

Научная статья  
УДК 665.775  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-278-290>  
EDN: WWSVEJ



## ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ОБЪЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПО ТЕХНОЛОГИИ SUPERPAVE И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ PG БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО

Н. И. Брызгалов\*, А. Ф. Кемалов  
Казанский федеральный университет  
г. Казань, Россия

[ni.bryzgalov@mail.ru](mailto:ni.bryzgalov@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-9511-3689>  
[alim.kemalov@mail.ru](mailto:alim.kemalov@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-3889-9640>  
\*ответственный автор

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В данной статье рассмотрена технология проектирования асфальтобетонных покрытий по методу Superpave. Система Superpave (SUPERior PERforming Asphalt PAVements) была разработана стратегической программой исследований автомобильных дорог (SHRP) в США. Целью программы был поиск новых способов проектирования, асфальтобетонных покрытий, которые будут работать лучше при экстремальных температурах и интенсивных транспортных нагрузках.

В настоящее время в российской дорожно-строительной отрасли активно внедряется система объемного проектирования асфальтобетонных смесей. Это адаптация американского метода Superpave и внедрения в нашей стране в виде серии новых стандартов. Система объемно-функционального проектирования Superpave в частности связана с устранением нескольких проблем, связанных с дорожным покрытием: постоянной деформацией, которая является результатом неудовлетворительной прочности асфальтобетонной смеси на сдвиг при высоких температурах, и повреждением при низких температурах, которое возникает, когда асфальтобетонное покрытие подвергается напряжению, превышающему предел прочности на сжатие и растяжение. Устранение вышеописанных проблем осуществляется за счет наиболее разумного подбора составляющих асфальтобетонной смеси.

**Материалы и методы.** Исследования битумных вяжущих проведены по методам, заложенным в технические требования: ГОСТ Р 58400.1–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом температурного диапазона эксплуатации».

Подбор марки PG битумного вяжущего по технологии Superpave был проделан на примере полимер-битумного вяжущего, отвечающего требованиям ГОСТ 52056–2003 марки ПБВ 90 (образец 4) и битумного вяжущего, полученного на основе гудрона с добавлением термоэластопласта (далее – ТЭП) типа СБС, соответствующего требованиям ГОСТ 52056–2003 марки ПБВ 90 (образец 3).

**Результаты.** В статье проведен обзор технической документации с целью ознакомления с методологией подбора марки битумного вяжущего для асфальтобетонной смеси. В ходе исследований рассмотрены технологические особенности системы объемного функционального проектирования асфальтобетонной смеси по методике Superpave, а также определены марки битумного вяжущего. Внедрение иностранного опыта в строительство дорог может способствовать улучшению и повышению качества российских автомобильных дорог.

**Обсуждение и заключение.** Основываясь на проведенных в работе экспериментальных данных, можно сделать заключение о том, что достигнута поставленная цель, а именно – подобраны марки битумного вяжущего по технологии Superpave, отвечающие требованиям ГОСТ Р 58400.1–2019 и ГОСТ Р 58400.2–2019, а именно для полимерно-битумного вяжущего (ПБВ 90 по ГОСТ 52056–2003) – PG 58-28, и на основе гудрона с добавлением ТЭП марки СБС – PG 64-28 соответственно.

По результатам проведенных испытаний были подобраны марки битумных вяжущих PG по технологии Superpave и в зависимости от климатических условий и транспортных нагрузок ГОСТ Р 58400.1–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом температурного диапазона эксплуатации» и ГОСТ Р 58400.2–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок».

© Брызгалов Н. И., Кемалов А. Ф., 2023



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Superpave (Superior performing asphalt pavements), PG (Performance Grade), Полимер-битумное вяжущее, термоэластопласт, физико-механические показатели, реологические характеристики*

**Статья поступила в редакцию 25.01.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 21.04.2023.**

**Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.**

*Для цитирования:* Брызгалов Н. И., Кемалов А. Ф. Особенности системы объемного проектирования асфальтобетонной смеси по технологии SUPERPAVE и определение марки pg битумного вяжущего // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 2 (90). С. 278-290. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-278-290>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-278-290>

EDN: WWSVEJ

## FEATURES OF DIMENSIONAL DESIGN SYSTEM FOR ASPHALT CONCRETE MIX ON SUPERPAVE TECHNOLOGY AND BITUMINOUS BINDER OF PG GRADE DETERMINATION

