

Научная статья
УДК 625.76.08

Влияние дорожных катков на формирование дефектов в асфальтобетонных покрытиях

Кирилл Альфредович Русинов¹, Никита Вячеславович Новоторцев²,
Сергей Аркадьевич Павлов³

^{1,2,3}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹kirill.rusinov190820@yandex.ru

²nikita.nova2002@mail.ru

³dormash@madi.ru

Аннотация. В статье приведен обзор уплотняющего оборудования и методов уплотнения асфальтобетонных смесей. Рассмотрены наиболее часто встречающиеся дефекты асфальтобетонных покрытий, связанные с некачественным уплотнением, вибрационным воздействием катков и нарушением подготовки основания, на которое выполняется укладка смеси. Вибрационное воздействие дорожных катков, несмотря на достаточную эффективность, по-прежнему остается не стопроцентной панацеей от появления дефектов в покрытии. Авторами описаны причины, по которым вибрационное воздействие катков не всегда позволяет добиться качественно уложенного слоя асфальтобетонной смеси. Проанализированы статическое и вибрационное воздействия катков на асфальтобетонные смеси, приведены основные преимущества и недостатки различных воздействий на материал. Результатом исследования является зависимость качества уплотнения от способа воздействия, типа машины и подготовки основания. Соблюдение технологии уплотнения катком при строительстве дороги является важнейшим фактором, способствующим значительному увеличению ресурса асфальтобетонного покрытия. Малейшие отклонения в процессе уплотнения катком приводят к формированию дефектов покрытия и сокращению его срока службы. Очередность построения машин в комплекте по весу, очередность применения статического и вибрационного воздействия на смесь, параметры финиширующего катка комплекта – все это в значительной степени влияет на величину плотности асфальтобетонного покрытия и его ресурс.

Ключевые слова: дорожный каток, вибрационное уплотнение, воздействие вальцом на асфальтобетон, дефекты покрытия, статическое воздействие, направление уплотняющего воздействия катка.

Для цитирования: Русинов К.А., Новоторцев Н.В., Павлов С.А. Влияние дорожных катков на формирование дефектов в асфальтобетонных покрытиях // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. № 2 (40).

Original article

The influence of road rollers on the formation of defects in asphalt concrete pavements

Kirill A. Rusinov¹, Nikita V. Novotortsev², Sergey A. Pavlov³

^{1,2,3}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

¹kirill.rusinov190820@yandex.ru

²nikita.nova2002@mail.ru

³dormash@madi.ru

Abstract. The article provides an overview of compactor equipment and methods of compaction of asphalt concrete mixtures. The most common defects of asphalt concrete pavements associated with poor-quality compaction, the vibration effect of rollers and a violation of the preparation of the base on which the mixture is laid are considered. The vibration effect of road rollers, despite sufficient efficiency, still remains not an absolute panacea for the appearance of defects in the pavement. The authors describe the reasons why the vibration effect of rollers does not always allow to achieve a qualitatively laid layer of asphalt concrete mixture. The static and vibrational effects of rollers on asphalt concrete mixtures are analyzed, the main advantages and disadvantages of various impacts on the material are presented. The result of the study is the dependence of the compaction quality on the method of exposure, the type of machine and the preparation of the base. Compliance with the roller compaction technology during road construction is an important factor contributing to a significant increase in the resource of asphalt concrete pavement. The slightest deviations in the compaction by the roller lead to the formation of coating defects and a reduction in its service life. The order of construction of the machines in the set by weight, the order of application of static and vibration effects on the mixture, the parameters of the finishing roller of the set – all this significantly affects the density of the asphalt concrete coating and its resource.

Keywords: road roller, vibration compaction, roller impact on asphalt concrete, pavement defects, static compaction, direction of the compaction effect of the roller.

For citation: Rusinov K.A., Novotortsev N.V., Pavlov S.A. The influence of road rollers on the formation of defects in asphalt concrete pavements // *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. № 2 (40).

