

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНО-ДИСПЕРСНО-АРМИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

С.А. Чернов, А.В. Каклюгин, А.Н. Никитина, К.Д. Голюбин

Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (АСА ДГТУ), 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162

АННОТАЦИЯ. Описаны методика и результаты исследований влияния полимерно-дисперсно-армирующей добавки на эксплуатационные свойства дорожного горячего асфальтобетона, а именно его устойчивость к усталостному трещинообразованию, колееобразованию и накоплению остаточных деформаций. Показано, что предлагаемый способ модификации асфальтобетонных смесей обеспечивает повышение долговечности конструктивных слоев дорожных покрытий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асфальтобетон, полимерно-дисперсное армирование, битум, автомобильные дороги, напряжение, колея, деформация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чернов С.А., Каклюгин А.В., Никитина А.Н., Голюбин К.Д. Влияние полимерно-дисперсно-армирующей добавки на эксплуатационные свойства асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2017. Вып. 12. № 6 (105). С. 654–660. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.654-660

INFLUENCE OF POLYMERIC-DISPERSED REINFORCEMENT ADDITIVES ON THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONCRETE

S.A. Chernov, A.V. Kaklyugin, A.N. Nikitina, K.D. Golyubyn

Academy of Construction and Architecture, State Don Technical University (DSTU ASA), 162 Socialisticheskaya str., Rostov-na-Donu, 344022, Russian Federation

ABSTRACT. The technique and results of the studies of the influence of a polymeric-dispersed reinforcement additive on the performance characteristics of road hot asphalt concrete, namely, its resistance to fatigue failures, rutting and development of residual deformation are described. It is shown that the proposed method of modification of asphalt-concrete mixtures ensures an increase in the durability of layers of pavement road surface.

KEY WORDS: asphalt concrete, polymeric-dispersed reinforcement, bitumen, motorways, subjecting to stress, tracing rut, distortion

FOR CITATION: Chernov S.A., Kaklyugin A.V., Nikitina A.N., Golyubyn K.D. Vliyanie polimerno-dispersno-armiruyushchey dobavki na ekspluatatsionnye svoystva asfal'tobetona [Influence of Polymeric-Dispersed Reinforcement Additives on the Performance Characteristics of Asphalt Concrete]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 6 (105), pp. 654–660. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.654-660

В настоящее время практически во всех странах мира, для которых характерны высокие летние температуры, одной из основных проблем дорожной отрасли является образование пластических деформаций в нежестких дорожных одеждах. Одним из наиболее широко применяемых на практике способов повышения теплостойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетона является увеличение содержания в его составе количества минерального порошка, однако часто это негативно сказывается на трещиностойкости материала и приводит к появлению трещин на покрытиях в зимне-весенний период.

На наш взгляд, одним из наиболее перспективных способов повышения устойчивости дорожных покрытий к усталостному трещинообразованию и

образованию пластических деформаций является применение полимерно-дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей (ПДА-смесей) в соответствии с требованиями государственной компании «Российские автомобильные дороги»¹.

Полимерно-дисперсное армирование — это воздействие на асфальтовое вяжущее (дисперсионную среду) путем распределения комплексного модификатора на основе армированного полимера и каучука (дисперсной фазы) с целью создания полидисперсной системы, обладающей повышенной жесткостью, а также устойчивостью к сдвиговым

¹ СТО АВТОДОР 2.6-2013. Требования к нежестким дорожным одеждам автомобильных дорог государственной компанией «АВТОДОР»

и пластическим деформациям при повышенных температурах². В настоящей работе в качестве полимерно-дисперсно-армирующей добавки использовали резиновый термоэластопласт (РТЭП)³.

С целью оценки эффективности влияния технологии полимерно-дисперсного армирования на физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетонов в лаборатории ДорТрансНИИ АСА ДГТУ был выполнен комплекс экспериментальных исследований с использованием горячей плотной мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа А марки I. Приготовление смеси осуществляли в производственных условиях в асфальтобетоносмесителе принудительного действия. Нагретые до рабочей температуры минеральные материалы (щебень и отсев дробления) в расчетных количествах подавали в работающий смеситель, после чего вводили добавку РТЭП, в количестве 0,3 % от массы минеральной части смеси, а затем с задержкой в 2 с добавляли

холодный минеральный порошок. После этого продолжали «сухое» перемешивание минеральных составляющих асфальтобетонной смеси еще в течение 6...8 с. Далее в смеситель АБЗ подавали в требуемом количестве вязкий нефтяной дорожный битум марки БНД 60/90 и осуществляли «мокрое» перемешивание смеси в течение 20...25 с [1, 2].

