mixture. The scheme of interaction between the roller of the roller with the compacted asphalt-concrete mixture is presented, the negative consequences of the reciprocating motion of the roller and sudden braking on the laid floor are described. The interrelationship of defects and their causes due to the fault of the roller or its driver were examined and analyzed. The expected effect from the introduction of the translational seal instead of the cyclic one is presented. In conclusion, the non-stop compaction of asphalt concrete pavement with a road roller is justified, and the advantages and disadvantages of various rolling technologies are described.

Keywords: asphalt pavement, compaction, road roller, defect, drum, braking.

Date of acceptance for publication: 05.08.2019
Date of publication: 25.09.2019

Authors' information:

Oleg Yu. Kazakov – Design engineer at the Machine Factory "BECEMA", e-mail: 4informatika@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5747-6072

Gennady V. Kustarev – Candidate of Engineering Sciences, Professor, Head of Department at Moscow automobile and road construction state technical university, e-mail: projectdm@mail.ru.

1. Введение

Сеть автомобильных дорог включает в себя местные, региональные и федеральные трассы и является важнейшим средством для грузовых и пассажирских перевозок в стране. Чаще всего, для устройства дорог общего пользования используется асфальтобетон, зарекомендовавший себя как прочный композитный материал, состоящий, преимущественно, из битума и щебня. Асфальтобетон - самый распространенный композитный материал для полотна большинства дорог общего пользования [1]. Необходимо отметить, что впервые асфальт был применён в России в 1839 г. и стал популярным строительным материалом [2]. Битум, щебень, песок, различные добавки, являясь основой смеси, проходят сертификацию и отбираются в соответствии с установленными рамками [3].

Актуальность темы обусловлена большим количеством исследований в области уплотнения асфальтобетонного покрытия и дорожного строительства для повышения безопасности движения путем улучшения всех частей дороги [4]. Комплекты машин способны работать даже на наклонных поверхностях - примером тому служит устройство асфальтобетонного покрытия на стадионе NASCAR [5]. Для повышения безопасности на строительной площадке устанавливаются звуковые сигналы, световые индикаторы и другие меры предосторожности [6]. С каждым годом, появляются всё новые изменения в устройстве катка. Так, например, всё больше внедряются системы плавной остановки и старта катка [7]. Рынок дорожных катков вырос на 30% за последние годы, на развитие этого направления отрасли была получена поддержка государства [8].

Нагрузка от транспортного потока на дорожное полотно растёт из года в год, постепенно изнашивая дорогу. Напряжения, вызываемые автотранспортом, подвергают деформациям асфальтобетон как сжимающим, так и растягивающим. Такие явления как растрескивание и появление выбоин постепенно разрушают верхние слои и затрагивают всё больший объём, проникая всё глубже и глубже. Очевидным итогом описанного

процесса является приведение участка дороги в негодность и аварийное состояние. Несмотря на ограничение воздействия со стороны большегрузных машин на часть дорог, необходимость в частом ремонте дорог не исчезает. Ведутся разработки новых, более устойчивых к износу асфальтобетонных смесей [9].

Устройство покрытия - сложный процесс. Технология делится на 4 основных этапа, первым из которых являются подготовительные работы. Они включают в себя подбор необходимого состава смеси, удовлетворяющего все стандарты для проекта, и её изготовление.

Второй этап состоит из доставки и приемки смеси. Стоит обратить внимание, что с недавних пор (в случае безостановочного скоростного строительства) к этим шагам добавляется работа перегружателя асфальтобетонной смеси.

После этого, следует работа асфальтоукладчика по равномерному распределению материала по ширине строящейся дороги и предварительному уплотнению смеси.

Окончанием строительства покрытия является уплотнение асфальтобетонной смеси дорожными катками. Важность данного шага сложно переоценить, его успех или провал будет напрямую влиять на сдачу проекта ввиду критического влияния дефектов на финальное качество покрытия дороги.

Дефекты, образующиеся при торможении и разгоне катка, приводят к дальнейшему разрушению покрытия и вывода дороги из эксплуатации раньше срока [10]. Опыт исследований показал пагубность таких дефектов, как трещины и дальнейшее их развитие, даже на дорогах с твердым основанием [11]. Причины возникновения дефектов покрытия многогранны и зачастую зависят от не одного десятка факторов, начиная с недочетов конструкции конкретной строительной машины и заканчивая человеческим фактором. Получены новые неразрушающие методы обнаружения сегрегации в покрытии [12].

