



УДК 625.08

Габдуллин Талгат Ривгатович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: talgat2204@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Фазлеев Ильшат Айдарович

начальник центральной лаборатории

E-mail: IIschat.Fazleev@tatavtodor

АО «Татавтодор»

Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75

Оптимизация процесса уплотнения щебеночно-мастичного асфальтобетона в покрытиях дорожных одежд

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – повышение качества уплотнения верхнего слоя дорожного покрытия за счет оптимизации применения асфальтовых катков, снижение амортизационных расходов на применение уплотнительной техники и финансовых затрат на выполнение дорожно-строительных работ.

Результаты. Основные результаты исследования заключаются в определении оптимального числа проходов асфальтовых катков при уплотнении верхнего слоя дорожного покрытия в зависимости от типа и состояния уплотняемого материала применительно к конкретному типу катка.

Предлагаемая оптимизация направлена на сокращение числа проходов асфальтовых катков при уплотнении верхнего слоя дорожного покрытия в зависимости от применяемых видов уплотнения, толщины уплотняемого слоя и типа материала дорожного покрытия.

Выводы. Значимость полученных результатов для дорожно-строительной отрасли состоит в повышении эффективности применения асфальтовых катков и производительности их работы, в рациональной минимизации общего времени уплотнения без снижения качества выполняемых работ.

Ключевые слова: уплотнение, дорожное покрытие, материал дорожного покрытия, щебеночно-мастичный асфальт, дорожный каток, количество проходов, качество, эффективность, экономичность.

Введение

В дорожном строительстве, наряду с подготовкой основания и подбором состава асфальтобетонной смеси для покрытия, очень важную роль играет процесс ее уплотнения. Если изменения и модернизация первых этапов происходят за счет внедрения новых технологий и разработок, таких как использование 3D-моделирования и планировки, лазерного нивелирования, GPS-ГЛОНАСС навигации и т.д., то завершающий процесс устройства дорожной одежды – процесс уплотнения дорожного покрытия остается недостаточно изученным, требует оптимизации и совершенствования. В настоящее время в этом направлении наблюдается лишь некоторая модернизация и расширение модельного ряда парка асфальтовых катков.

Уплотнение является одним из ключевых факторов создания высококачественного дорожного покрытия. Технологическая точность исполнения данной операции влияет на качество дороги, ее безопасность и увеличение сроков безремонтной эксплуатации. Надо отметить, что качество уплотнения земляного полотна закладывает ресурс твердого дорожного покрытия. Определяются сроки запланированных ремонтных работ, которые требуют привлечения большого количества персонала, дорожно-строительных и ремонтных машин, и, как следствие, повышается конечная стоимость строительства, обслуживания и содержания автомобильных дорог.

Уплотнение и укатка применяются, как при возведении земляного полотна, так и при устройстве слоев дорожной одежды. Отличительной чертой этих процессов в том и ином случае является лишь применение различных модификаций уплотняющей техники – катков, а сам процесс – укатка поверхности, за счет многократного перемещения вперед-назад, остается неизменным. Если при уплотнении дорожного основания преимущественно применяют кулачковые, решетчатые и комбинированные катки, то при уплотнении твердого покрытия применение этих же катков невозможно ввиду их глубинного уплотнения за счет наличия кулачков и решетчатой формы уплотняющей поверхности, что приводит к необходимости увеличения не только самого автопарка, но и модельного ряда соответствующей техники. Следовательно, возникает необходимость в гладковальцовых и пневмоколесных катках статического и вибрационного действий. Кроме того, одна единица уплотняющей техники не способна выполнить весь объем работ самостоятельно за необходимый срок. В то же время увеличение парка уплотняющих машин влечет повышение финансовых затрат.

Несмотря на наличие огромного количества предложений уплотняющей техники от производителей, готовая продукция – уплотнение твердых дорожных покрытий, не всегда получается надлежащего качества, даже при полном соблюдении всех норм и технологических рекомендаций.