Исследовали влияние технологических факторов: температуры нагрева минеральных материалов и продолжительности перемешивания асфальтобетонной смеси, — на физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетона. В этих целях по стандартным методикам из четырех приготовленных смесей формовали и испытывали контрольные асфальтобетонные образцы. Смесей отличались технологическими режимами приготовления, приведенными в табл. 1.

Результаты оценки соответствия исследуемых асфальтобетонных смесей требованиям стандартов⁴ представлены в табл. 2.

² СТО 92182919-001-2013. Полимерно-дисперсное армирование горячих асфальтобетонных смесей, применяемых при устройстве конструктивных слоев дорожной одежды

³ ТУ 5718-001-79259416-2006. Термоэластопласт резиновый «РТЭП»

⁴ ГОСТ 9128-2009. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. СТО АВТОДОР 2.6-2013. Требования к нежестким дорожным одеждам автомобильных дорог государственной компанией «АВТОДОР»

Табл. 1. Режимы приготовления смеси

| Номер смеси | Температура нагрева щебня и песка, °С | Продолжительность перемешивания компонентов смеси, с | | Использование добавки РТЭП |
|-------------|---------------------------------------|--|-----------|----------------------------|
| | | «сухого» | «мокрого» | |
| 1 | 175 | 8 | 20 | – |
| 2 | 175 | 8 | 20 | + |
| 3 | 190 | 8 | 20 | + |
| 4 | 190 | 10 | 25 | + |

Табл. 2. Показатели физико-механических свойств асфальтобетона

| Номер смеси | Плотность, кг/м ³ | Водонасыщение, % | Водостойкость | Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре | | | Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин, МПа | Сдвигоустойчивость по | |
|-------------|------------------------------|------------------|---------------|---|-------|------|---|---------------------------------|---|
| | | | | 20 °С | 50 °С | 0 °С | | коэффициенту внутреннего трения | сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, МПа |
| | | | | | | | | | |
| 1 | 2410 | 3,1 | 0,90 | 4,0 | 1,4 | 10,2 | 5,0 | 0,90 | 0,27 |
| 2 | 2420 | 2,5 | 0,91 | 4,9 | 1,7 | 10,9 | 5,2 | 0,90 | 0,32 |
| 3 | 2420 | 2,4 | 0,91 | 5,4 | 1,9 | 11,4 | 5,5 | 0,89 | 0,34 |
| 4 | 2420 | 2,1 | 0,91 | 5,7 | 2,2 | 11,8 | 5,7 | 0,89 | 0,34 |

Требования нормативно-технических документов

| | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---------|---------------|--------------|--------------|---------------|-----------|---------------|---------------|
| ГОСТ 9128 | – | 2,0-5,0 | не менее 0,85 | не менее 2,5 | не менее 1,1 | не более 13,0 | 4,0...6,5 | не менее 0,89 | не менее 0,26 |
| СТО АВТОДОР 2.6-2013 | – | 2,0-5,0 | не менее 0,90 | не менее 3,5 | не менее 1,6 | не более 13,0 | 4,0...6,5 | не менее 0,89 | не менее 0,30 |

Анализ данных, представленных в табл. 2, свидетельствует о том, что показатели физико-механических и эксплуатационных свойств, всех исследуемых асфальтобетонов, удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128. Однако асфальтобетон, не содержащий модифицирующих добавок (смесь № 1), не соответствует требованиям СТО АВТОДОР 2.6 по значениям показателей предела прочности при сжатии при температуре 50 °С, коэффициента внутреннего трения и сцепления при сдвиге, т.е. теплостойкость и сдвигустойчивость обычного асфальтобетона не удовлетворяют более жестким требованиям этого нормативного документа. При введении в состав асфальтобетонных смесей добавки РТЭП и увеличении температуры нагрева минеральных материалов наблюдается повышение всех исследуемых свойств модифицированных асфальтобетонов до значений, удовлетворяющих требованиям СТО АВТОДОР 2.6. При этом показатели предела прочности при сжатии при температуре 20 и 50 °С возрастают на 35...50 % по сравнению со смесью без добавки [3–5].