**Nikolai I. Bryzgalov\*, Alim F. Kemalov**

Kazan Federal University

Kazan, Russia

[ni.bryzgalov@mail.ru](mailto:ni.bryzgalov@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-9511-3689>

[alim.kemalov@mail.ru](mailto:alim.kemalov@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-3889-9640>

\*corresponding author

### ABSTRACT

**Introduction.** This article discusses the technology of designing asphalt concrete pavements, using the Superpave method. The Superpave (SUPERior PERforming Asphalt PAVements) system was developed by the Strategic Highway Research Program (SHRP) in the USA. The aim of the program was to find new ways of designing asphalt concrete pavements that will work better at extreme temperatures and heavy traffic loads.

Currently, the system of volumetric design of asphalt concrete mixtures is being actively implemented in Russian road construction industry. This is an adaptation of the American Superpave method and is being implemented in our country in the form of a series of new standards. The Superpave volumetric and functional design system in particular addresses several pavement-related problems: permanent deformation, which results from poor asphalt mix shear strength at high temperatures, and low temperature damage, which occurs when the asphalt pavement is subjected to stress exceeding the compressive and tensile strength. The elimination of the above problems is carried out due to the most reasonable selection of the components of the asphalt concrete mixture.

**Materials and methods.** Studies of bitumen binders were carried out according to the methods laid down in the technical requirements: GOST R 58400.1-2019 - Public roads. Materials binding petroleum bitumen. Technical requirements taking into account the temperature ranges of operation.

The selection of the PG brand of bitumen binder using Superpave technology was carried out using the example of a polymer-bitumen binder that meets the requirements of GOST 52056-2003 PBB 90 (sample 4) and a bitumen binder obtained from tar with the addition of thermoplastic elastomer (hereinafter referred to as TEP) of the SBS type that meets the requirements of GOST 52056-2003 PBB 90 (sample 3).

**Results.** The article provides a review of technical documentation in order to familiarize with the methodology for selecting the brand of bituminous binder for asphalt mix. In the course of the research, the technological features of the system of volumetric functional design of the asphalt concrete mixture according to the Superpave method, as well as the determination of the brand of bituminous binder, were considered. The introduction of foreign experience in road construction can contribute to the improvement and improvement of the quality of Russian roads.

**Discussion and conclusions.** Based on the experimental data carried out in the work, it can be concluded that the goal has been achieved, namely, the brands of bitumen binder have been selected using Superpave technology that meet the requirements of GOST R 58400.1-2019 and GOST R 58400.2-2019, namely for polymer-bitumen binder (PBB 90 according to GOST 52056-2003) – PG 58-28, and on the basis of tar with the addition of SBS – PG 64-28 grade TEP, respectively.

© Bryzgalov N. I., Kemalov A. F., 2023



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

*Having studied the physical and chemical characteristics of the initial reagents, as well as the results of numerous chemical experiments, brands of PG bitumen binders were selected using Superpave technology and depending on climatic conditions and transport loads GOST R 58400.1-2019 - Public roads. Materials binding petroleum bitumen. Technical requirements taking into account the temperature ranges of operation and GOST R 58400.2-2019 - Public roads. Materials binding petroleum bitumen. Technical requirements taking into account the levels of operational transport loads.*

**KEYWORDS:** Superpave (Superior performing asphalt pavements), PG (Performance Grade), Polymer-bitumen binder, thermoplastics, physical and mechanical parameters, rheological characteristics

**The article was submitted 25.01.2023; approved after reviewing 10.03.2023; accepted for publication 21.04.23.**

**The authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation:* Nikolai I. Bryzgalov\*, Alim F. Kemalov Features of dimensional design system for asphalt concrete mix on superpave technology and bituminous binder of pg grade determination. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (2): 278-290. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-278-290>

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в российской дорожно-строительной отрасли активно внедряется система объемного проектирования асфальтобетонных смесей. Это адаптация американского метода Superpave и внедряется в нашей стране в виде серии новых стандартов. Система объемно-функционального проектирования Superpave в частности связана с устранением нескольких проблем, связанных с дорожным покрытием: постоянной деформацией, которая является результатом неудовлетворительной прочности асфальтобетонной смеси на сдвиг при высоких температурах, и повреждением при низких температурах, которое возникает, когда асфальтобетонное покрытие подвергается напряжению, превышающему предел прочности на сжатие и растяжение. Устранение вышеописанных проблем осуществляется за счет наиболее разумного подбора составляющих асфальтобетонной смеси. В России эта технология недавно вызвала интерес. В 2016 г. были переведены и опубликованы предварительные национальные стандарты, в которых описывались требования к материалам, проведению проектирования и подбору смесей [1].

