

Улучшение эксплуатационных показателей дорожных покрытий применением известьсодержащих компонентов в составе минеральных порошков

Ш.В. Бузиков, М.В. Мотовилова

Вятский государственный университет, Киров

Аннотация: Эксплуатационный период дорожного покрытия характеризуется основными эксплуатационными показателями. В статье рассмотрен вопрос разрушения верхнего слоя дорожного полотна при интенсивной эксплуатационной нагрузке на дорогах общего пользования. Определена цель – улучшение эксплуатационных (прочностных) показателей асфальтобетона из горячих асфальтобетонных смесей, с учетом применения известьсодержащих компонентов в составе минерального порошка. Обосновано применение известьсодержащих компонентов, обладающих высокой химической активностью. Физико-химические свойства извести формируют структурированный слой битума в зоне контакта с минеральными веществами, который устойчив к процессу старения. Происходит формирование коагуляционно-конденсационной структуры в зонах контакта зерен оксида кальция с органическим вяжущим. По результатам экспериментальных исследований дорожное покрытие характеризуется повышенной прочностью и водостойкостью. Сформулирован вывод о влиянии извести в составе минеральных порошков на эксплуатационные свойства дорожных покрытий.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, эксплуатационные показатели, прочность, водостойкость, структурообразование, известь, оксид кальция.

Транспортная инфраструктура является одной из основных приоритетных задач развития экономики. Автомобильные дороги общего пользования с покрытием из асфальтобетона достаточно хорошо характеризуются по эксплуатационным характеристикам и по периоду эксплуатации. Однако, с каждым годом увеличивающаяся грузонапряженность, интенсивность движения транспортных средств, меняющиеся условия эксплуатации, особенности городской застройки, увеличивающаяся динамическая нагрузка – приводят к нарушению целостности верхнего слоя дорожного покрытия. При формировании асфальтового полотна и его укладке на участках с повышенными эксплуатационными характеристиками часто применяют стандартную смесь как на других участках дороги. Асфальтобетонные покрытия разрабатываются и формируются на основе действующих редакций ГОСТ Р

59300-2021, ГОСТ Р 59302-2021 и свода правил по проектированию (СП) для усредненной нагрузки от колесного транспорта для автомобильных дорог общего пользования.

К основным характеристикам асфальтобетонных покрытий, которые непосредственно находятся в контакте с движителями транспортных средств, относится нормативный период эксплуатации дорожного покрытия. Однако не всегда выдерживается данный период. Одним из самых распространенных дефектов является преждевременное разрушение верхнего слоя асфальтобетонного покрытия. К основным причинами нарушения целостности асфальтобетона можно отнести: высокую интенсивность эксплуатации, действие динамических, знакопеременных нагрузок на дорожное покрытие, ландшафтные особенности участков дорог общего пользования в городской застройке, а также климатические температурные колебания.

Качество дорожного покрытия является основополагающим решением для эксплуатационного периода, безопасности дорожного движения, а также эффективной эксплуатации транспортного средства. Решение данного вопроса относится к основным приоритетным направлениям в России, так как дороги общего пользования с асфальтобетонным покрытием составляют основу дорожной сети страны.

По результатам проведенного теоретического обзора и анализа данных отечественных и зарубежных источников (опытных расчетов и проведенных экспериментов) одной из основных причин разрушения верхнего асфальтобетонного покрытия является несоответствие свойств и структуры самого асфальтового монолита к условиям его эксплуатации. Данное обстоятельство приводит к появлению пластических деформаций и разрушений поверхностного слоя дорожного покрытия. Одним из важных условий безопасности дорожного движения на дорогах общего пользования

относят образование водяной пленки на верхнем слое дорожного полотна. На сухом дорожном покрытии, коэффициент трения практически не зависит от материала верхнего слоя дорожного покрытия. Асфальтобетонное полотно в верхнем слое имеет разветвленную сеть трещин и пор, а в результате попадания воды и действия силовой, ударной колесной нагрузки на локальные зоны покрытия происходит увеличение напряженного состояния верхнего слоя асфальтобетона. В зависимости от геометрических размеров пор и места их расположения в толщине верхнего слоя дорожного покрытия, происходит резкое повышение гидростатического давления и увеличение напряженного состояния в локальных зонах [1]. Это приводит к уменьшению адгезии между составляющими асфальтобетона и к интенсивному износу верхнего слоя покрытия (выкрашивание, выбивание мелких зерен, появление дополнительных трещин и утрата ровности верхнего слоя) [2,3]. Асфальтобетонное покрытие не выдерживает тепловую и солнечную нагрузку летнего периода. В результате пластических деформаций верхний слой дорожного полотна теряет ровность и цельность.