Введение

При строительстве асфальтобетонных дорог и в процессе их эксплуатации происходит формирование различных дефектов, связанных с

составом асфальтобетонной смеси, технологией строительства, с особенностями основания, на которое выполняют укладку. Дефекты, в основном, связаны с нарушением целостности и равномерности слоя покрытия (образование пустот, значительное содержание влаги, недостаточная адгезия близлежащих слоев, например, старого и нового слоя смеси). В целом это приводит к ухудшению качества асфальтобетонного покрытия, что снижает его сроки службы и увеличивает аварийность на дорогах.

Существует множество различных способов, позволяющих повысить качество строительства асфальтобетонных дорог, однако, казалось бы, самый простой из них – уплотнение смесей укаткой с применением вибрационного воздействия, по-прежнему является недостаточно изученным, поскольку в образцах извлеченных кернов продолжают находить различного рода искажения плотности. Отмечено, что в некоторых случаях вибрационная укатка приводит к расслоению структуры, особенно в местах, где присутствует жесткое покрытие (на стыках старого и нового слоя, на въездах и съездах с мостов). Поэтому вопрос применения различных типов катков при уплотнении асфальтобетонных смесей остается открытым.

Уплотняющее оборудование

Для уплотнения асфальтобетонных смесей используют различные типы уплотняющего оборудования. В рамках традиционной технологии строительства асфальтобетонных покрытий используют несколько типоразмеров катков. Как правило, начинают с легкой и заканчивают тяжелой техникой, чередуя статическое и динамическое воздействия. Для каждого катка назначают определенный интервал работы, подбираемый, исходя из температуры смеси и параметров участка строительства.

Катки статического действия составляют шестьдесят процентов от всех уплотняющих машин вследствие их простоты и удобства в эксплуатации.

Существенным недостатком гладковальцовых катков (рис. 1) является небольшая глубина проработки уплотняемого материала, которая ограничивается удельной нагрузкой от веса и ширины вальца, и как следствие, площадью пятна контакта.



Рис. 1. Статический гладковальцовый каток

Необходимо постепенно увеличивать нагрузку в процессе уплотнения, поэтому применяют несколько типоразмеров катков в бригадном комплекте легкого веса – среднего и тяжелого. Работа комплекта не всегда бывает слаженной, что изменяет промежуток времени, необходимый для уплотнения асфальтобетонных смесей. В результате смесь остывает, теряет способность к деформации, в ней возникают поверхностные сколы и волнообразование (рис. 2).



а)



б)



в)

*Рис. 2. Волнообразование и растрескивание на покрытии:
а) – короткие волны; б) – длинные волны; в) – растрескивание*

Пневмошинные катки (рис. 3) практически лишены вышеперечисленных недостатков гладких жестких вальцов и применяют их на материале с малым сопротивлением. Продолжительность воздействия на уплотняемый материал у пневмошинных катков больше из-за усадочных свойств шины, это позволяет повысить скорость укатки и уменьшить число проходов по одному следу. Кроме того, возможность регулировки давления в шине позволяет изменять площадь пятна контакта шины с уплотняемым материалом от прохода к проходу. Таким образом, пневмошинные катки являются первой динамической уплотняющей системой с возможностью регулировки силового воздействия на материал в ходе уплотнения. Однако это воздействие заключается лишь в автоматическом увеличении давления в шинах в зависимости от толщины укатываемого слоя и числа проходов катка по одному следу.



Рис. 3. Статический пневмошинный каток

По способу перемещения катки разделяют на прицепные и самоходные. В зависимости от величины распределенной нагрузки, оказываемой вальцом на материал, выделяют три типа катков: легкие – нагрузка не превышает 40 кН/м; средние – нагрузка в диапазоне 40-60 кН/м; тяжелые – нагрузка превышает 60 кН/м.

По типу рабочего органа катки бывают: гладкие – металлический валец с гладкой поверхностью; кулачковые – на поверхности вальца расположены

выступы – кулачки; пневматические – вместо вальца используют несколько пневмоколес, перекрывающих пространство между колесами на разных осях.