Необходимо уделять внимание причинам появления дефектов от повреждения верхних слоев покрытия асфальтобетонного полотна в связи с постоянно ужесточающимися тре-

бованиями к качеству дорожного полотна [13]. Для определения характеристик смеси, разработаны новейшие методы получения образцов [14].

2. Постановка задачи

Целью научного исследования является обоснование наличия технологий безостановочного уплотнения асфальтобетонного покрытия дорожным катком.

Были поставлены такие задачи как:

- выявление причин появления повреждений дорожного покрытия при резкой остановке катка;
- выявление количества дефектов дорожного покрытия, вызванных резкой остановкой, с последующим анализом результатов использования оптимальных технологий укатки;
- выбор оптимальных технологий;
- проведение экспериментальных исследований для подтверждения теоретических данных с последующим формулированием выводов.

3. Анализ причин возникновения дефектов покрытия

Силы, участвующие в процессе остановки, изображены на схеме (рис. 1). Центр тяжести катка расположен между двух валцов. Сила $F_{ин}$ - это сила, возникающая в результате замедления катка за счет действия сил сцепления $F_{сц1}$ и $F_{сц2}$, а так же силы тяжести от собственной массы катка $F = mg$ (где m – масса катка; g – ускорение свободного падения). Вальцы давят на уплотняемый материал с силами F_2 для второго вальца и F_1 , соответственно, для первого.

Таким образом, равнодействующая в виде момента M также способствует концентрации напряжения перед вальцом катка 1.

Одно из явлений - резкое торможение катка при укладке асфальта (рис. 2). Это приводит к повреждению внешнего слоя покрытия асфальтобетонной смеси и объясняется действием тормозной силы и равнодействующей силой. В результате, образовав-

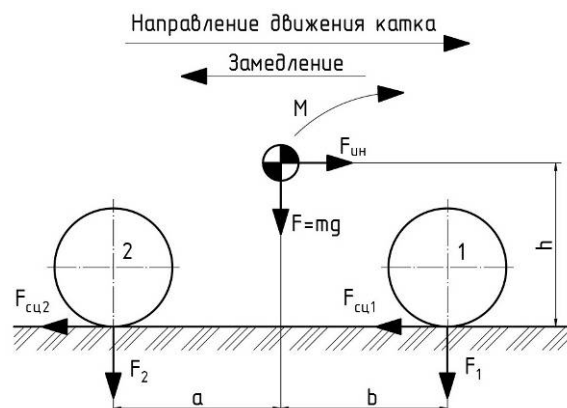


Рис. 1. Действие сил при торможении катка

шиеся мелкие дефекты (микротрещины, поры и т.д.) будут увеличиваться в размерах и приводить к необходимости ремонта участка дорожного полотна.

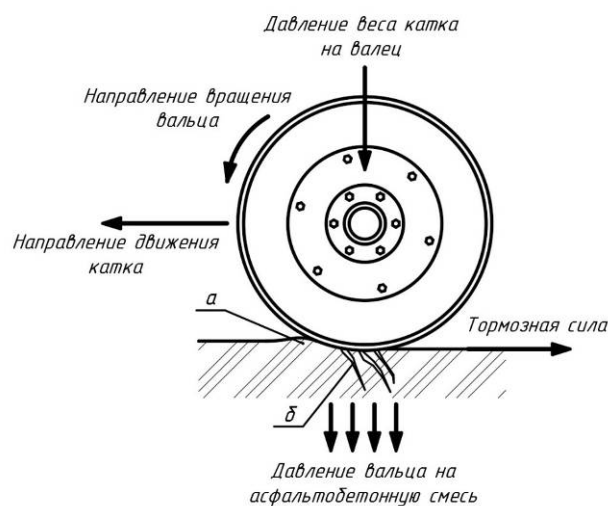


Рис. 2. Схема взаимодействия вальца катка с асфальтобетонной смесью (а - образование волны; б - повреждение верхних слоев покрытия, излишнее уплотнение асфальтобетонной смеси)

Акцентируя внимание на дефектах асфальтобетонного покрытия, следует систематизировать их по причинам возникновения. Устранение пористости асфальтобетона является одним из основных приоритетов при уплотнении. Однако всегда существуют остаточные явления в виде микротрещин [15] и небольших пор [16]. Следование технологии уплотнения смеси необходимо для удовлетворения заданных требований для проекта [17].

Поддержание температуры смеси и темпа укладки критически важно. В случае, если

температура асфальтобетона опустится ниже требуемого диапазона, произойдет сегрегация материала и невозможность использования данного вещества как покрытие дороги даже при повторном нагреве. Данный сдерживающий фактор ограничивает возможности по строительству на отдаленных участках и повышает производственные риски.