На следующем этапе экспериментальных исследований была проведена оценка возможности повышения усталостной долговечности асфальтобетона, его устойчивости к колееобразованию и к накоплению остаточных деформаций за счет модификации добавкой РТЭП.

Под усталостью понимают изменение механических и физических свойств материала в результате постепенного накопления структурных повреждений под длительным действием циклически изменяющихся во времени напряжений и деформаций. С практической точки зрения усталостную долговечность оценивают количеством циклов соответствующих испытаний, которые материал способен выдержать без разрушения или до наступления отказа. Изменение макро-, мезо- и микроструктуры асфальтобетона при таких циклических воздействиях приводит к снижению его механических свойств, а способность материала сопротивляться накапливающимся напряжениям и деформациям зависят от его исходных свойств, вида напряженного состояния, истории нагружения и влияния среды [6, 7].

Анализ зарубежного и отечественного опыта проведения испытаний асфальтобетонов циклическими нагрузками показал, что для исследования усталостной долговечности асфальтобетона целесообразно использовать метод вынужденных синусоидальных колебаний. Он доступен для реализации, позволяет легко контролировать частоту и форму колебаний электрическими методами, способствует упрощению учета погрешностей, обусловленных инерционными силами. Синусоидальная форма колебаний наиболее близка форме распределения напряжений в покрытии при образовании «нагонной волны» под движущейся транспортной нагрузкой [8].

Метод испытания заключается в том, что к центральной части асфальтобетонного образчика прикладывается изгибное перемещение с определенной частотой, вызывая циклический ее изгиб. Для этого образец закреплен по краям (рис. 1). Частота приложения нагрузки — 10 Гц, что соответствует реальным режимам нагружения асфальтобетона в нижних слоях. В процессе испытания происходит регистрация выходных параметров: изменение амплитуды нагрузки и деформации во времени.

Испытания на усталостную долговечность проводили на контрольных образцах-балочках, полученных путем уплотнения горячих мелкозернистых плотных асфальтобетонных смесей типа А марки I, приготовленных по режимам, приведенным в табл. 1.

В процессе испытаний определяли количество циклов до отказа, которое выдерживали контрольные образцы, и рассчитывали коэффициенты усталости для каждого асфальтобетона $K_{\text{уст}}$ (тангенс угла наклона графиков к оси абсцисс). Результаты испытаний приведены в табл. 3 и показаны на рис. 2.

Анализ полученных данных показывает, что полимерно-дисперсно-армирующая добавка РТЭП в количестве 0,3 % от массы минеральной части асфальтобетонной смеси способствует значительному повышению усталостной долговечности асфальтобетона. Контрольные образцы, отформованные из всех смесей, содержащих модифицирующую до-

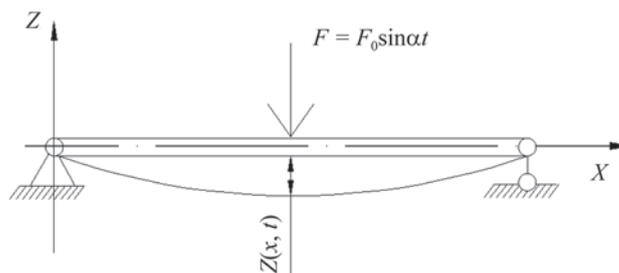


Рис. 1. Кинематическая схема нагружения образца

Табл. 3. Средние значения усталостной долговечности при испытании

| Номер смеси | Усталостная долговечность, циклы до отказа, при частоте нагружения 10 Гц и амплитуде напряжений 1 МПа | Коэффициенты усталости $K_{уст}$ |
|-------------|---|----------------------------------|
| 1 | 19 000 | 0,290 |
| 2 | 26 000 | 0,280 |
| 3 | 33 000 | 0,267 |
| 4 | 43 000 | 0,265 |

