

УДК 625.852

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ ОБЪЁМНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЕМ  
НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ**

**Бестаев Евгений Олегович**, магистр, главный специалист,  
ФАУ «РОСДОРНИИ», 125493, Россия, Москва, ул. Смольная, 2,  
officemailaccount@protonmail.com.

**Ларина Татьяна Алексеевна**, канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, larti50@mail.ru.

**Аннотация.** Подавляющее большинство автомобильных дорог, и высокоскоростных магистралей в частности, имеют асфальтобетонное покрытие. При этом одной из главных проблем на многополосных магистралях с высокой интенсивностью движения является интенсивность колееобразования. Последние исследования свидетельствуют, что при образовании колеи на скоростных магистралях ключевое значение имеет процесс накопления сдвиговых усилий в верхних слоях асфальтобетонных покрытий и связанных с ними внутренних деформаций, которые многократно возрастают с увеличением скорости и числа транспортных средств, а не только устойчивость минерального наполнителя к абразивному истиранию. Система объёмно-функционального проектирования асфальтобетона (она же «Supergrave», далее – ОФП, объёмно-функциональное проектирование) позволяет в значительной степени решить эту проблему, так как одним из основных её принципов является тщательная оценка свойств битумного вяжущего на устойчивость к сдвиговым нагрузкам, вызывающим разрушительные для асфальтобетона внутренние напряжения.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, дорожное покрытие, асфальтобетон, транспортное средство (ТС), колееобразование, объёмно-функциональное проектирование.

**THEORETICAL PREREQUISITES FOR THE USE OF SUPERIOR  
PERFORMING ASPHALT PAVEMENTS TECHNOLOGY TO  
COMBAT TRACK FORMATION ON HIGH-SPEED HIGHWAYS**

**Bestaev Evgeniy O.**, master, senior specialist,  
FAI «ROSDORNII», 2, Smolnaya st., Moscow, 125493, Russia,  
officemailaccount@protonmail.com.

**Larina Tatyana A.**, Ph.D., associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, larti50@mail.ru.

**Abstract.** The vast majority of highways, and high-speed highways in particular, have asphalt concrete pavement. At the same time, one of the main problems on multi-lane highways with high traffic intensity is the high rate of track formation. Recent studies show that during the formation of a track on high-speed highways, the process of accumulation of shear forces in the upper layers of asphalt concrete coatings and associated internal deformations, which increase many times with increasing speed and number of vehicles, and not only the resistance of the mineral filler to abrasive abrasion, is of key importance. The system of volumetric-functional design of asphalt concrete (aka "Superpave", hereinafter referred to as OFP, volumetric–functional design) allows to solve this problem to a large extent, since one of its main principles is a thorough assessment of the properties of bitumen binder for resistance to shear loads that cause internal stresses destructive to asphalt concrete.

**Key words:** highway, road surface, asphalt concrete, vehicle, track formation, superior performing asphalt pavements.

### Введение

Современный уровень автомобилизации сделал востребованным как никогда строительство автомобильных магистралей, рассчитанных на высокие интенсивность и скорость движения транспортных средств. При этом одной из ключевых проблем при эксплуатации высокоскоростных магистралей является высокие темпы износа слоя покрытия и колееобразования. Так, срок службы верхнего асфальтобетонного слоя дорожной одежды на автомобильных дорогах КАД в Ленинградской области и МКАД в Москве, где основную долю транспортного потока составляют легковые автомобили, движущиеся со скоростью более 90 км/ч, составляет 1–2 года на скоростных полосах движения [1].

Результаты последних исследований в области изучения данного вопроса показывают, что основной причиной износа покрытий высокоскоростных магистралей является не уровень абразивного износа, как считалось ранее, а ускоренный темп накопления внутренних напряжений в асфальтобетоне, значительно превышающий скорость их релаксации [2; 3]. Следствием указанного процесса является разрушение коагуляционных связей между структурными элементами

асфальтобетонного слоя, что приводит к их отрыву и постепенному истончению слоя.