Одной из причин подобного явления может быть недоуплотненность укладываемого материала ввиду различий в нормативах и методиках испытаний в разных странах, исходя из которых, применяемая техника не всегда может гарантировать максимальную результативность в ходе ее эксплуатации в отдельной конкретно взятой стране.

Последствия недостаточного уплотнения земляного полотна и слоев дорожной одежды

Требования к прочности твердых дорожных покрытий и их ровности имеют тенденцию постоянного роста. Одновременно с этим повышаются требования и к уплотнению земляного полотна. За прошедшие два десятилетия стоимость возведения земляного полотна увеличилась с 10-15 % до 18-29 % от суммарной стоимости построенной дороги. Деформации земляного полотна, вызванные ее недостаточной стабильностью и недоуплотнением, протекают длительное время и в дальнейшем являются одной из причин деформаций твердого покрытия, приводящих к его разрушению [1].

Основной причиной разрушения асфальтобетонного дорожного покрытия также является его недостаточное уплотнение. Анализ причин повреждений дорожных покрытий автомобильных дорог в РФ и в некоторых странах Европы выявил, что основной причиной (более 50 %) всех разрушений явилось именно недостаточное уплотнение земляного полотна и дорожного покрытия [9].

Наиболее характерным видом деформаций твердого покрытия проезжей части дорог, при недостаточно уплотненном земляном полотне, является потеря его ровности, т.е., появление колейности, вспучивания и поперечных трещин.

Колейность – вид дефекта дорожного покрытия прочностного характера, в виде некоторого изменения поперечного профиля дорожного полотна. Колейность может иметь относительно значительную (иногда до нескольких десятков километров) протяжённость.

Одна из главных причин колейности – это недостаточное уплотнение нижних конструктивных слоев земляного полотна, которое способствует деформации слоев и ведет к просадке покрытия дороги [2] (рис. 1).



Рис. 1. Колейность дорог [3]

Вспучивание – частичное поднятие полотна дороги, образующееся вследствие попадания грунтовых и сточных вод в грунтовое основание и их промерзания в межсезонье [2] (рис. 2).



Рис. 2. Вспучивание дорог [4]

Трещина – разрыв полотна дороги вследствие нестабильности основания дорожной одежды [2] (рис. 3).



Рис. 3. Поперечные трещины на поверхности асфальтобетонного покрытия [5]

Выявлена прямая зависимость между ровностью покрытия и плотностью его уплотнения [6].

Таким образом, недоуплотнение основания дорожной одежды, как правило, является одной из причин разрушения твердого покрытия дороги. Но не стоит забывать, что наряду с уплотнением дорожного основания, важную роль играет качество уплотнения самого твердого покрытия. Так, при недостаточном уплотнении асфальтобетонной смеси, возникают некоторые виды разрушений: колейность, выкрашивание, трещины, выбоины, потеря шероховатости.

Выбоина – углубление на поверхности, возникающее в результате удара (ударов), частой езды [2] (рис. 4).



Рис. 4. Выбоины [7]

Выкрашивание – поверхностное разрушение дорожного полотна, сопровождающееся выпадением его частиц [2] (рис. 5).

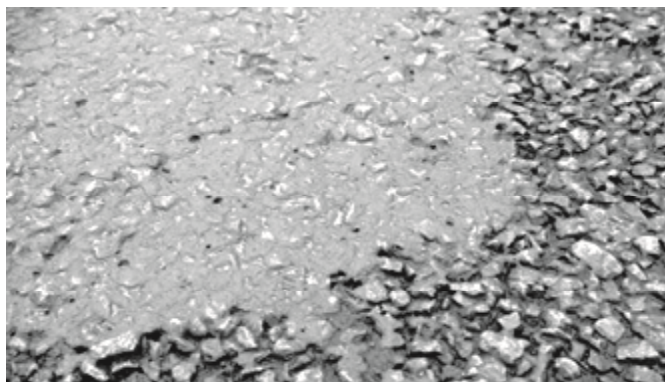


Рис. 5. Выкрашивание [8]

Потеря шероховатости – выкрашивание твердого заполнителя из асфальтобетонного покрытия, которое является результатом интенсивной езды и недостаточного уплотнения дорожного покрытия [2].