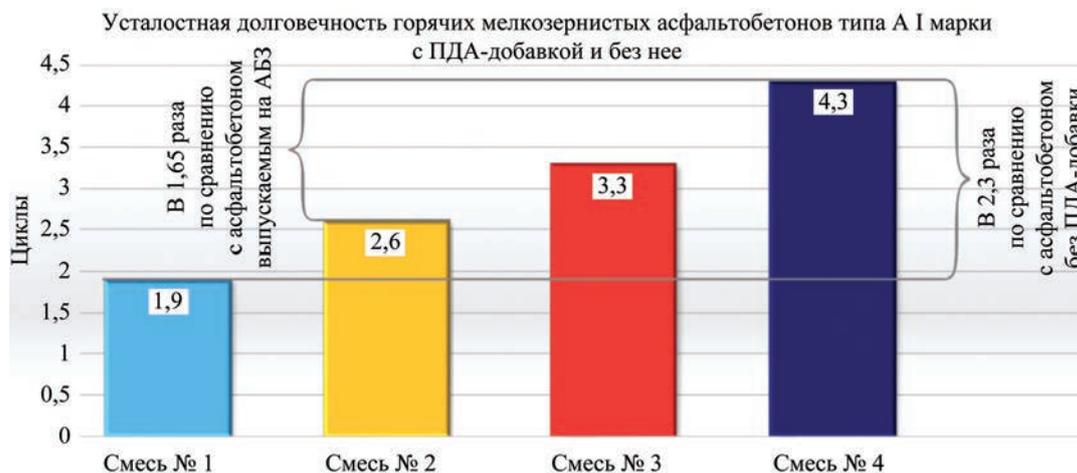


Рис. 2. График усталостной долговечности контрольных асфальтобетонных образцов

бавку, выдержали значительно большее количество циклов испытаний до отказа по сравнению с образцами, изготовленными из смеси без добавки. При этом наибольшее количество циклов испытаний до отказа выдержали образцы, изготовленные из смеси № 4 (температура нагрева щебня и песка 190 °С; суммарная продолжительность «сухого» перемешивания 10 с, а «мокрого» — 25 с), а наименьшее — из смеси № 2 (температура нагрева щебня и песка 175 °С; суммарная продолжительность «сухого» перемешивания 8 с, а «мокрого» — 20 с).

Наличие в составе добавки РТЭП армирующего наполнителя обеспечивает повышение вязкости и температуры размягчения модифицированного вяжущего, модуля упругости и усталостной долговечности асфальтобетона на его основе.

Для определения устойчивости к колееобразованию мелкозернистых плотных асфальтобетонов типа А I марки были проведены испытания на приборе CRT-WTECO (рис. 3) путем прокатывания нагруженного колеса в соответствии с методикой ОДМ 218.3.017-2011⁵.

Образцы-плиты асфальтобетона, сформованные из ПДА-смеси, приготовленной с увеличенным суммарным временем перемешивания до 35 с, показали существенно большую устойчивость к колееобразованию (рис. 4) [19–11].

⁵ ОДМ 218.3.017-2011. Методические рекомендации по определению колееобразования асфальтобетонных покрытий прокатыванием нагруженного колеса.



Рис. 3. Прибор CRT-WTECO:

Анализ результатов испытаний, представленных в качестве диаграмм на рис. 4, свидетельствует об увеличении устойчивости к колееобразованию в 2,4–2,7 раза при введении РТЭП, повышении температуры нагрева минеральных материалов и увеличении времени их перемешивания по сравнению с асфальтобетонной смесью без ПДА-добавки [12].

Особое место при выполнении экспериментальных исследований занимают испытания на

устойчивость к накоплению остаточных деформаций на приборе динамического нагружения ГК АВ-ТОДОР (рис. 5) [13].

Конструкция обеспечивает испытание образцов-цилиндров диаметром до 250 мм или образцов прямоугольного сечения со стороной до 300 мм с максимальной высотой до 200 мм. Результаты экспериментальных исследований, проведенных на приборе динамического нагружения по устойчивости к накоплению остаточных деформаций горячих плотных мелкозернистых асфальтобетонов типа А, I марки с добавкой РТЭП и без нее, представлены на рис. 6.

По результатам испытаний контрольных образцов исследуемых асфальтобетонов на устойчивость к накоплению остаточных деформаций выявлено, что наличие добавки РТЭП позволяет увеличить их устойчивость в 2,3–3 раза по отношению к асфальтобетонам без ПДА-добавки.