Как известно, асфальтобетон является упруго-вязко-пластичным материалом, ввиду чего обладает демпфирующей способностью, проявляющейся в частичной потере механической энергии распространяющихся в асфальтобетоне волн напряжений от движения транспортных средств за счёт её превращения в энергию тепловую. Однако, как свидетельствуют соответствующие испытания и наблюдения [4; 5], при высоких показателях транспортной нагрузки, преимущественно от легковых автомобилей, накапливающиеся в асфальтобетоне напряжения превышают прочность структурных связей его компонентов, что приводит к началу процесса деформации, который сопровождается снижением тепловой энергии поверхности асфальтобетонного покрытия.

Указанное явление представляет проявление закона сохранения энергии в системе дорожное покрытие – транспортное средство. Данный вопрос детально рассмотрен в ряде работ [3; 6] и характеризует собой процесс превращения кинетической энергии транспортного средства в тепловую энергию, нагревая поверхность покрытия, и её частичной диссипации, что и является причиной возникновения и накопления внутренних напряжений, влекущих при высоких значениях последующее разрушение слоя.



релаксирующим материалом и обладает внутренними степенями свободы [24]. Подобный механизм разрушения асфальтобетонных покрытий наиболее наглядно проявляется на высокоскоростных магистралях с высокой интенсивностью движения и долей транспортных средств. Связано это с решающим влиянием на процесс накопления внутренних деформаций сдвиговых, возникающих преимущественно при высокоскоростном движении легкового транспорта, напряжений, а не нормальных, образующихся в основном при движении грузового транспорта с более низкими скоростями [4].

Вышеуказанные механизмы разрушения асфальтобетона обусловлены применением в его составе вяжущего в виде нефтяного дорожного битума, которое входит в его состав и связывает его составные части в единую устойчивую систему.

Стоит отметить, что к похожим выводам также пришли коллеги в ходе эксплуатации автомобильной дороги А-114 «КАД», одними из первых применившими в России технологию ОФП для борьбы с высоким темпом колееобразования на высокоскоростной магистрали [7]. Благодаря предъявляемым требованиям к дорожно-строительным материалам, особенно битумному вяжущему, и соответствующим испытаниям, ориентированных на прогнозируемые эксплуатационные температуры покрытия, ОФП позволяет эффективно бороться с описанными механизмами износа асфальтобетонных покрытий.

### **Основная часть**

В конце 1980-х годов в США была разработана новая система проектирования асфальтобетонных смесей «Superpave» (Superior Performing Asphalt Pavements) – высококачественные асфальтобетонные покрытия). Указанная технология была разработана с целью замены ранее применяемых методов Маршалла и Хвима. При этом изначально предполагалось, что новый способ проектирования состава смесей будет

предусматривать испытания и модели, по результатам которых можно будет прогнозировать колееобразование [8]. Согласно новому методу проектирования по ряду причин предлагалось производить более тщательное исследование и нормирование применяемых дорожно-строительных материалов, а также эксплуатационных характеристик асфальтобетона. Решение этой задачи привело к двум основным принципам ОФП: строгий отбор и контроль свойств применяемого каменного наполнителя и определение фундаментальных характеристик битумного вяжущего.

Методология ОФП кардинальным образом пересматривает подход к классификации битумных вяжущих, предлагая взамен определения физико-механических свойств вяжущих градацию в зависимости от рабочих эксплуатационных температур слоя покрытия PG (Performance Graded). Основные виды испытаний для определения характеристик битумного вяжущего в соответствии с методологией ОФП и их предназначение представлены на рис. 2.

В 2019 г. были утверждены и введены в действие национальные стандарты серии ГОСТ Р 58400, регламентирующие требования к битумным вяжущим и их испытания в рамках применения методологии ОФП и PG-градации. При этом ГОСТ Р 58400.1 [11], ГОСТ Р 58400.2 [12] и ГОСТ Р 58400.3 [13] устанавливают технические условия к битумным вяжущим и порядок определения PG-классификации, а прочие стандарты данной серии – методы их испытаний [14–21].