Основываясь на исследованиях ЗАО «ВАД» об уплотняющей способности дорожных катков, отбросив не связанные с катками причины возникновения дефекта, составлена табл. 1 [18].

Количество дефектов из-за ошибок при эксплуатации дорожных катков и несовершенства конструкции и технологии уплотнения составляет около 54% от общего числа.

Таблица 1

Зависимость дефектов от причин их возникновения

Дефект асфальтобетонного покрытия	Причины возникновения дефекта
Низкая плотность смеси после завершения укатки, включая локальные места	Плохой подбор катков или неверная их расстановка; нарушения технологии выполнения укатки по 4 параметрам; не изменена технология укладки и укатки с ухудшением погоды
Налипание смеси на валец	Плохое смачивание или слишком холодный валец и шина
Глубокие продольные следы катка на покрытии	Переуплотнение смеси (укатка плотной и остывшей смеси); неверно выбрано место катка в процессе укатки
Сдвиговая волна перед вальцом катка	Тяжелый каток, «забежал» вперед; неверное положение ведущего вальца к укладчику
Поперечные трещины на поверхности после укатки	Переуплотнение смеси (укатка плотной и остывшей смеси)
Бугор или впадина на стыке	Неверное (поперек) выполнение укатки стыка
Неровная (волнистая) поверхность покрытия	Резкое торможение или быстрый реверс хода катка; частота колебаний вальца виброкатка ниже 40 Гц

4. Описание оптимальных технологий уплотнения

На рис. 3 изображены диапазоны значений скорости и времени при остановке катка. По причине неизбежного возникновения различных дефектов покрытия и их количества при остановке (даже рекомендуемой технологией) наиболее оптимальными методиками являются те, которые не предусматривают остановку катка.

Данный принцип возможно осуществить как в целом, для всего отряда машин, так и выборочно, как элемент на наиболее опасных периодах устройства покрытия, таких как первичное уплотнение катком после асфальтоукладчика.

Отсутствие возвратно-поступательного движения уменьшает расстояние от катка до асфальтоукладчика до минимального и асфальтобетон не успевает остыть до критической температуры.

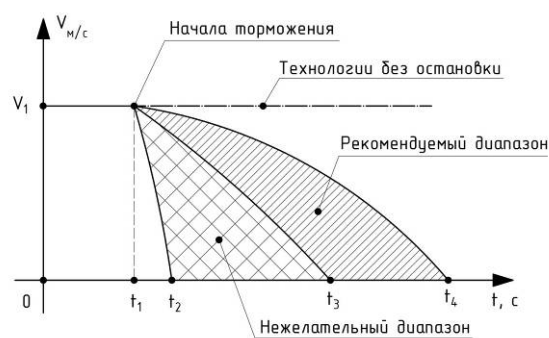


Рис. 3. Действие сил при торможении катка

Существуют две принципиальные схемы уплотнения:

- 1 вариант - рабочие органы совершают уплотнение смеси путем частого силового воздействия во время поступательного движения дорожного катка;
- 2 вариант - рабочие органы расположены друг за другом и рассчитаны на уплотнение

ние соответствующей плотности смеси, совершая работу друг за другом.

Представленные методики уплотнения асфальтобетонной смеси сочетают в себе различные преимущества, но основное из них - это безостановочное следование за асфальтоукладчиком без риска резкого торможения и нарушения технологии перекрытия.

5. Ожидаемый эффект от внедрения оптимальных технологий

На рис. 4 изображено процентное соотношение дефектов в зависимости от причин их вызвавших. Изменение принципиальной технологии уплотнения и уход от возвратно-поступательного движения катка приведет к снижению риска появления дефектов на 46%.

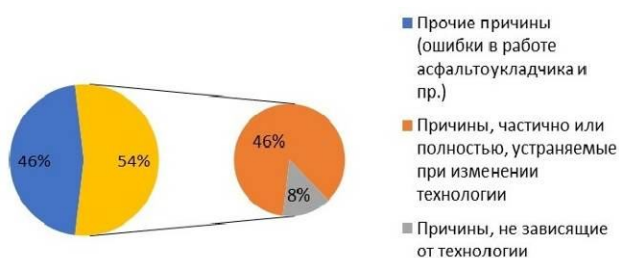


Рис. 4. Диаграмма распределения количества дефектов по причинам

6. Экспериментальное исследование

Целью экспериментального исследования является обоснование технологии плавной остановки катка. С этой целью был проведен эксперимент, показывающий эффект резкости торможения и влияния этого фактора на качество дорожного покрытия.