Таким образом, по результатам анализа выполненных экспериментальных исследований можно

сделать вывод о положительном влиянии полимерно-дисперсного армирования на физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетонов. При этом следует отметить, что важную роль играет температура нагрева минеральных материалов, при взаимодействии с которыми происходит размягчение компонентов добавки РТЭП с дальнейшим распределением ее по объему с образованием полидисперсной системы, обладающей повышенной жесткостью, а также устойчивостью к пластическим деформациям

В результате экспериментальных исследований установлены рациональные режимы приготовления ПДА-смесей и выявлено, что модификация асфальтобетонов добавкой РТЭП обеспечивает повышение их устойчивости к колееобразованию в 2,4–2,7 раза, устойчивости к накоплению остаточных деформаций и усталостному трещинообразованию в 2,3 раза и выше.



Рис. 4. График колееобразования контрольных образцов

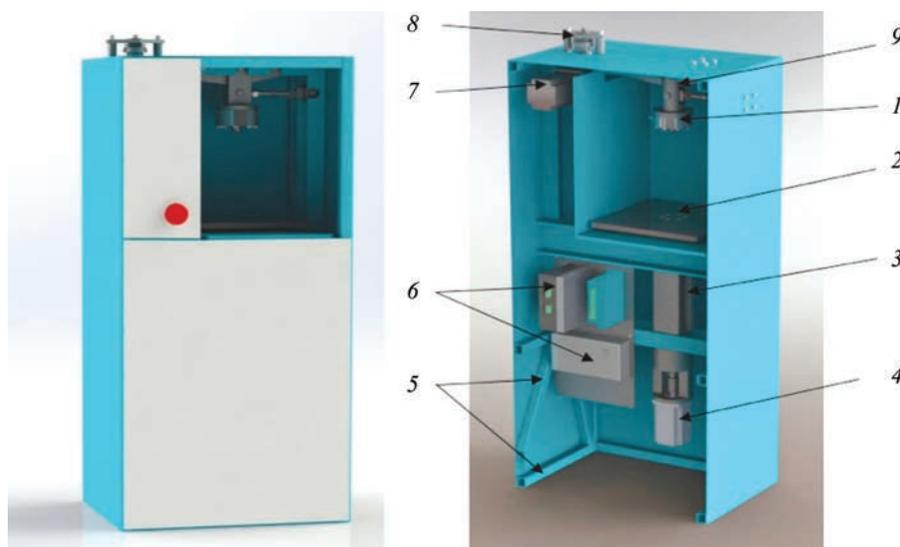


Рис. 5. Прибор динамического нагружения (ПДИ): 1 — датчик силы; 2 — испытательный стол; 3 — направляющие опоры стола; 4 — шаговый двигатель; 5 — рама; 6 — блок электроники; 7 — сервопривод; 8 — пружина с механизмом нагружения; 9 — рычаг с толкателем