Посредством применения указанного комплекса испытаний и классификации битумных вяжущих в зависимости от эксплуатационных температур слоя PG становится возможной точная оценка целесообразности применения конкретной марки вяжущих в заданном температурном режиме, а также необходимости применения модифицирующих добавок, что позволяет в некоторых случаях экономить

на применении ПБВ. При этом, как показывает практика применения, используемые в настоящее время при проведении дорожных работ на автомобильных дорогах г. Москвы дорожные битумы в целом удовлетворяют соответствующим требованиям классификации битумных вяжущих согласно PG [9].

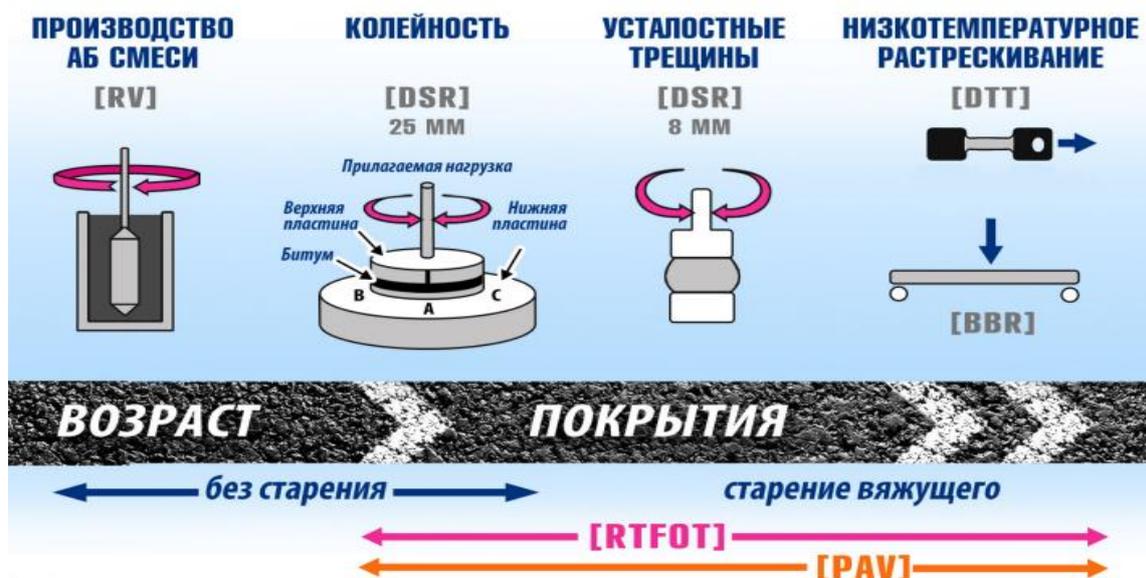


Рис. 2. Общая схема применения приборов для осуществления испытаний по методологии ОФП [10]

Отдельно стоит выделить прибор DSR (Dynamic Shear Rheometer), применяемый для испытаний вяжущих согласно ГОСТ Р 58400.10-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения свойств с использованием динамического сдвигового реометра (DSR)» [21], он же динамический сдвиговой реометр или реометр динамического сдвига. Указанный прибор путём создания осциллирующих нагрузок создаёт имитацию многократного приложения сдвиговых нагрузок к образцу битумного вяжущего. DSR-тест используются для оценки параметров характеризующий сдвиговую устойчивость битумного вяжущего, по которым определяется верхний предел эксплуатационной температуры покрытия в соответствии с классификацией вяжущих по PG.

Показатель сопротивления материала сдвиговым усилиям характеризуется модулем сдвига ( $G$ ), связывающим касательное напряжение ( $\tau$ ) с деформацией сдвига ( $\gamma$ ):

$$G = \frac{\tau}{\gamma}.$$

В ходе DSR-теста определяется комплексный модуль сдвига асфальтобетона ( $G^*$ ) – величина, определяемая отношением максимального абсолютного напряжения сдвига к максимальной абсолютной деформации сдвига [21]:

$$G = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}}.$$

Комплексный модуль  $G^*$  можно рассматривать как общую сопротивляемость деформации битумного вяжущего при многократном сдвиге. В векторном отношении  $G^*$  складывается из действительной части в виде динамического модуля накопления ( $G'$ ), характеризующего упругие свойства материала, и мнимой части, представленной динамическим модулем потерь ( $G''$ ), который описывает свойства материала, как вязкой жидкости:  $G^* = G' + iG''$ . Указанные величины связаны между собой фазовым углом ( $\delta$ ), определяющим сдвиг фаз между деформацией и напряжением сдвига [21].