Цель работы состоит в улучшении эксплуатационных (прочностных) показателей верхнего слоя дорожного покрытия из горячих асфальтобетонных смесей с учетом применения известь содержащих компонентов в составе минерального порошка.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить несколько задач. Во-первых, применение технологии, которая обеспечит более развитую текстуру асфальтобетона, за счет повышения микрошероховатости между компонентами смеси. Во-вторых, определить показатели предела прочности и водостойкости с известь содержащими компонентами в составе минерального порошка.

Основная часть. В результате обзора соответствующей литературы и теоретического анализа научных работ российских и зарубежных авторов

определены основные способы повышения прочностных свойств верхнего слоя асфальтобетона. Применение отходов промышленности в производстве щебеночно мастичного асфальтобетона рассмотрено коллективом авторов Сибирского федерального университета [4]. Оптимизация процесса проектирования дорожных одежд с использованием асфальтогранулята обоснована в работах ученых Волгоградского государственного технического университета [5]. Показатели долговечности и стабильности размеров дорожного бетона с добавками поверхностного отвердителя приведены в работах зарубежных авторов [6]. Способы повышения прочностных свойств верхнего слоя асфальтобетона отражены в совместных работах индийских ученых [7,8].

Применение в минеральной смеси щебня из кислых пород (содержащих более 67% SiO_2) и щебня основного типа приводит к нужной шероховатости и устойчивости верхнего слоя дорожного покрытия. При этом, обеспечивается устойчивость к образованию колеи при высоких температурах и трещин при отрицательных температурах [9, 10]. Применение щебня из кислых пород экономически обосновано, так как Кировская область обладает хорошими природными ресурсами.

Структурно - механические свойства и шероховатость покрытия определяют поверхностные характеристики асфальтобетонного слоя. Показатель сдвигоустойчивости асфальтобетона характеризуется способностью верхнего слоя дорожного покрытия к обратимым и необратимым пластическим деформациям с нарушением ровности покрытия и образованием колеи при различных видах нагрузки и интенсивности эксплуатации.

На структуру асфальтобетона влияют физико-химические свойства битума, а также условия взаимодействия битума и зерен минерального состава. Для лучшего взаимодействия фракционных частей смеси с битумной

пленкой применяют модифицирующие добавки. Улучшить свойства битума можно модифицирующими добавками (каучук, сера, резина, полимеры, минеральные волокна, отходы химической промышленности). Использование модификаторов влияет на химическое взаимодействие минеральных составляющих и битума.

Известь обладает высокой адсорбционной способностью, химической активностью и образует солевую форму поверхностно активных веществ.

Применение извести понижает водонасыщение верхнего слоя асфальтобетона, увеличивает прочностные свойства, что влияет на ровность (колейность) поверхности.

Оксид кальция при взаимодействии с водой образует гидрат оксида кальция, а последний при длительном контакте с воздушной средой превращается в карбонат кальция, что соответствует уравнениям (1) и (2):



Переход оксида кальция в гидроксид в результате химического взаимодействия происходит с адсорбцией воды и тепловыделением, а также увеличением объема. Дальнейшее взаимодействие с вяжущим в ходе химической реакции протекает с образованием водородных связей с участием свободных радикалов. Высокая физико-химическая активность карбидной извести способствует интенсивному структурированию битума [11, 12]. За счет образованных водородных связей и уменьшения активности молекулярных групп битума ионами кальция и магния происходит замедление термоокислительного старения асфальтобетона. Идет формирование структурированного битума, который устойчив к процессу старения. А так как известь обладает высокой дисперсностью (способствует интенсивной адсорбции компонентов битума) то наступает упрочнение тонкого слоя вблизи поверхности раздела фаз. При межмолекулярном

взаимодействии в системах, содержащих оксид кальция идет формирование коагуляционно-конденсационной структуры в зонах контакта зерен оксида кальция с органическим вяжущим. При дальнейшем контакте происходит возникновение элементов кристаллизационных структур во влажностной среде. После выдержки 6 – 8 суток кристаллизационные структуры распределяются в виде кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что приводит к повышению прочности, сдвигоустойчивости и долговечности [13,14], а также водо- и морозостойкости асфальтобетона [15].

Методы. Определение влияния содержания извести на прочность и водостойкость асфальтобетона при условии длительного водонасыщения применялся метод планирования, и математическая обработка эксперимента по соответствующим уравнениям при длительном водонасыщении.

На основе статистической обработки результатов определена функция качества свойств битума и асфальтобетона с использованием извести. При этом определялся комплексный коэффициент k_c качества материала (битума и асфальтобетона) по формуле (3):

$$k_c = \exp \left[-\exp \sum_{i=1}^n N_i \left(-\frac{z^i - z_{\min}^i}{z_{\max}^i - z_{\min}^i} \right) \right] \quad (3)$$

где N_i – характеристика исследуемых свойств; z^i – значения исследованного свойства; z_{\min}^i – минимальное значение исследованного свойства; z_{\max}^i – максимальное значение исследованного материала.