Система объемного проектирования Superpave позволяет подобрать смесь с требуемыми техническими характеристиками в зависимости от климатических условий и транспортной нагрузки в конкретных условиях

эксплуатации. Главнейшим параметром в данной системе проектирования является метод подбора битумного вяжущего, который считается основным компонентом, придающим дорожному полотну требуемые эксплуатационные характеристики и долговечность. Система включает в себя требования к битумному вяжущему и методы испытаний, основанные на оценке реологических характеристик. В соответствии с определением верхнего и нижнего температурных пределов, при которых не растрескивается битумное вяжущее в дорожном покрытии, определяется она по маркам PG и классифицируется в соответствии с температурным диапазоном эксплуатации (ТДЭ) в покрытии, которое играет важную роль<sup>1</sup>. Испытание битумного вяжущего проводят из расчета всего срока службы покрытия с учетом технологического и эксплуатационного старения. Номенклатурный перечень марок PG в соответствии с ГОСТ Р 58400.1 позволяет подобрать наилучшее битумное вяжущее, необходимое для конкретного участка дороги.

С июля 2019 г. российская дорожно-строительная отрасль внедрила ряд стандартов, согласно системе объемного функционального проектирования SPAS, для стандартизации технических требований к битумному вяжущему и асфальтобетонной смеси, аналогичных системе Superpave США и методам испытаний для них. ГОСТ Р 58400.1–2019<sup>2</sup> и ГОСТ Р 58400.2–2019<sup>3</sup> ввели вместо предварительных

<sup>1</sup> Тюкилина П. М. Комплексное технологическое регулирование производства современных дорожных битумных вяжущих: автореф. дис. ... докт. тех. наук: 2.6.12 / Тюкилина Полина Михайловна; РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина. Москва, 2021. 51 с.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 58400.1–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Изд. официальное. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 58400.2–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Изд. официальное. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

стандартов ПНСТ 85–2016 и ПНСТ 82–2016 соответственно, эти стандарты регулируют выбор битумных вяжущих с учетом рабочей температуры и транспортной нагрузки.

Метод подбора марки битумного вяжущего, предложенный в новой системе проектирования, в полном объеме отличается от метода, используемого в настоящее время в нашей стране. Он основан на определении основных характеристик битумного вяжущего в зависимости от температуры и нагрузки в отличие от технических требований ГОСТ 22245–90 и обновленного ГОСТ 33133–2014<sup>4</sup>, по этой причине переход на новую систему стандартизации требует полного переоснащения лаборатории, что не только влечет за собой огромные финансовые издержки, но и сроки поставки, настройки и пуско-наладочные работы оборудования, а также время на обучение персонала. Лабораторное оборудование, соответствующее новым требованиям ГОСТ Р 58400.1 и ГОСТ Р 58400.2, в принципе не имеет аналогов российского производства, а поставляется только из-за границы.

В соответствии с требованиями по ГОСТ Р 58400.1 марки битумного вяжущего обозначаются как PG X±Y, где значение X (верхняя предельная температура) и Y (нижняя предельная температура), данные параметры устанавливаются на основе температуры, рассчитанной в соответствии с условиями эксплуатации асфальтобетонного полотна. Параметр X отражает летнюю температуру, при которой ожидается эксплуатация участка дороги, и считается самой высокой температурой, при которой битумное вяжущее в составе асфальтобетонной смеси гарантирует устойчивость к образованию колеи. Параметр Y – это зимняя температура, при которой дорожное покрытие обеспечивает стойкость к растрескиванию при низких температурах. Например, при изготовлении покрытий можно использовать вяжущее марки PG 58-34. Согласно проекту летняя рабочая температура ожидается на уровне 58 °С (расчет за семь суток), а зимняя температура покрытия не ниже минус 34 °С. Максимальная и минимальная температуры двух соседних марок отличаются на 6 °С, чтобы исключить риск разрушения и обеспечить устойчивость связующего к усталостному разрушению. Помимо всего этого, ГОСТ Р 58400.1 также содержит требования к промежуточной температуре, которая является функцией верхней

и нижней температуры, но она не указана в названии марки битумного вяжущего.