Уменьшить появление различных видов дефектов возможно следующими способами:

- более детальным учетом климатических условий и условий местности при проектировании;
- подробной топографической съемкой местности;
- использованием новейших технологий при планировке;
- привлечением высококвалифицированных специалистов непосредственно на рабочие объекты;
- качественным и рациональным подбором состава материала дорожного основания;
- определением оптимальной толщины и состава твердого покрытия.

Одним из наиболее эффективных способов минимизации разрушений верхнего слоя дорожного покрытия, исходя из опыта дорожного строительства в Российской Федерации и, в частности, в Республике Татарстан, является применение щебеночно-мастичного асфальтобетона. Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) был разработан специально для устранения поверхностных деформаций и усиленного износа верхнего слоя дорожного покрытия.

Состав ЩМА отличается от традиционной асфальтобетонной смеси высоким содержанием щебня (70...80 %) и битума (5,5...8,0 %). В состав ЩМА входят также стабилизаторы типа Габбро, Виатоп, ПБВ-6 и др. Используется щебень улучшенной формы – гранулированный, кубической формы. Применение такого щебня, при условии правильного подбора зернового состава, неукоснительном соблюдении технологии укладки и уплотнения, может обеспечить ЩМА более 10 лет срока эксплуатации при очень высоких транспортных нагрузках.

Дорожно-строительные компании РТ в последние годы выбрали ЩМА в качестве основного материала для покрытия верхнего слоя дорожной одежды, как на федеральных дорогах (федеральная трасса М7 Москва-Челябинск, татарстанский участок Казань-Набережные Челны протяженностью 220 км), так и на центральных улицах г. Казани с наиболее интенсивным транспортным потоком. На федеральной дороге в основном применялись ЩМА-20 и ЩМА-15, на городских дорогах – ЩМА-15 и ЩМА-10.

Мониторинг состояния этих дорог показал высокие эксплуатационные характеристики применяемых составов ЩМА против возникновения разрушений верхнего слоя дорожных покрытий и практически полное исключение появления колеиности. К дополнительным достоинствам покрытий из ЩМА можно отнести повышенный коэффициент сцепления, пониженное бликообразование и низкий уровень шума, которые напрямую влияют на безопасность дорожного движения и комфортность управления транспортным средством.

Однако массовое применение ЩМА в качестве материала покрытий дорожной одежды вызвало необходимость исследования процесса его уплотнения как ключевого фактора обеспечения высоких эксплуатационных характеристик дорожного покрытия.

Следовательно, требуется оптимизировать работу дорожной техники при уплотнении ЩМА.

Суть, содержание и основные результаты проведенного эксперимента

В вышеизложенных целях на базе испытательного полигона Пригородного филиала дорожной компании АО «Татавтодор», занимающейся строительством, ремонтом и содержанием автомобильных дорог, был организован и проведен следующий эксперимент.

Суть эксперимента и исследования заключалась в определении влияния различных методов уплотнения на плотность ЩМА-20, ЩМА-15 и ЩМА-10.

Эксперимент проводился выбранным катком на участке дороги шириной 4 м и длиной 30 м. Уплотнялся уложенный дорожный материал толщиной 5 см тремя режимами укатки в отдельности с фиксацией основных показаний.

Для **проведения исследования был выбран** средний гладковальцовый дорожный тандемный каток немецкого производителя НАММ HD75. (рис. 6).

Данный каток является наиболее распространенным в Российской Федерации и, в том числе, многие дорожно-строительные организации Республики Татарстан, имеют в своем автопарке данную модель и его некоторые модификации.

НАММ HD75 конструктивно оснащен двумя вибрационными вальцами, один из которых работает по принципу осцилляции, что позволяет увеличивать диапазон работ катка до 3-х режимов: статический – без включения вибраторов, вибрационный – при включенных вибраторах, осцилляционный режим – с подключением осцилляционного вибратора. Кроме того, возможность отдельного включения вибровозбудителя на каждом из вальцов, позволяет использовать схемы типа «статика-вибрация» и «статика-осцилляция».