Экспериментальные исследования по улучшению эксплуатационных свойств асфальтобетонов проводились при ремонте автомобильных дорог общего пользования Кировской области в рамках реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги».

Комплекс работ проведен строительной организацией АО Гордормостстрой (г. Киров), имеющей необходимую дорожную и строительную технику, приборную базу и контрольно-измерительное

оборудование. Исследования проводились с использованием ГОСТ 12801-98 и ГОСТ Р 52350.29.1-2010. При этом существенную роль играет вид щебня, особенно характеризующийся устойчивостью к истиранию и шлифованию. Характеристики известнякового порошка и карбидной извести приведены в таблице №1.

Таблица № 1

Характеристики минерального материала

№ п/п	Наименование свойства	Известь	Карбидная известь
1	Массовая доля $\text{Ca}(\text{OH})_2$, %	0	79
2	Массовая доля карбида кальция, %	0	80
3	Пористость, %	30	43
4	Битумоемкость, %	51	118
5	Насыпная плотность, г/см^3	1,07	0,39

Показатель предельного напряжения сдвига при температуре 50 °С для образцов фиксировался с помощью пластомера, представленного на рис. 1, а расчет проводился по зависимости (4):

$$T_{50} = k_k \frac{N}{h^2} \quad (4)$$

где N – нагрузка во время испытания; h – глубина погружения конуса; k_k – численное значение константы конуса (угол заострения 30°).



Рис. 1. – Пластомер для определения предельного напряжения сдвига

Результаты. Показатель на сдвигоустойчивость с применением карбидной извести по численным значениям больше, чем при добавке в смесь извести. Карбидная известь оказывает на битум более сильное структурирующее действие. Взаимодействие оксида кальция с компонентами вяжущего улучшают структурирующую способность минерального порошка. Наблюдается улучшение адгезии к кислым минеральным материалам.

Физико-механические свойства асфальтобетона с применением извести и карбидной извести, но с одинаковым составом по другим компонентам (щебень, песок, битум) различны. Лучшие результаты получены у карбидной извести, используемой в качестве минерального порошка. Показатели предела прочности при температуре 20°C соответствуют значениям 4,65 МПа и 4,35 МПа при карбидной извести и известняковом порошке, а при температуре 50°C численные значения составляют 2,85 МПа и 1,15 МПа соответственно. Водонасыщение по объему составляет 1,95% и 2,02% при карбидной извести и известняковом порошке соответственно. Полученные результаты соответствуют пределам ГОСТ 9128-2009. Показатели предела прочности и водонасыщения обеспечивают уменьшение деформации при сдвиге и водостойкость асфальтобетона. Применение карбидной извести по механическим показателям лучше, однако по экологическим показателям целесообразнее использовать известь. Применение карбидной извести связано с дополнительной химической обработкой, что приводит к дополнительным экономическим затратам. В Кировской области имеются известь содержащие природные ресурсы (месторождение). Показатели предела прочности и водонасыщения с применением извести в составе минерального порошка соответствуют пределам ГОСТ 9128-2009. Можно предположить уменьшение трещинообразования в нормативном периоде эксплуатации асфальтобетонного полотна, так как предел прочности на

растяжение при расколе, при 0°С приближается к меньшей границе допускаемого интервала по ГОСТ 9128-2009.

Заключение.

Обосновано влияние оксида кальция на процесс структурообразования с битумом. Наблюдается повышение микрошероховатости между компонентами смеси, замедляется процесс термоокисления асфальтобетона.

Полученные результаты показателей предела прочности и водостойкости с известью содержащими компонентами в составе минерального порошка обладают повышенной прочностью, то есть устойчивы к деформации сдвига при эксплуатации асфальтобетона.

Предполагается уменьшение трещинообразования в эксплуатационном периоде асфальтобетона.

Литература

1. Котов А.И. Повышение износостойкости покрытия автомобильной дороги при наличии влаги в верхнем слое: дис. канд. техн. наук: 05.23.11. Воронеж, 2019. 121 с.

2. Козлов В.А., Котов А.И. Моделирование разрушения асфальтобетонного покрытия от динамического воздействия воды // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. №3. С. 52-59.

3. Козлов В.А., Котов А.И. Определение влияния давления воды в микропорах на эксплуатационный износ асфальтобетонных покрытий // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. №. 3. С. 60-66.