Выбор марки битумного вяжущего осуществляется в соответствии с процедурами определения марки и методами, указанными в отраслевом документе ОДМ 218.4.036-2017–подготовка, укладка и приемка асфальтобетонных смесей и приемке выполненных работ.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования битумных вяжущих проведены по методам, заложенным в технические требования:

- ГОСТ Р 58400.1–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом температурного диапазона эксплуатации».
- ГОСТ Р 58400.2–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок».

Вязкоупругие свойства битумного вяжущего важны для оценки устойчивости к сдвигу при высоких температурах. Они измеряются при заданной деформации и скорости в плоской измерительной системе на динамическом сдвиговом реометре (DSR) SmartPave 102 компании AntonPaar производства Австрии.

Вязкоупругие свойства битума определяли составным показателем на основе измеренных значений модуля сдвига ( $G^*$ ) и фазового угла ( $\delta$ ). Сдвиговую устойчивость вяжущего материала рассчитывали в автоматическом режиме с помощью ПО SmartPave 102.

Битумное вяжущее, входящее в состав асфальтобетонной смеси, может свидетельствовать о свойствах эластичного материала и после приложения транспортных нагрузок восстанавливаться в соотношении следующих показателей ( $G^*/\sin \delta$ ):

- не более 1 кПа – для исходного битумного вяжущего;
- не более 2.2 кПа – для состаренного методом RTFOT.

Чем значение комплексного модуля сдвига ниже, тем меньшее значение показателя фазового угла, которое характеризует запаздывание деформации после приложения напряжения, указывая на то, что битумное вяжущее более склонно проявлять эластичность, чем

<sup>4</sup> ГОСТ 33133–14 (2014) «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие». М., Россия: Изд-во стандартов.

пластичность, и наоборот<sup>5</sup>. Для определения фактического предельного значения марки битумного вяжущего, когда показатель  $G^*/\sin \delta$  соответствует стандартному значению, вычисляется критическая температура  $T_v$ .

Изучение битумного вяжущего, приготовленного в соответствии с методом старения битума PAV, при средней эксплуатационной температуре может предсказать стойкость асфальтобетона к усталостному растрескиванию<sup>6</sup>. В этом случае составной показатель вычисляется как произведение значения комплексного модуля сдвига и значения синуса фазового угла ( $G^*\sin\delta$ ). В этом случае граничным значением являются следующие условия: для участков с S-образными транспортными нагрузками (стандартные условия) оно не превышает 5000 кПа, для H-, V- и E- образных участков (тяжелые, очень тяжелые и экстремальные условия) с большими транспортными нагрузками оно не превышает 6000 кПа, в соответствии с номенклатурным перечнем, приведенным в ГОСТ Р 58400.2. Для определения критической средней температуры  $T_c$  была рассчитана температура, при которой  $G^*\sin \delta = \text{кПа}$ .

Реометр, изгибающий балку (BBR), использовался для определения стойкости к растрескиванию при низких температурах. Был испытан образец битумного вяжущего в форме балочки, который последовательно прошел стадии технологического (RTFOT) и долговременного (PAV) старения на способность выдерживать деформацию без повреждений при заданной отрицательной температуре. При этом определяют следующие показатели: модуль жесткости  $S$  (не должен превышать 300 МПа), характеризующий стойкость битумного вяжущего к постоянным нагрузкам, коэффициент пластичности  $m$  (не менее 0,300) – показатель, который показывает изменение скорости деформации во времени и характеризует способность вяжущего к релаксации напряжений.

#### **Методы исследования дорожных битумных вяжущих материалов, имитирующие эксплуатационные транспортные нагрузки**

Согласно ГОСТ Р 58400.2 уровни нагрузки от транспортных средств (ТС) подразделяются на:

- S (дороги с нормальными условиями и стандартным характером движения) соответ-

ствует количеству приложений расчетной нормативной нагрузки АК-11,5 менее 1.8 млн и прогнозируемой средней скорости транспортного потока более 70 км/ч;

- H (дороги с тяжелыми условиями и медленным характером движения) соответствует количеству приложений расчетной нормативной нагрузки АК-1,5 от 1.8 до 5.6 млн и прогнозируемой средней скорости транспортного потока от 20 до 70 км/ч;

- V (дороги с экстремально тяжелыми условиями и неподвижным характером движения) соответствует количеству приложений расчетной нормативной нагрузки АК-11,5 более 5.6 млн и прогнозируемой средней скорости транспортного потока менее 20 км/ч;

- E (дороги с экстремально тяжелыми условиями и неподвижным характером движения) соответствует количеству приложений расчетной нормативной нагрузки АК-11,5 более 5,6 млн и прогнозируемой средней скоростью транспортного потока менее 20 км/ч.