В рамках исследования были проведены лабораторные исследования на экспериментальном стенде. Стенд состоит из нескольких сборочных единиц. Короб и основание обеспечивают устойчивость и жесткость конструкции. На основании размещается ёмкость для уплотняемого материала. Рабочий орган уплотняет вещество и перемещается с помощью подвижной конструкции.

Валец рабочего органа, изготовленный из поливинилхлорида и имеющий наружный диаметр 210 мм при толщине стенки 5 мм, с электроприводом в виде мотора печи ото-

пления ВАЗ 2107 (таким образом симулируется ведущий рабочий орган дорожного катка), опираясь на металлическую поддерживающую конструкцию (обеспечивающую устойчивость конструкции в целом), двигается по уплотняемому материалу.

В качестве вещества, подвергаемого воздействию вальца, использовался увлажненный кварцевый песок (из расчета 50 мл воды на 1000 г песка), уложенный слоем высотой 40 мм. Комплексный механизм торможения, включающий поэтапное выключение электромотора и ряд зажимов вальца, обеспечивал удовлетворительный результат в виде плавного торможения за настраиваемый период времени.

Оборудование стенда выставлялось таким образом, чтобы ограничивающие факторы в виде габаритных размеров рабочей зоны и ёмкости входили в предполагаемую зону торможения.

На электрооборудование подключались резисторы, уменьшающие скорость вращения вальца до допустимых в условиях стенда. Комплексный механизм торможения, включающий поэтапное выключение электромотора и ряд зажимов вальца, обеспечивал удовлетворительный результат в виде плавного торможения за настраиваемый период времени.

Результаты измерялись, вычислялись требуемые параметры и делались промежуточные выводы.

Наглядно показана разница в методах остановки вальца. Повреждения, выявленные в ходе проведенных опытов, показаны на рис. 5. Указанные дефекты покрытия образовались в результате резкого торможения вальца.



Рис. 5. Результаты испытания при резком торможении вальца за 0,4 с

На рис. 5 заметны такие явления, как образование «волны» перед вальцом и повреждения наружной поверхности покрытия различного размера. Указанные дефекты покрытия образовались в результате резкого торможения вальца и концентрации сил в узком месте пятна контакта рабочего органа и уплотняемого материала.

На рис. 6 показаны результаты плавного торможения, иллюстрирующие эффект в виде малого количества повреждений, либо почти полного их отсутствия.

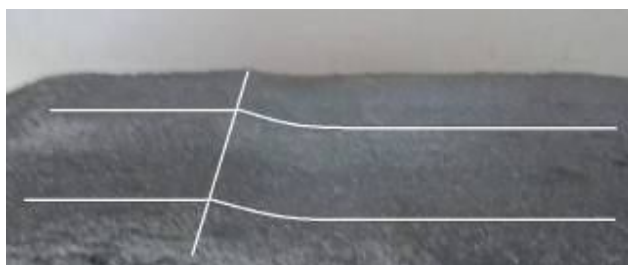


Рис. 6. Результаты испытания при плавном торможении вальца за 1,5 с. (со вспомогательными графическими линиями для наглядности)

Эффект достигнут благодаря равномерному воздействию сил со стороны рабочего органа и отсутствию «протаскивания» материала по всему пятну контакта.

Результаты исследования представлены в табл. 2. В ходе проведения исследований, было проведено 3 ряда опытов по 5 раз. В таблице приведены усредненные данные, взятые как среднее арифметическое.

Таблица 2

Результаты исследования зависимости количества дефектов от торможения

Дефект	Время до полного торможения, с				
	0,4	0,7	1	1,3	1,5
Число трещин и повреждений, шт.	7	6	4	3	1
Относительная площадь поврежденного покрытия, %	34	20	17	12	5

Относительная площадь поврежденного в ходе эксперимента покрытия вычисляется как отношение площади поврежденной поверхности уплотняемого материала к общей площади уплотняемого покрытия. В процессе оценки данного параметра повреждения учитывались значимые дефекты в виде трещин, волнообразования и прочих сопутствующих нарушений целостности покрытия.

Результаты эксперимента (таблица 2) показывают, что резкое торможение дорожного катка пагубно влияет на качество дорожного покрытия: чем меньше время торможения, тем больше произойдет повреждений покрытия дороги.