Рис. 6. Средний тандемный каток НАММ HD75 [10]

В среднем, при уплотнении дорожного покрытия из асфальтобетонных смесей количество проходов среднего катка, согласно нормам, определяется в интервале 4-8 проходов. В экспериментальном случае количество проходов по участку уплотнения составило 8. Замеры степени уплотнения производились после 2, 4, 6 и 8 проходов с помощью плотномера асфальтобетона (ПАБ-1) (рис. 7).



Рис. 7. Плотномер асфальтобетона ПАБ-1 [11]

Полученные в процессе испытаний результаты систематизированы и занесены в табл. 1-3.

Сравнивая значения, полученные в ходе проведения эксперимента, можно сделать вывод, что для всех трех экспериментальных составов ЦМА оптимальным способом уплотнения является вибрационное уплотнение.

Таблица 1

Результаты замеров коэффициента уплотнения K_v , для щебенистого асфальтобетона марки ЦМА-20

Число проходов катка	Коэффициент уплотнения асфальтобетонного покрытия			
	Статическое уплотнение	Вибрационное уплотнение	Осцилляционное уплотнение	Нормативные требования
После укладчика	0,91	0,92	0,91	0,92
2 прохода	0,93	0,94	0,935	0,94
4 прохода	0,95	0,96	0,955	0,96
6 проходов	0,965	0,99	0,98	0,98
8 проходов	0,98	1,01	0,99	0,99

Таблица 2

Результаты замеров коэффициента уплотнения K_u для щебенистого асфальтобетона марки ЩМА-15

Число проходов катка	Коэффициент уплотнения асфальтобетонного покрытия			
	Статическое уплотнение	Вибрационное уплотнение	Осцилляционное уплотнение	Нормативные требования
После укладчика	0,91	0,91	0,915	0,92
2 прохода	0,925	0,94	0,93	0,94
4 прохода	0,95	0,96	0,955	0,96
6 проходов	0,97	0,985	0,975	0,98
8 проходов	0,98	1,01	0,99	0,99

Таблица 3

Результаты замеров коэффициента уплотнения K_u для щебенистого асфальтобетона марки ЩМА-10

Число проходов катка	Коэффициент уплотнения асфальтобетонного покрытия			
	Статическое уплотнение	Вибрационное уплотнение	Осцилляционное уплотнение	Нормативные требования
После укладчика	0,91	0,91	0,91	0,92
2 прохода	0,925	0,94	0,93	0,94
4 прохода	0,95	0,97	0,955	0,96
6 проходов	0,97	1,0	0,975	0,98
8 проходов	0,985	1,02	0,99	0,99

Проанализировав результаты экспериментального уплотнения выбранным катком тремя режимами уплотнения, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее эффективным способом для уплотнения всех выбранных трех марок ЩМА явилось вибрационное уплотнение. Это является результатом двойного нагружения «статика + динамическое сжатие».

2. Достаточным числом проходов катка для обеспечения нормативных значений K_u в режиме вибрационного уплотнения во всех трех случаях стало шесть проходов.

3. Было замечено, что дальнейшее увеличение числа проходов приводит к разрушению в составе ЩМА щебня из-за чрезмерного уплотнения.

4. Статическое уплотнение средним катком щебенистого асфальтобетона в смеси имел значения K_u ниже требуемых. Это объясняется большим процентным содержанием щебня, который делает каркасную структуру уплотняемого материала более жестким.

5. Соответственно, для достижения нормативных значений K_u статическим способом уплотнения требуется увеличение числа проходов катка, которые повышают амортизационные и эксплуатационные расходы применения катков, увеличивается время процесса уплотнения, что является экономически и технологически не целесообразным.

6. Результаты замеров коэффициента уплотнения щебенистого асфальтобетона осцилляционным методом оказались промежуточными в сравнении результатов уплотнения статическим и вибрационным методами.