В зависимости от условий транспортной нагрузки провели испытания по определению показателя ползучести и способности к восстановлению под воздействием множественных напряжений (MSCR-тест), которая выполняется на динамическом сдвиговом реометре (DSR) для определения устойчивости битумного вяжущего к образованию колеи, включающей в себя применение циклической ступенчатой нагрузки на битумное вяжущее (0,1 кПа и 3,2 кПа) при расчетной температуре климатического региона. После данных действий на вяжущее, состаренное в соответствии с RTFOT, прикладывают нагрузку в 100 Па в течение 1 с, а затем снимают напряжение через 9 с. Данный процесс повторяют 10 раз. Идентичные испытания были проведены при нагрузке 3200 Па. Невосстанавливаемая деформация характеризуется остаточной гибкостью при ползучести при следующих нагрузках:  $J_{nr0.1}$  и  $J_{nr3.2}$ .

Параметр  $J_{nr3.2}$  наиболее точно описывает соответствие фактической глубине образования колеи дорожного покрытия. В случае если параметр  $J_{nr3.2} > 4,5\text{кПа}^{-1}$ , то битумное вяжущее имеет слишком большое свойство пластичности, что снижает устойчивость к колеобразованию асфальтобетонного полотна. В этом случае снижают температуру и проводят испытания, чтобы оценить применимость

<sup>5</sup> Бонченко Г. А. Асфальтобетон. Сдвиг устойчивости и технология модифицирования полимером / Г. А. Бонченко. М.: Машиностроение, 1994. 176 с. ISBN 5-217-02714-2.

<sup>6</sup> Гохман Л. М. Дорожный полимер асфальтобетон / Л. М. Гохман. М.: Экон-Информ, 2017. 477 с.

битумного вяжущего в другой климатической зоне. Для режима экстремальной нагрузки типа E, характеризующегося как «интенсивная с остановками», то есть для дорог с чрезвычайно суровыми условиями и стационарным движением,  $J_{nr3.2}$  должен составлять менее  $0,5 \text{ кПа}^{-1}$ . По мере получения результата теста после верхнего предельного значения температуры спецификации PG добавляются буквы, описывающие допустимую интенсивность движения при данной температуре: S, H, V или E.

Реологические испытания битумных вяжущих по системе объемно-функционального проектирования Supergravel являются эффективным инструментом для контроля качества битумов для дорожно-строительной отрасли<sup>7</sup>. Однако выбор и использование конкретных стандартов требует высококвалифицированного персонала, что также является ключевым методом планирования и проведения исследований. В виду сложности объекта испытания полученные результаты требуют тщательной и скрупулезной интерпретации, то есть необходимо спокойно и вдумчиво объяснить и освоить новый метод, на который в Соединенных Штатах ушло более 20 лет.

Уровень транспортной нагрузки (traffic load level), соответствующий ГОСТ Р 58400.2, представляет собой транспортную нагрузку, прогнозируемую в течение срока службы конструктивного слоя с учетом условий и характера дорожного движения. Битумное вяжущее

тестируется при четырех уровнях нагрузки (S, H, V, E). Испытательный параметр называется сопротивлением к многократной деформации сдвига. Испытание проводилось на динамическом сдвиговом реометре DSR.

Чтобы определить устойчивость битумного вяжущего к образованию колеи и усталостному растрескиванию, были испытаны образцы битума на динамическом сдвиговом реометре (DSR), с начальным, быстрым (RTFOT) и медленным (PAV) старением. Чтобы определить стойкость битумного вяжущего к низкотемпературному растрескиванию, его тестируют на реометре BBR (или DSR, температуру растрескивания также можно определить на оборудовании ABCD), а непрерывно стареющие образцы вяжущего тестируют при низких отрицательных температурах в соответствии с RTFOT и PAV.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Подбор марки PG битумного вяжущего по технологии Supergravel был проделан на примере полимерно-битумного вяжущего, отвечающего требованиям ГОСТ 52056–2003 марки ПБВ 90 (образец 4) и битумного вяжущего, полученного на основе гудрона с добавлением термоэластопласта (далее – ТЭП) типа СБС, соответствующего требованиям ГОСТ 52056–2003 марки ПБВ 90 (образец 3) [2]. Характеристики вяжущих представлены в таблице 1:

Таблица 1  
Физико-химические свойства образцов ПБВ  
Источник: составлено авторами.