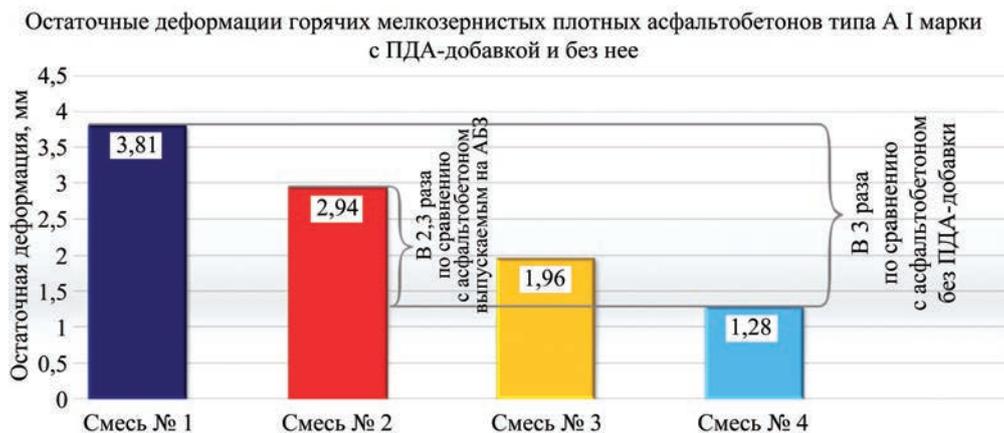


Рис. 6. График остаточных деформаций контрольных образцов

ЛИТЕРАТУРА

1. Илиополов С.К. Современные пути повышения долговечности асфальтобетонных покрытий // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2008. № 40. С. 57–58.
2. Быстров Н.В., Поздняков М.К. Европейские стандарты на дорожные и аэродромные асфальтобетоны // Автомобильные дороги. 2010. № 11 (948). С. 35–37.
3. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Инфра-М, 2010. 257 с.
4. Илиополов С.К., Мардиросова И.В., Чернов С.А., Дармодехин П.О. Модифицированная щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь дисперсно-армирующей добавкой forta // Наука. Инновации. Образование. 2012. № 3. С. 1.
5. Золоторев В.А. О структуре и содержании стандарта на дорожные асфальтобетоны // Автомобильные дороги. 2012. № 7. С. 68–75.
6. Углова Е.В., Дровалева О.В. Расчет усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий. Ростов-на/Д.: РГСУ, 2008. 75 с.
7. Илиополов С.К., Углова Е.В., Дровалева О.В. Усталостное разрушение асфальтобетона в широком частотном диапазоне // Дороги и мосты. 2007. № 1. С. 245–251.
8. Конорева О.В. Анализ методов прогнозирования усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий // Научное обозрение. 2014. № 11. С. 727–731.
9. Чернов С.А., Чирва Д.В., Леконцев Е.В. Влияние полимерно-битумного вяжущего на процессы колееобразования в верхних слоях покрытий автомобильных дорог // Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 4 (13). Ст. 226. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/87trgsu412.pdf>.
10. Чернов С.А., Голубин К.Д. Пути повышения устойчивости к пластическому колееобразованию щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Дороги и мосты. 2014. Т. 2. № 32. С. 264–272.
11. Жданюк В.К., Даценко В.М. Устойчивость асфальтобетонов различных гранулометрических типов к накоплению пластических деформаций в виде колеи // Автошляховик Украины. 2009. № 1. С. 31–34.
12. Беляев Н.Н., Петушиенко В.П. С колеейностью можно бороться // Дорожная держава. 2010. № 24. С. 46–48.
13. Мирончук С.А. Метод определения устойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог к накоплению остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2015. 18 с.

Поступила в редакцию в октябре 2016 г.

Принята в доработанном виде в апреле 2017 г.

Одобрена для публикации в мае 2017 г. г.

Об авторах: **Чернов Сергей Анатольевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог, Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (АСА ДГТУ), 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162, sergey_a_chernov@mail.ru;

Каклюгин Александр Викторович — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов, Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (АСА ДГТУ), 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162, kaklugin@gmail.com;

Никитина Анна Николаевна — кандидат экономических наук, доцент кафедры организации перевозок и дорожного движения, Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (АСА ДГТУ), 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162, annasunray@mail.ru;

Голубин Кирилл Дмитриевич — аспирант кафедры автомобильных дорог, Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (АСА ДГТУ), 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162б, golyubin@gmail.com.