7. Заключение

При выполнении исследовательской работы была выявлена причина появления повреждений дорожного покрытия при резкой остановке дорожного катка.

Установлено количество дефектов асфальтобетонного покрытия, вызванных резкой остановкой катка. Оценены практический и экономический эффекты от внедрения принципиальных схем безостановочного уплотнения материала. Был произведен анализ результатов использования оптимальных технологий укатки.

Выбраны оптимальные технологии уплотнения и проведено экспериментальное исследование для подтверждения теоретических данных.

Одним из перспективных путей повышения качества дорожного асфальтобетонного покрытия является метод уплотнения покрытия, при котором отсутствует возвратно-поступательное движение катка как альтернатива классической технологии укатки асфальтобетонного покрытия дорожными катками.

В случае использования традиционных методов уплотнения смеси следует придерживаться рекомендуемых диапазонов зависимостей времени торможения от скорости, где происходит плавная остановка катка.

Следует отметить, что на основе данных, изложенных в статье, возможно дальнейшее исследование проблемы повышения качества дорожного покрытия. Кроме того, путем со-

кращения дефектов, вызванных работой дорожного катка, уменьшится необходимость в частом ремонте дорог.

Предложенная в работе экспериментальная методика имеет определенную практическую ценность, так как разработка и внедрение конкретных моделей уплотнения, явля-

ясь разовым вложением, обеспечат такие существенные преимущества как экономия денежных средств, затрачиваемых ранее на ремонт участков дороги, и уменьшение количества дефектов.

Список литературы

1. Massahi, A. Investigation of pavement raveling performance using smartphone / A. Massahi, H. Ali, F. Koohifar, M. Baqersad, M. Mohammadafzali // *International Journal of Pavement Research and Technology*. – 2017. - Vol.11. - №6. - P. 553-563. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1996681417301906?via%3Dihub>.

2. Вишнеvский, Д. Еще немного про асфальт / Д. Вишнеvский // *Высшее образование сегодня*. – 2018. – № 2. – С. 82-89.

3. Надькто, Г.И. Дорожный асфальтобетон / Г.И. Надькто, В.С. Прокопец. – Омск: СибАДИ, 2009. – 154 с.

4. First reaction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.roadsbridges.com/first-reaction> (дата обращения: 03.02.2019).

5. Aged to perfection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.roadsbridges.com/aged-perfection> (дата обращения: 26.04.2019).

6. Beyond compliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.roadsbridges.com/beyond-compliance> (дата обращения: 27.04.2019).

7. Третьяков, Р. Незаметный герой / Р. Третьяков // *Высшее образование сегодня*. – 2019. – № 2. – С. 61-67.

8. Новоселов, В. Дорожные катки. Государство в помощь / В. Новоселов // *Спецтехника и коммерческий транспорт*. – 2017. – № 2. – С. 24-29.

9. Шадриков, В.Д. Пути подборов составов мелкозернистых асфальтобетонных смесей, наиболее устойчивых к процессам колееобразования / В.Д. Шадриков // *Транспортные сооружения*. – 2017. – Т. 5. - № 1. – С. 28-40.

10. Халиулина, Л.Э. Долговечность асфальтобетонных покрытий / Л.Э. Халиули-

References

1. Massahi A., Ali H., Koohifar F., Baqersad M., Mohammadafzali M. Investigation of pavement raveling performance using smartphone. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2017, Vol. 11, No. 6, pp. 553-563.

DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1996681417301906?via%3Dihub>

2. Vishnevskiy D. Eshche nemnogo pro asfalt. *Vysshee obrazovanie segodnya*, 2018, No. 2, pp. 82-89. (In Russian)

3. Nadykto G.I., Prokopec V.S. *Dorozhnyy asfaltobeton* [Road asphalt concrete]. Omsk, SibADI, 2009. 154 p. (In Russian)

4. First reaction [site]. Available at: <https://www.roadsbridges.com/first-reaction>.

5. Aged to perfection [site]. Available at: <https://www.roadsbridges.com/aged-perfection>.

6. Beyond compliance [site]. Available at: <https://www.roadsbridges.com/beyond-compliance>.

7. Tretyakov R. Nezametnyy geroy. *Vysshee obrazovanie segodnya*, 2019, No. 2, pp. 61-67. (In Russian)

8. Novoselov V. Dorozhnye katki. Gosudarstvo v pomoshh. *Spetstekhnika i kommercheskiy transport*, 2017, No. 2, pp. 24-29. (In Russian)