По количеству вальцов дорожные катки бывают: одновальцовые – рабочий орган единственный, двухвальцовые – рабочие органы расположены по обе стороны рамы и служат опорной поверхностью для передвижения, трехвальцовые – трехосные и двухосные с тремя вальцами [1].

По способу воздействия катки классифицируют на статические и вибрационные. Длительное время дорожная отрасль России была ориентирована на создание катками контактных давлений, близких к пределу прочности σ_p (не менее 90%). Поэтому полотно оказывалось переуплотненным. Неблагоприятное соотношение напряжения, создаваемого катком в смеси σ_0 и ее предела прочности σ_p , может несколько сглаживать то обстоятельство, что горячая смесь остывает и упрочняется со временем. Процесс остывания и упрочнения смещает предел прочности ближе к создаваемым катком напряжениям σ_0 , но само σ_0 при этом тоже несколько возрастает, особенно у виброкатков, и желаемое улучшение соотношения σ_0/σ_p происходит не так эффективно и быстро, по сравнению со статическими катками (рис. 4).

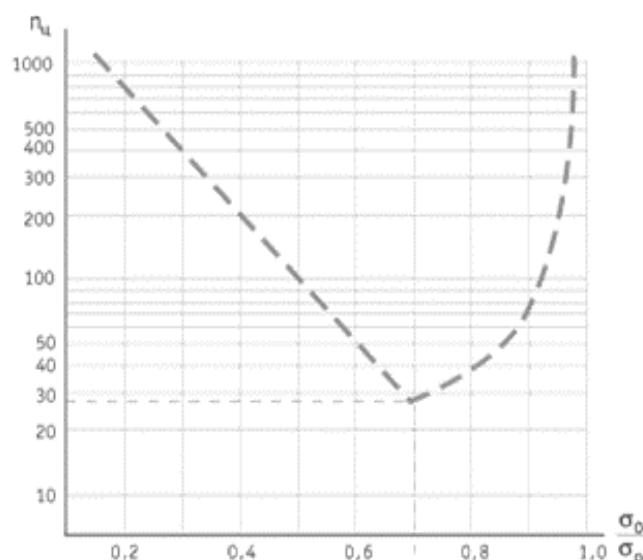


Рис. 4. Зависимость необходимого количества циклов нагружения смеси $n_{ц}$ от соотношения контактных давлений катка и предела прочности асфальтобетонной смеси

Существует и другая опасность, связанная с недостаточным контактным давлением вальца, вызывающая вполне понятное снижение плотности асфальтобетонной смеси и толщину прорабатываемого слоя Z (рис. 5), а также рост необходимого количества $n_{ц}$ (см. рис. 4).

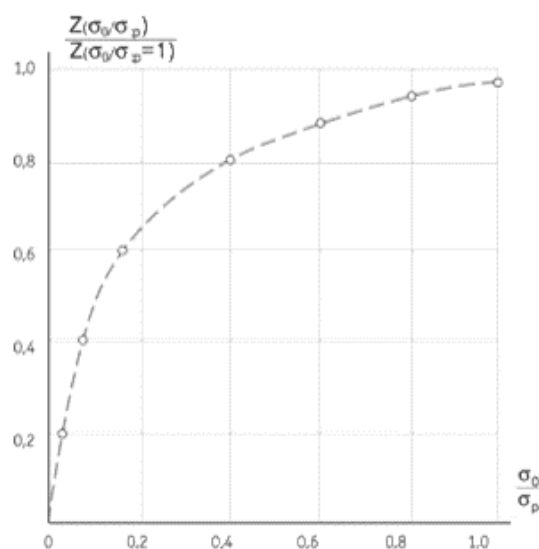


Рис. 5. Влияние отношения контактных давлений вальца и прочности материала на толщину прорабатываемого слоя

При очень малых давлениях вполне закономерна незначительная толщина проработки и низкая плотность, т. е. реализуется эффект «вытоптанной пешеходами дорожки на поляне парка», что, кстати, подтверждают реальные результаты работы некоторых легких виброкатков, несмотря на то, что количество прикладываемых к поверхности материала $n_{ц}$ достигает иногда 1500 и даже больше [4].