Заключение

Практическое внедрение в дорожно-строительную отрасль, предложенных в статье подходов к уплотнению, направлено на повышение качества уплотнения верхних слоев дорожного покрытия из ЩМА и оптимизацию количества проходов уплотняющей техники в зависимости от применяемых видов уплотнения. При этом за счет применения наиболее рационального способа уплотнения увеличивается эффективность работы катков в целом. Сокращение числа проходов до шести раз сокращает время технологического процесса уплотнения. Тем самым достигается экономия амортизационных расходов при эксплуатации катков.

Список библиографических ссылок

1. Костельов М. П., Перевалов В. П. Новая усовершенствованная технология устойчиво обеспечивает высокое качество уплотнения асфальтобетона // Дорожная техника и технологии (ДТТ). 2015. С. 120–132.
2. Костельов М. П., Пахаренко Д. В. Вероятностно-статистические помощники в оценке и повышении качества автомобильных дорог // Дорожная техника и технологии (ДТТ). 2008. С. 82–88.
3. Ремонт колеиности на автомобильных дорогах // RoadMasters.ru : интернет журнал о строительстве дорог: <http://roadmasters.ru/remont-dorogi/tekushchij/metody-remonta-kolejnosti.html> (дата обращения 18.04.2019).
4. Парфеньевский Вестник // общ. полит. газета. URL: <http://parfenevo.smi44.ru/> (дата обращения 18.04.2019).
5. Дорожные трещины покрытия. URL: <https://roadtm.com/dorozhnye-treshhiny-asfaltobetonogo-rokrytiya/> (дата обращения 18.04.2019).
6. Серазутдинов М. Н., Островская Э. Н., Петухов Н. П., Сидорин С. Г., Костельов М. П. Функциональные достоинства и недостатки виброкатков для уплотнения асфальтобетона // Дорожная техника и технологии (ДТТ). 2009. С. 42–52.
7. Выбоины. СМИ ФАРпресс. URL: <https://www.autocentre.ua/avtopravo/dorogi/na-ukrainskih-dorogah-mogut-poyavitsya-znaki-vyboiny-345905.html> (дата обращения 16.04.2019).
8. Технологии : автодороги. URL: <http://road29.ru/technology/> (дата обращения 18.04.2019).
9. Габдуллин Т. Р. Новые технологии строительства дорог в России. // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений : сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Т.1. / БГТУ. Белгород, 2013. С. 109–113.
10. Намм в Казани – спецтехника // FarPost.ru. URL: <https://www.farpost.ru/kazan/autospectech/+Namm/?query=Namm%2C+%D0%E0%E1%EE%F2%EE%E9&spectechState%5B%5D=used> (дата обращения 18.04.2019).
11. Интерприбор // <https://www.interpribor.ru/measuring-the-density-of-asphalt-concrete-rab-1> (дата обращения 18.04.2019).
12. Шарпапов Р. Р., Харламов Е. В., Агарков А. М. К вопросу о разрушении материалов // Механизация строительства. 2017. Т. 78. № 11. С. 5–8.
13. Габдуллин Т. Р., Загретдинов Р. В., Сахапов Р. Л. Моделирование систем управления дорожно-строительной техникой // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. т. 16. № 1 (2). С. 394–396.
14. Костельов М. П., Пахаренко Д. В. Чем и как уплотнять асфальтобетон в покрытиях при смене его типа, состояния и толщины слоя // Дорожная техника и технологии (ДТТ). 2007. С. 70–85.
15. Sakharov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. С. 012119.
16. David J. I. White, Pavana K. R. Vennapusa, Mark J. Thompson «Validation of Intelligent Technology», Department of Transportation Federal Highway Administration. 2012. P. 12.
17. Hunter R. F. Asphalt in road construction. London, United Kingdom : ICE Publishing, 2014. 588 p.

Gabdullin Talgat Rivgatovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: talgat2204@mail.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Fazleev IIschat Ajdarovich

head of the central laboratory

E-mail: IIschat.Fazleev@tatavtodor

Joint-stock company «Tatavtodor»

The organization address: 420107, Russia, Kazan, Dostoevsky st., 18/75

**Optimization of compaction process of macadam-mastic asphalt
in pavement covers****Abstract**

Problem statement. The purpose of the study is to improve the quality of compaction of the top layer of pavement by optimizing the use of asphalt rollers, reducing depreciation costs for the use of compaction equipment and the financial costs of road construction.