4. Василевская Н.В., Берсенева М.Л., Дружинкин С.В., Киселев В.О., Якшина А.А. Применение отходов промышленности для получения щебеночно-мастичного асфальтобетона // Инженерный вестник Дона, 2021, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7078

5. Девятов М.М., Тянь В.Ю., Журавлев А.В. Методика оптимизации процесса проектирования дорожных одежд с использованием

асфальтогранулята // Инженерный вестник Дона. 2021. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7044.

6. Mardani-Aghabaglou A., Karakuzua K., Kobyaа V., Hatungimanab D. Durability performance and dimensional stability of road concrete containing dry-shake surface hardener admixture // Construction and Building Materials. 2021. V. 274. Article 122472.

7. Sukhija M. A., Saboo N. Comprehensive review of warm mix asphalt mixtures-laboratory to field // Construction and Building Materials. 2021. V. 274. P. 121781.

8. Hooi Cho, Namb B. H., Santrac S., Barryd M., Novake S. Enhanced surface hardening of hydrated concrete composite by strontium nitrate ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$) aqueous solution // Journal of Building Engineering. 2021. V. 40. P. 102696.

9. Иваньски М. Основы улучшения и регулирования эксплуатационных свойств асфальтобетона: дис. д-р техн. наук: 05.023.05; 05.23.11. М., 2004. 541 с.

10. Иваньски М., Урьев Н.Б. Исследование процесса старения щебнемастичного асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли. 2002. № 4. С. 26-29.

11. Грамматиков Г.А. Асфальтобетон с применением карбидной извести в качестве минерального порошка: дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Волгоград, 2006. 159 с.

12. Романов С.И., Грамматиков Г.А. Применение карбидной извести в асфальтобетоне с учетом экологических требований // Экология, проблемы в транспортно-дорожном комплексе. М.: МАДИ, 2005. С. 124-130.

13. Высоцкая М.А. Асфальтобетон с применением известь содержащих минеральных порошков: дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Белгород, 2004. 210 с.

14. Высоцкая М.А. Влияние количества извести в минеральном порошке на свойства асфальтобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. №5. С. 240-243.

15. Высоцкая М.А., Ядыкина В.В. Зависимость водо- и морозостойкости асфальтобетона от количества оксида кальция в минеральном порошке // Актуальные проблемы современного строительства. 2004. Ч.2 - С.9-13.

References

1. Kotov A.I. Povysheniye iznosostoykosti pokrytiya avtomobil'noy dorogi pri nalichii vlagi v verkhnem sloye [Increasing the wear resistance of the road surface in the presence of moisture in the upper layer]: dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.11. Voronezh, 2019. 121 p.

2. Kozlov V.A., Kotov A.I. Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arkhitektury. 2017. №3. pp. 52-59.

3. Kozlov V.A., Kotov A.I. Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arkhitektury. 2017. №. 3. pp. 60-66.

4. Vasilovskaya N.V., Berseneva M.L., Druzhinkin S.V., Kiselev V.O., Yakshina A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7078

5. Devyatov M.M., Tyan V.YU., Zhuravlev A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7044.

6. Mardani-Aghabaglou A., Karakuzua K., Kobya V., Hatungimanab D. Construction and Building Materials. 2021. V. 274. Article 122472.

7. Sukhija M. A., Saboo N. Somprehensive review of warm mix asphalt mixtures-laboratory to field. Construction and Building Materials. 2021. V. 274. Article 121781. P. 121781.

8. Hooi Cho, Namb V. H., Santrac S., Barryd M., Novake S. Journal of Building Engineering. 2021. V. 40. Article 102696.



9. Ivan'ski M. Osnovy uluchsheniya i regulirovaniya ekspluatatsionnykh svoystv asfal'tobetona [Fundamentals of improving and regulating the operational properties of asphalt concrete].: dis. d-r tekhn. nauk: 05.023.05; 05.23.11. M., 2004. 541 p.
10. Ivan'ski M., Ur'yev N.B. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2002. № 4. pp. 26-29.
11. Grammatikov G.A. Asfal'tobeton s primeneniym karbidnoy izvesti v kachestve mineral'nogo poroshka [Asphalt concrete with the use of carbide lime as a mineral powder].: dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Volgograd, 2006. 159 p.
12. Romanov S.I., Grammatikov G.A. Ekologiya, problemy v transportno-dorozhnom komplekse. M.: MADI, 2005. pp. 124-130.
13. Vysotskaya M.A. Asfal'tobeton s primeneniym izvest' soderzhashchikh mineral'nykh poroshkov [Asphalt concrete with the use of lime containing mineral powders]: dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Belgorod, 2004. 210 p.
14. Vysotskaya M.A. Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. 2003. №5. pp. 240-243.
15. Vysotskaya M.A., Yadykina V.V. Aktual'nyye problemy sovremennogo stroitel'stva. 2004. CH.2 pp. 9-13.