REFERENCES

1. Iliopolov S.K. Sovremennyye puti povysheniya dolgovечnosti asfal'tobetonnykh pokrytiy [Modern Ways of Increasing the Durability of Asphalt-Concrete Coatings]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University]. 2008, no. 40, pp. 57–58. (In Russian)
2. Bystrov N.V., Pozdnyakov M.K. Evropeyskie standarty na dorozhnye i aerodromnye as-fal'tobetonny [European Standards for Road and Airfield Asphalt-Concrete]. *Avtomobil'nye dorogi* [Auto Roads]. 2010, no. 11 (948), pp. 35–37. (In Russian)
3. Rudenskaya I.M., Rudenskiy A.V. *Organicheskie vyazhushchie dlya dorozhnogo stroitel'stva* [Organic Binders for Road Construction]. Moscow, Infra-M Publ., 2010, 257 p. (In Russian)
4. Iliopolov S.K., Mardirosova I.V., Chernov S.A., Darmodekhin P.O. Modifitsirovannaya shchebenochomastichnaya asfal'tobetonnaya smes' dispersno-armiruyushchey dobavkoy forta [Modified Crushed Stone-Asphalt Concrete Mixture with a Dispersion-Reinforcing Additive 'Forta']. *Nauka. Innovatsii. Obrazovanie* [Science. Innovation. Education]. 2012, no. 3, pp. 1. (In Russian)
5. Zolotarev V.A. O strukture i sodержanii standarta na dorozhnye asfal'tobetonny [On the Structure and Content of the Standard for Road Asphalt-concretes]. *Avtomobil'nye dorogi* [Auto Roads]. 2012, no. 7, pp. 68–75. (In Russian)
6. Uglova E.V., Drovalova O.V. *Raschet ustalostnoy dolgovechnosti asfal'tobetonnykh pokrytiy* [Calculation of the Fatigue Life of Asphalt Concrete Pavements]. Rostov-na-Donu, RGSU Publ., 2008, 75 p. (In Russian)
7. Iliopolov S.K., Uglova E.V., Drovalova O.V. Ustalostnoe razrushenie asfal'tobetona v shirokom chastotnom diapazone [Fatigue Destruction of Asphalt Concrete in A Wide Frequency Range]. *Dorogi i mosty* [Roads and Bridges]. 2007, no. 1, pp. 245–251. (In Russian)
8. Konoreva O.V. Analiz metodov prognozirovaniya ustalostnoy dolgovechnosti asfal'to-betonnykh pokrytiy [Analysis of Methods for Predicting the Fatigue Life of Asphalt-Concrete Coatings]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2014, no. 11, pp. 727–731. (In Russian)
9. Chernov S.A., Chirva D.V., Lekontsev E.V. Vliyaniye polimerno-bitumnogo vyazhushchego na protsessy koleebrazovaniya v verkhnikh sloyakh pokrytiy [Influence of the Polymer-bitumen Binder On the Rutting Processes of in the Coating Upper Layers]. *Internet-zhurnal Naukovedenie* [Internet-magazine Naukovedenie]. 2012, no. 4 (13), paper 9. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/87trgsu412.pdf>. (In Russian)
10. Chernov S.A., Golyubin K.D. Puti povysheniya ustoychivosti k plasticheskomu koleebrazovaniyu shchebenochno-mastichnykh asfal'tobetonov [Ways to Increase Resistance of Crushed Stone-Mastic Asphalt-Concretes to Plastic Kole-Formation]. *Dorogi i mosty* [Roads and Bridges]. 2014, vol. 2, no. 32, pp. 264–272. (In Russian)
11. Zhdanyuk V.K., Datsenko V.M. Ustoychivost' asfal'tobetonov razlichnykh granulometricheskikh tipov k nakopleniyu plasticheskikh deformatsiy v vide kolei [Stability of Asphalt-Concrete of Various Granulometric Types to the Accumulation of Track Form Plastic Deformations]. *Avtozhlyakhovik Ukraini* [Auto Road Worker of Ukraine]. 2009, no. 1, pp. 31–34. (In Russian)
12. Belyayev N.N., Petushenko V.P. S koleynost'yu mozjno borot'sya [Rutting Can Be Fought Against]. *Dorozhnaya derzhava* [Road Empire]. 2010, no. 24, pp. 46–48. (In Russian)
13. Mironchuk S.A. *Metod opredeleniya ustoychivosti asfal'tobetonnykh pokrytiy avtomobil'nykh dorog k nakopleniyu ostatochnykh deformatsiy pod vozdeystviem dinamicheskikh nagruzok : avtoreferat ... dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Method for Determining the Stability of Asphalt-Concrete Road Surfaces to the Accumulation of Residual Deformations under the Dynamic Loads Influence : Abstract of the Thesis ... Candidate of Technical Sciences]. Voronezh, 2015, 18 p. (In Russian)

Received in October 2016.

Adopted in revised form in April 2017.

Approved for publication in May 2017.

About the authors: **Chernov Sergey Anatolevych** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Auto Roads Department, **Academy of Construction and Architecture, State Don Technical University (DSTU ASA)**, 162 Socialisticheskaya str., Rostov-na-Donu, 344022, Russian Federation; sergey_a_chernov@mail.ru;

Kaklyugin Alexander Viktorovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Constructional Materials Department, **Academy of Construction and Architecture, State Don Technical University (DSTU ASA)**, 162 Socialisticheskaya str., Rostov-na-Donu, 344022, Russian Federation; kaklyugin@gmail.com;

Nikitina Anna Nikolaevna — Candidate of Economical Sciences, Associate Professor of the Transport and Traffic Management Department, **Academy of Construction and Architecture, State Don Technical University (DSTU ASA)**, 162 Socialisticheskaya str., Rostov-na-Donu, 344022, Russian Federation; annasunray@mail.ru;

Golyubin Kirill Dmitrievich — post-graduate, Auto Roads Department, **Academy of Construction and Architecture, State Don Technical University (DSTU ASA)**, 162 Socialisticheskaya str., Rostov-na-Donu, 344022, Russian Federation; golyubin@gmail.com.