Results. The main results of the study are to determine the optimal number of asphalt rollers passes when compacting the top pavement layer, depending on the type and condition of the material being compacted for a specific type of roller.

The proposed optimization is aimed at reducing the number of passes of asphalt rollers during the compaction of the top pavement layer, depending on the types of compaction used, the thickness of the compacted layer and the type of paving material.

Conclusions. The significance of the results obtained for the road-building industry consists in increasing the efficiency of using asphalt rollers and the productivity of their work, in rationally minimizing the total compaction time without compromising the quality of work performed.

Keywords: compaction, pavement, paving material, crushed stone mastic asphalt, road roller, number of passes, quality, efficiency, efficiency.

References

1. Kostelov M. P., Perevalov V. P. A new improved technology steadily ensures high quality compaction of asphalt concrete // *Dorozhnaya tekhnika i tekhnologii (DTT)*. 2015. P. 120–132.
2. Kostelov M. P., Pakharenskiy D. V. Probabilistic-statistical assistants in assessing and improving the quality of roads // *Dorozhnaya tekhnika i tekhnologii (DTT)*. 2008. P. 82–88.
3. Repair of ruts on highways // *RoadMasters.ru: an online magazine about road construction*. URL: <http://roadmasters.ru/remont-dorogi/tekushchij/metody-remontakolejnosti.html> (reference date: 18.04.2019).
4. Parfen'evskiy Herald // *Soc. polit. newspaper*. URL: <http://parfenevo.smi44.ru/> (reference date: 18.04.2019).
5. Road crack coating. URL: <https://roadtm.com/dorozhnye-treshhiny-asfaltobetonnogopokrytiya/> (reference date: 18.04.2019).
6. Serazutdinov M. N., Ostrovskaya E. N., Petukhov N. P., Sidorin S. G., Kostelov M. P. Functional advantages and disadvantages of vibratory rollers for compacting asphalt concrete // *Dorozhnaya tekhnika i tekhnologii (DTT)*. 2009. P. 42–52.
7. Potholes. Media Farpress. URL: <https://www.autocentre.ua/avtopravo/dorogi/na-ukrainskih-dorogah-mogut-poyavitsya-znaki-vyboiny-345905.html> (reference date: 18.04.2019).
8. Technologies : highways. URL: <http://road29.ru/technology/> (reference date: 18.04.2019).
9. Gabdullin T. R. New road construction technologies in Russia. // *Innovative materials, technologies and equipment for the construction of modern transport facilities. Collection of reports of the Intern. scientific-practical conf. Vol. 1. / BGTU, 2013. P. 109–113.*
10. Hamm in Kazan – special equipment FarPost.ru. URL: <https://www.farpost.ru/kazan/auto/spectech/+Hamm/?query=Hamm%2C+%D0%E0%E1%EE%F2%EE%E9&spectechState%5B%5D=used> (reference date: 18.04.2019).
11. Interpribor. URL: <https://www.interpribor.ru/measuring-the-density-of-asphalt-concrete-pab-1> (reference date: 18.04.2019).

12. Sharapov R. R., Kharlamov E. V., Agarkov A. M. On the issue of the destruction of materials // *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2017. T. 78. № 11. P. 5–8.
13. Gabdullin T. R., Zagretdinov R. V., Sakhapov R. L. Modeling of road construction equipment control systems // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2014. T. 16, №. 1 (2). P. 394–396.
14. Kostelov M. P., Pakhareno D. V. How and how to compact asphalt concrete in coatings when changing its type, condition and layer thickness // *Dorozhnaya tekhnika i tekhnologii*. 2007. P. 70–85.
15. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. T. 738. № 1. C. 012119.
16. David J. I. White, Pavana K. R. Vennapusa, Mark J. Thompson «Validation of Intelligent Technology», Department of Transportation Federal Highway Administration. 2012. P. 12.
17. Hunter R. F. Asphalt in road construction. London, United Kingdom : ICE Publishing, 2014. 588 p.