Таким образом, вибрационные катки могут потерять свою эффективность, если не учитывать то большое количество факторов, которые оказывают влияние на качество уплотнения и как показывает опыт, во многих случаях так и происходит.

Дефекты асфальтобетонного покрытия и причины их образования

Соблюдение технологии уплотнения при строительстве дорог является важнейшим фактором, способствующим значительному увеличению ресурса покрытия. Малейшие отклонения в технологии приводят к формированию

дефектов покрытия и сокращению его срока службы.

Наиболее важными параметрами, от которых впоследствии зависит качество покрытия, являются: температура асфальтобетонной смеси во время укладки, значение конечной плотности возведенного покрытия, толщина слоя покрытия, параметры жесткости основания покрытия (модуль сдвига и коэффициент Пуассона). Более подробно рассмотрим дефекты, возникающие из-за некорректных настроек уплотняющего оборудования и жесткости основания, на которое выполняется укладка [2].

Вследствие некорректных настроек вибрационного уплотняющего оборудования наиболее частым дефектом покрытия является формирование коротких волн. К растрескиванию покрытия приводит не только нарушение режима работы уплотняющей техники (повышенная скорость катка, резкие развороты или остановки катка на покрытии), но и недостаточная жесткость основания [6]. Жесткость уплотняющего оборудования начинает превышать жесткость не только уложенного покрытия, но и основания, в результате формируется «волосяные трещины» (см. рис. 2). Недостаточная жесткость основания также является причиной неоднородной текстуры поверхности покрытия (рис. 6).

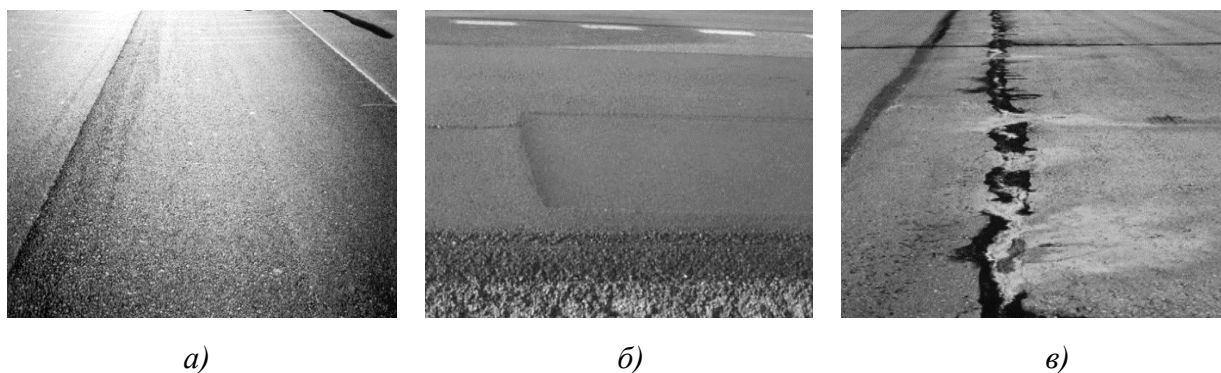


Рис. 6. Дефекты покрытия: а) – неоднородная текстура покрытия; б) – следы катка; в) – разрушение шва сопряжения

Уплотняющее оборудование вследствие остановок или продолжающегося вибрационного воздействия при остановке приводит к образованию следов катка на покрытии. Такие следы могут возникать при

неверной настройке амплитудно-частотной характеристики катка (рис. 6). В местах стыков покрытия, например, старого и нового, недостаточное количество проходов уплотняющей техники или преждевременное остывание смеси могут привести к нарушению швов сопряженных полос (рис. 6).

Недостаточное уплотнение нижнего слоя и его плохая очистка перед укладкой новой смеси поверх приводит к формированию длинных продольных трещин (рис. 7).



Рис. 7. Продольные трещины на новом покрытии

Особенности уплотнения асфальтобетонных смесей

Основным фактором, способствующим повышению плотности уплотняемой смеси, является создание в ней внутренних напряжений под действием уплотняющей нагрузки [7].