9. Shadrikov V.D. Puti podborov sostavov melkozernistykh asfaltobetonnykh smesey, naibolee ustoychivykh k protsessam koleebrazovaniya. *Transportnye sooruzheniya*, 2017, Vol. 5, No. 1, pp. 28-40. (In Russian)

10. Haliulina L.E. Dolgovechnost asfaltobetonnykh pokrytiy. *Nauchnyy zhurnal*, 2018, No. 11, pp. 26-27. (In Russian)

11. Hafizov E.R., Vdovin E.A., Fomin A.Yu., Mavliev L.F., Bulanov N.E. Sovremennyye metody otsenki ekspluatatsionnykh svoystv dorozhnykh asfaltobetonov. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-*

на // Научный журнал. – 2018. – № 11. – С. 26-27.

11. Хафизов, Э.Р. Современные методы оценки эксплуатационных свойств дорожных асфальтобетонов / Э.Р. Хафизов, Е.А. Вдовин, А.Ю. Фомин, Л.Ф. Мавлиев, Н.Е. Буланов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 2. – С. 279-285.

12. Baqersad, M. Asphalt Mixture Segregation Detection: Digital Image Processing Approach / M. Baqersad, A. Hamed, M. Mohammadafzali, H. Ali // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2017. - Vol. 2016. - P. 6. DOI: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2017/9493408/>.

13. Третьяков, Р. Следом за асфальтоукладчиком и не только / Р. Третьяков // Высшее образование сегодня. – 2014. – № 10. – С. 58-67.

14. Sias, J.D. Comparison of asphalt mixture specimen fabrication methods and binder tests for cracking evaluation of field mixtures / J.D. Sias, M. Corrigan, C. Jacques, R. Nemati, V.D. Eshan, A. Congalton // *Roads materials and pavement design*. – 2019. - Vol. 20. - No.5. Pp. 1059-1075. DOI: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2018.1431148>.

15. Полосин, М.Д. Машинист катка самоходного и полуприцепного на пневматических шинах / М.Д. Полосин, Э.Г. Ронинсон. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 64 с.

16. Дьяков, И.Ф. Строительные и дорожные машины и основы автоматизации / И.Ф. Дьяков. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 523 с.

17. Зубков, А.Ф. Технология укладки асфальтобетонных смесей при строительстве многополосных дорожных покрытий / А.Ф. Зубков. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 81 с.

18. Костельов, М.П. Уплотняющая способность дорожных катков для устройства оснований и покрытий / М.П. Костельов // *Инновации в дорожном строительстве*. - 2010. - № 1. – С. 20-33.

stroitel'nogo universiteta, 2017, No. 2, pp. 279-285. (In Russian)

12. Baqersad M., Hamed A., Mohammadafzali M., Ali H. Asphalt Mixture Segregation Detection: Digital Image Processing Approach. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, Vol. 2017, 6 p. DOI: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2017/9493408/>.

13. Tretyakov, R. Следом за асфальтоукладчиком и не только. *Vysshee obrazovanie segodnya*, 2014, No. 10, pp. 58-67. (In Russian)

14. Sias J.D., Corrigan M., Jacques C., Nemati R., Eshan V.D., Congalton A. Comparison of asphalt mixture specimen fabrication methods and binder tests for cracking evaluation of field mixtures. *Roads materials and pavement design*, 2019, Vol. 20, No. 5, pp. 1059-1075. DOI: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2018.1431148>.

15. Polosin M.D., Roninson E.G. *Mashinist katka samokhodnogo i polupritsepnogo na pnemvmaticheskikh shinakh* [The driver of the roller self-propelled and semi-trailer on pneumatic tires]. Moscow, Izdatelskiy Tsentr «Akademiya», 2008. 64 p. (In Russian)

16. Dyakov I.F. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny i osnovy avtomatizatsii* [Construction and road machines and automation basics]. Ulyanovsk, UIGTU, 2007. 523 p. (In Russian)

17. Zubkov A.F. *Tekhnologiya ukladki asfaltobetonnnykh smesey pri stroitelstve mnogopolosnykh dorozhnykh pokrytiy* [Technology laying asphalt mixes in the construction of multi-lane pavements]. Tambov, Izd-vo FGBOU VO «TGTU», 2016. 81 p. (In Russian)

18. Kostelov M.P. Uplotnyayushchaya sposobnost dorozhnykh katkov dlya ustroystva osnovaniy i pokrytiy. *Innovatsii v dorozhnom stroitelstve*, 2010, No. 1, pp. 20-33. (In Russian).