Вязкая часть

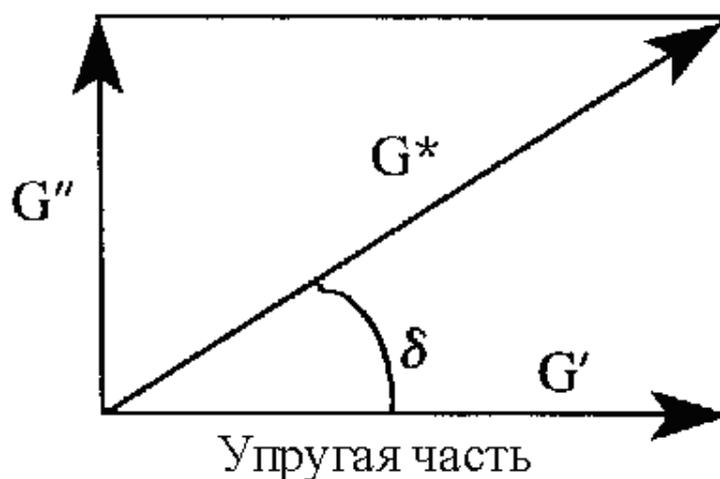


Рис. 3. Графическое изображение составляющих комплексного модуля сдвига  $G^*$

Динамический модуль потерь  $G''$  является отношением максимальной амплитуды напряжения сдвига к максимальной амплитуде деформации сдвига для составляющей момента вращения с фазовым сдвигом  $90^\circ$  относительно синусоидальной деформации. По сути именно показатель характеризует сдвиговую устойчивость материала и характеризует устойчивость вяжущего к колееобразованию [22]. На рисунке 3 не составит труда определить  $G''$  через  $G^*$  и  $\delta$ :  $G'' = \frac{G^*}{\sin \delta}$ . Эти показатели ( $G^*$  и  $\delta$ ) позволяют определить показатель по DSR, при этом  $\delta$  является величиной временного запаздывания (временной лаг) отклика испытуемого образца вяжущего на прилагаемую верхней пластиной реометра сдвиговую нагрузку, что характерно для вязко-упругих материалов.