Исследования направления воздействия уплотняющего оборудования на смесь свидетельствуют о том, что при уплотнении в сторону уже уплотненного материала, напряжения, создаваемые по толщине слоя, являются более равномерными (рис. 8).

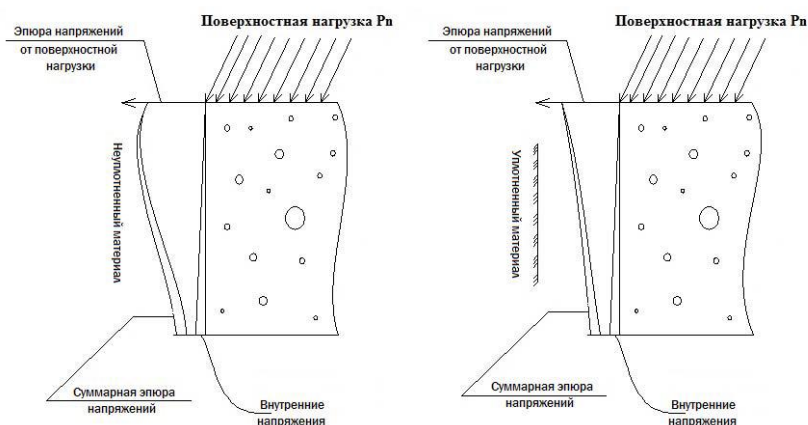


Рис. 8. Распределение напряжений при уплотнении в сторону уплотненного материала

Величина горизонтального перемещения частиц смеси в направлении движения вальца, создающего волну перед рабочим органом, значительно снижается. Частицы смеси начинают перемещаться вверх и для создания более эффективного уплотнения на объем материала следует воздействовать еще и сверху, в некотором смысле создавая эффект трехмерного сжатия, которое более эффективно, чем одномерное.

Существующие вибрационные катки многих фирм низкоуниверсальны, в том смысле, что регулировка вибрационного воздействия настроена на два режима работы – слабая и сильная вибрация. Плавной регулировки между режимами не предусмотрено. Отсутствие такого эффекта можно отнести к производственному недостатку многих моделей вибрационных катков. В результате возникает эффект либо недоуплотнения смесей либо переуплотнения, что безусловно, впоследствии отражается на качестве покрытия и его ресурсе [5].

Выбирая дорожный каток для уплотнения, специалист оказывается в условиях невозможности плавной настройки того или иного параметра. Например, ширину уплотнения изменить невозможно – каток имеет нерегулируемый габарит вальца, величина перекрытия соседних уплотняемых следов катка является расчетной – изменяя перекрытие, есть риск оставить полосы материала с разной плотностью, количество проходов

выбирается технологией, и изменять его технолог не имеет права.

Единственный параметр, который остается – это скорость. Однако и ее нельзя менять по причине изменения времени и количества циклов воздействия на элементарный участок материала.

К особенностям уплотнения асфальтобетонных смесей, которые могут повлиять на качество покрытия, относят и комплект уплотняющей техники, применяемой при строительстве. Очередность машин в комплекте по весу, очередность применения воздействий на смесь, параметры финиширующего катка комплекта – все это в значительной степени влияет на величину плотности асфальтобетонного покрытия и его ресурс.

Заключение

Технология уплотнения асфальтобетонных смесей и подготовки оснований являются одними из самых важных этапов строительства дорог и во многом зависят от уплотняющей техники. От неё во многом зависит и формирование дефектов покрытия. Качественное основание позволит значительно увеличить срок службы покрытия и снизить риск появления дефектов на 70 %. Соблюдение технологии уплотнения асфальтобетонной смеси и применение правильных режимов уплотнения снизят вероятность появления дефектов на 30 %.

Таким образом, исследование совершенствования конструкций дорожных катков и технологии уплотнения позволит в значительной степени сократить образование дефектов покрытий и увеличит срок службы автомобильных дорог.