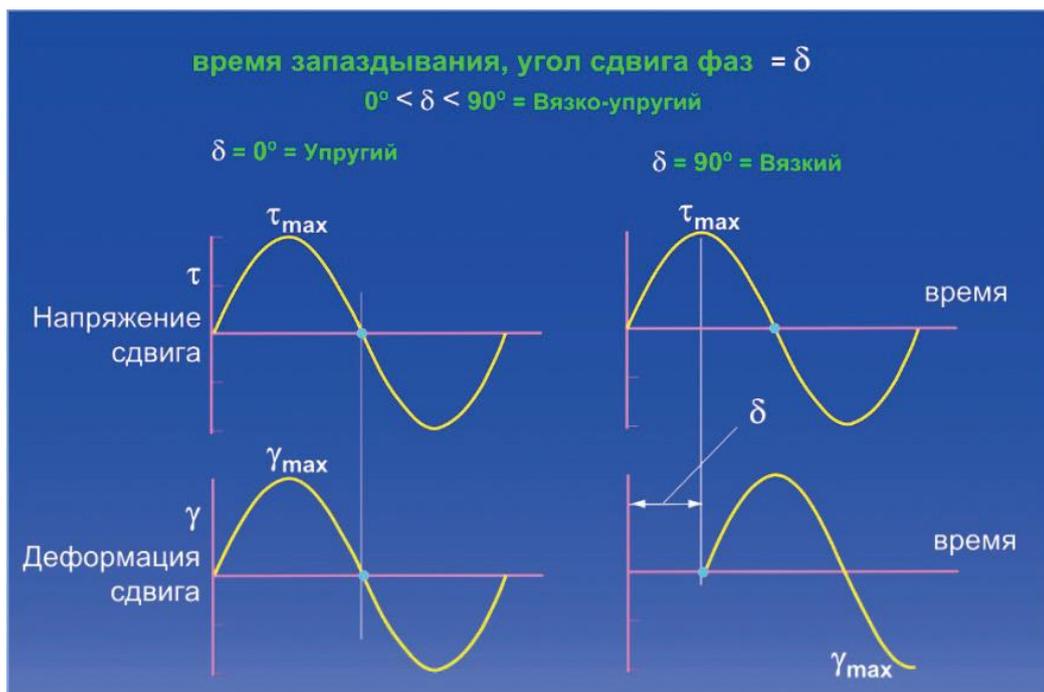


Рис. 4. Угол сдвига фаз ( $\delta$ ) = время запаздывания (временной лаг) [22]

Аналогично  $G'$  характеризует устойчивость битумного вяжущего к внутренним (усталостным) напряжениям и определяется как:  $G' = G^* \times \sin \delta$ . Также через модуль  $G'$  определяют значения

низкотемпературной релаксации  $G(t)$ , используемый для определения показателя низкотемпературной устойчивости.

Увеличение комплексный модуля сдвига  $G^*$  приводит к повышению жесткости вяжущего, в то время как снижение величины фазового угла  $\delta$  обеспечивает повышение упругих характеристик материала. Указанные данные позволяют оценить колееустойчивость битумного вяжущего, а значит и асфальтобетона в целом [8; 22; 23].

Стоит отметить, что необходимость оценки битума на сдвиговые и усталостные реологические характеристики битума ввиду косвенного характера данных простых испытаний (пенетрация, температуры размягчения и хрупкости, растяжимость и др.) разрабатывалась отечественными учеными-дорожниками [24, 25], однако в качестве цельной и единой системы, подкрепленной соответствующей нормативно-технической базой, воплотились аналогичные разработки исследователей США в виде технологии ОФП.

### **Вывод**

В основе испытаний битумных вяжущих в соответствии с методологией ОФП лежит необходимость определения фундаментальных характеристик битумных вяжущих (комплексный модуль упругости  $G^*$ , фазовый угол  $\delta$ ), в зависимости от которых непосредственно находятся колееустойчивость и сопротивляемость усталостному растрескиванию будущей асфальтобетонной смеси. При этом простые методы испытаний битумных вяжущих (пенетрация, температуры размягчения и хрупкости, растяжимость и др.) не дают достаточную информацию об эксплуатационных свойств битума.

Таким образом, применение технологий ОФП, в части подбора и оценки качества битумных вяжущих, имеет потенциал применения при борьбе с современными проблемами в дорожной отрасли, одной из которых является колееобразование на высокосортных магистралях из-за

высоких сдвиговых нагрузок, возникающих в верхнем слое дорожного покрытия при интенсивном движении легкового транспорта на высоких скоростях.