Список источников

1. Кустарев, Г. В. Техника и технология для скоростного строительства асфальтобетонных покрытий : учебное пособие / Г. В. Кустарев, С. А. Павлов, А. В. Ушков. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. – 132 с. – EDN RGPYXN..

2. Алексиков, С. В. Уплотнение асфальтобетонных покрытий городских дорог : Научно-практические рекомендации / С. В. Алексиков, А. А. Ермилов. – Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. – 33 с. – EDN WYFMAV.
3. Суфиянов, Р. Ш. Современные технологии строительства автомобильных дорог / Р. Ш. Суфиянов // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 71-2. – С. 134-136. – DOI 10.18411/lj-03-2021-69. – EDN YAGZSA.
4. Определение параметров и режимов уплотнения дорожных катков : Учебное пособие / Г. В. Кустарев, В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов, С. А. Павлов. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – 142 с. – EDN TNBMSI.
5. Кустарев, Г. В. Высокоэффективные комплексы для скоростного строительства асфальтобетонных покрытий / Г. В. Кустарев, С. А. Павлов, А. В. Ушков. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2019. – 140 с. – ISBN 978-5-7962-0243-2. – EDN YXSZPF.
6. Определение показателей эффективности при укладке асфальтобетонной смеси комплексом "прицепной перегружатель-асфальтоукладчик" / Г. В. Кустарев, С. А. Павлов, Н. Д. Селиверстов, А. В. Ушков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 1. – С. 41-44. – EDN YLWZAA.
7. Кустарев, Г. В. Анализ факторов, влияющих на качество процесса уплотнения / Г. В. Кустарев, С. А. Павлов, П. Е. Жарцов // Механизация строительства. – 2013. – № 4(826). – С. 6-10. – EDN PYUWDZ.

References

1. Kustarev G.V., Pavlov S.A., Ushkov A.V. *Tekhnika i tekhnologiya dlya skorostnogo stroitel'stva asfal'tobetonnykh pokrytiy* (Equipment and technology for high-speed construction of asphalt concrete pavements), Moscow, MADI, 2023, 132 p.
2. Aleksikov S.V., Yermilov A.A. *Uplotneniye asfal'tobetonnykh pokrytiy gorodskikh dorog* (Compaction of asphalt concrete pavements of urban roads), Volgograd, Volgogradskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet, 2014, 33 p.
3. Sufyanov R.Sh. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2021, no. 71-2, pp. 134-136, DOI 10.18411/lj-03-2021-69.
4. Kustarev G.V., Balovnev V.I., Danilov R.G., Pavlov S.A. *Opredeleniye parametrov i rezhimov uplotneniya dorozhnykh katkov* (Determination of parameters and compaction modes of road rollers), Moscow, MADI, 2022, 142 p.
5. Kustarev G.V., Pavlov S.A., Ushkov A.V. *Vysokoeffektivnyye komplekсы dlya skorostnogo stroitel'stva asfal'tobetonnykh pokrytiy* (Highly efficient complexes for high-speed construction of asphalt concrete pavements), Moscow, MADI, 2019, 140 p. ISBN 978-5-7962-0243-2.

6. Kustarev G.V., Pavlov S.A., Seliverstov N.D., Ushkov A.V. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2018, no. 1, pp. 41-44.
7. Kustarev G.V., Pavlov, S.A. Zhartsov P.Ye. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*, 2013, no. 4(826), pp. 6-10.

Рецензент: Г.В. Кустарев, канд. тех. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Русинов Кирилл Альфредович, магистрант, МАДИ.
Новоторцев Никита Вячеславович, студент, МАДИ.
Павлов Сергей Аркадьевич, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Information about the authors

Rusinov Kirill A., undergraduate, MADI.
Novotortsev Nikita V., student, MADI.
Pavlov Sergey A., Candidate of Sciences (Technical), associated professor, MADI.

Статья поступила в редакцию 14.05.2024; одобрена после рецензирования 25.06.2024; принята к публикации 25.06.2024.

The article was submitted 14.05.2024; approved after reviewing 25.06.2024; accepted for publication 25.06.2024.