### Список литературы

1. Васильев, Ю.Э. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу в условиях, приближенных к эксплуатационным. / Ю.Э. Васильев, А.В. Ивачев, И.С. Братищев // Интернет-журнал "Науковедение". – 2014. – № 5 (24).
2. Ларина, Т.А. Высокий износ. / Т.А. Ларина // Автомобильные дороги. – 2013. – № 12 (985). – С. 65–67.
3. Ларина, Т.А. Модель износа асфальтобетонных покрытий при эксплуатации дорог / Т.А. Ларина, Н.Р. Зубарев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2019. – № 2.
4. Ларина, Т.А. Метод оценки кинетики износа асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / Т.А. Ларина, Н.Р. Зубарев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2019. – № 1 (19).
5. Ларина, Т.А., Зубарев, Н.Р. Способ контроля за процессом износа покрытий на многополосных магистралях с высокой интенсивностью движения / Т.А. Ларина, Н.Р. Зубарев // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сборник материалов II Национальной научно-практической конференции. – 2019. – С. 156–161.
6. Кирилов, А.М. Моделирование процессов энергообмена в системе дорожное покрытие – транспортное средство. / А.М. Кирилов, М.А. Завьялов // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 5 (57). – С. 34–44.
7. Былина, И.В. Опыт применения объёмного метода проектирования составов асфальтобетонных смесей на кольцевой автомобильной дороге вокруг города Санкт-Петербурга / И.В. Былина // PRO Битум и ПБВ: материалы VIII межотраслевой конференции. – 2019.
8. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, National Center for Asphalt Technology (NCAT), Lanham, 2009, 720 p.
9. Жданов, К.А. Предварительные результаты эксперимента по устройству опытных участков из ЩМА на МКАД, запроектированных по различным стандартам / К.А. Жданов // PRO Битум и ПБВ: материалы VIII межотраслевой конференции. – 2022.
10. Мотина, Е.В. Испытания по системе Supergravel в России: сегодня и в перспективе / Е.В. Мотина // Дорожная держава. – 2015. – Специальный выпуск. – С. 49–51.

11. ГОСТ Р 58400.1–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические условия с учетом температурного диапазона эксплуатации / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
12. ГОСТ Р 58400.2–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические условия с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
13. ГОСТ Р 58400.3–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения марки / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
14. ГОСТ Р 58400.4–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения поправок по объему / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
15. ГОСТ Р 58400.5–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод старения под действием давления и температуры (PAV) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
16. ГОСТ Р 58400.6–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения упругих свойств при многократных сдвиговых нагрузках (MSCR) с использованием динамического сдвигового реометра (DSR) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
17. ГОСТ Р 58400.7–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения усталостной характеристики / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
18. ГОСТ Р 58400.8–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения жесткости и ползучести битума при отрицательных температурах с помощью реометра, изгибающего балочку (BBR) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
19. ГОСТ Р 58400.9–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения низкотемпературных свойств с использованием динамического сдвигового реометра (DSR) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.
20. ГОСТ Р 58400.10–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения свойств с

использованием динамического сдвигового реометра (DSR) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.

21. ГОСТ Р 58400.11–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения температуры растрескивания при помощи устройства ABCD / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2019.

22. Мотина, Е.В. Динамический сдвиговый реометр DSR Для новых испытаний / Мотина, Е.В. // Автомобильные дороги – 2016. – № 7 (1016). – С. 70–73.

23. Радовский, Б.С. Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв / Б.С. Радовский // Дорожная техника. 2008. – №5. – С. 42–52.

24. Гезенцвей, Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцвей и др. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.

25. Грушко, И.М., Дорожно-строительные материалы. / И.М. Грушко и др. – М.: Транспорт, 1991. – 357 с.

### References

1. Vasil'ev Yu.E., Ivachev A.V., Bratishchev I.S. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*, 2014, no. 5 (24).
2. Larina T.A. *Avtomobil'nye dorogi*, 2013, no. 12 (985), pp. 65–67.
3. Larina T.A., Zubarev N.R. *Nauka i tehnika v dorozhnoi otrasli*, 2019, no. 2.
4. Larina T.A., Zubarev N.R. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2019, no. 1 (19).
5. Larina T.A., Zubarev N.R. *Sbornik materialov II Nacional'noi nauchno-prakticheskoi konferencii "Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitel'stvo"*, Omsk, 2019, pp. 156–161.
6. Kirillov A.M., Zav'jalov M.A. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*, 2015, no. 5 (57), pp. 34–44.
7. Bylina I.V. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi konferencii "PRO Bitum i PBV"*, Saint-Petersburg, 2019.
8. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*, National Center for Asphalt Technology (NCAT), Lanham, 2009, 720 p.
9. Zhdanov K.A. *Materialy X Mezhdunarodnoi konferencii "PRO Bitum i PBV"*, Saint-Petersburg, 2022.
10. Motina E.V. *Dorozhnaya derzhava*, 2015, special issue , pp. 49–51.
11. *Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.1–2019. Materialy viazhushchie neftyanye bitumnye. Tekhnicheskie usloviia s uchetom temperaturnogo diapazona ekspluatatsii (Public roads. GOST R 58400.1–2019. Materials*

binding petroleum bitumen. Technical conditions taking into account the temperature range of operation), Moscow, Standartinform, 2019.

12. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.2–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Tekhnicheskie usloviia s uchetom urovnei ekspluatatsionnykh transportnykh nagruzok (Public roads. GOST R 58400.2–2019. Materials binding petroleum bitumen. Technical conditions taking into account the levels of operational transport loads), Moscow, Standartinform, 2019.

13. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.3–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Poriadok opredeleniia marki (Public roads. GOST R 58400.3–2019. Materials binding petroleum bitumen. The procedure for determining the brand), Moscow, Standartinform, 2019.

14. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.4–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Metod opredeleniia popravok po obemu (Public roads. GOST R 58400.4–2019. Materials binding petroleum bitumen. Method for determining volume corrections), Moscow, Standartinform, 2019.

15. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.5–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Metod stareniiia pod deistviem davleniia i temperatury (PAV) (Public roads. GOST R 58400.5–2019. Materials binding petroleum bitumen. Method of aging under the influence of pressure and temperature (PAV), Moscow, Standartinform, 2019.

16. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.6–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Metod opredeleniia uprugikh svoistv pri mnogokratnykh sdvigovykh nagruzkakh (MSCR) s ispolzovaniem dinamicheskogo sdvigovogo reometra (DSR) (Public roads. GOST R 58400.6–2019. Materials binding petroleum bitumen. A method for determining elastic properties under multiple shear loads (MSCR) using a dynamic shear rheometer (DSR)), Moscow, Standartinform, 2019.

17. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.7–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Metod opredeleniia ustalostnoi kharakteristiki (Public roads. GOST R 58400.7–2019. Materials binding petroleum bitumen. Method for determining fatigue characteristics), Moscow, Standartinform, 2019.

18. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.8–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Metod opredeleniia zhestkosti i polzuchesti bituma pri otritsatelnykh temperaturakh s pomoshchiu reometra, izgibaiushchego balochku (BBR) (Public roads. GOST R 58400.8–2019. Materials binding petroleum bitumen. A method for determining the stiffness and creep of bitumen at negative temperatures using a beam bending rheometer (BBR)), Moscow, Standartinform, 2019.

19. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.9–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Metod opredeleniia nizkotemperaturnykh svoistv s ispolzovaniem dinamicheskogo sdvigovogo reometra (DSR) (Public roads. GOST R

58400.9–2019. Materials binding petroleum bitumen. A method for determining low-temperature properties using a dynamic shear rheometer (DSR)), Standartinform, 2019.

20. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.10–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Metod opredeleniia svoistv s ispolzovaniem dinamicheskogo sdvigovogo reometra (DSR) (Public roads. GOST R 58400.10–2019. Materials binding petroleum bitumen. A method for determining properties using a dynamic shear rheometer (DSR)), Moscow, Standartinform, 2019.

21. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia. GOST R 58400.11–2019. Materialy viazhushchie nefniane bitumnye. Metod opredeleniia temperatury rastreskivaniia pri pomoshchi ustroistva ABCD (Public roads. GOST R 58400.11–2019. Materials binding petroleum bitumen. Method for determining the cracking temperature using the ABCD device), Moscow, Standartinform, 2019.

22. Motina E.V. *Avtomobil'nye dorogi*, 2016, no. 7 (1016), pp. 70–73.

23. Radovskii B.S. *Dorozhnaya tekhnika*, 2008, no. 5, pp. 42–52.

24. Gezencvei L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavskij A.M., Korolev I.V. *Dorozhnyi asfal'tobeton* (Road asphalt), Moscow, Transport, 1985, 350 p.

25. Grushko I.M., Korolev I.V., Borshch I.M., Mishchenko G.M. *Dorozhno-stroitel'nye materialy* (Road construction materials), Moscow, Transport, 1991, 357 p.

Рецензент: С.В. Полякова, канд. техн. наук, зам. начальника ОНТИ, ФАУ «РОСДОРНИИ»