Table 1  
Physical and chemical properties of samples of polymer-bitumen binder (PBB)  
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Показатели	Требования ГОСТ Р 52056–2003 для марки ПБВ 90	Фактические результаты	
			образец 3	образец 4
1	Пенетрация, 0,1 мм			
	при 25°C	не менее 90	95	128
	при 0°C	не менее 40	61	58
2	Темп-размяг. по КиШ, °C	не ниже 51	53,6	51,7
3	Растяжимость, см			
	при 0°C	не менее 25	97,8	77,3
	при 25°C	не менее 15	19	26,5
4	Тем-ра хрупкости по Фраасу, °C,	не выше -25	-25,8	-26,9
5	Тем-равсп., °C,	не ниже 230	235	258

<sup>7</sup> Гохман Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон / Л. М. Гохман. М.: Экон-Информ. 2008. 117 с.: ил. ISBN 978-5-9506-0352-5.

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

Результаты испытаний по ГОСТ Р 58400.1 и ГОСТ Р 58400.2 представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2  
**Результаты испытаний (образец 3)**  
 Источник: составлено авторами.

Table 2  
**Test results, Sample 3**  
 Source: compiled by the authors.

Наименование показателя	Требование ГОСТ Р 58400.1 ГОСТ Р 58400.2	Фактическое значение	
<b>Показатели качества и требования для исходного битумного вяжущего</b>			
Температура вспышки, °С	не ниже 230	>250	
Динамическая вязкость при 135 °С, Па*с	не более 3	0,73	
Сдвиговая устойчивость при 10 рад/с, кПа (до 0,01):	G*/sinδ ≥ 1,0		
При 58 °С		1,71	
При 64 °С		1,05	
При 70 °С		0,69	
Крит. высокая температура, °С (до 0,1)		64,7	
<b>Показатели качества и требования для вяжущего, состаренного по методу RTFOT</b>			
Изменение массы после старения, %	не более 1	0,1	
Сдвиговая устойчивость после старения при 10 рад/с, кПа (до 0,01)	G*/sin δ ≥ 2,2		
При 58 °С		2,53	
При 64 °С		1,39	
Крит. высокая температура, °С (до 0,1)		59,4	
Устойчивость при многократных сдвиговых деформациях для типа марки (J <sub>3,2</sub> до 0,01) (J до 0,1)			
S	При 64 °С	J <sub>3,2</sub> ≤ 4,5 кПа <sup>-1</sup>	2,85
		J ≤ 75%	217,9
<b>Показатели качества и требования для вяжущего, подготовленного по методу PAV</b>			
Сдвиговая устойчивость после старения при 10 рад/с, кПа (до 1)	G* sin δ ≤ 5000 (тип S) G* sin δ ≤ 6000 (тип H, V, E)		
При 16 °С		3282	
При 13 °С		5325	
При 10 °С		8281	
Крит. средняя температура (G* sinδ = 6000 кПа), °С		12,2	
Низкотемпературная устойчивость S (60), Мпа (до 0,1) Ползучесть m (до 0,001)			
При -24 °С	S (60) ≤ 300	381	
	m ≥ 0,300	0,274	
При -18 °С	S (60) ≤ 300	155	
	m ≥ 0,300	0,346	
Критическая низкая температура, °С, по жесткости S (до 0,1)		-22,4	
Критическая низкая температура, °С, по параметру m (до 0,1)		-21,8	
Марка по ГОСТ Р 58400.1 – 2019		PG 58-28	
Марка по ГОСТ Р 58400.2 – 2019		PG 64(S)-28	
Фактическая марка		PG 59,4-31,8	

Таблица 3  
Результаты испытаний (образец 4)  
Источник: составлено авторами.

Table 3  
Test results, Sample 4  
Source: compiled by the authors.

Наименование показателя	Требование ГОСТ Р 58400.1 ГОСТ Р 58400.2	Фактическое значение	
<b>Показатели качества и требования для исходного битумного вяжущего</b>			
Температура вспышки, °С	не ниже 230	>250	
Динамическая вязкость при 135 °С, Па*с	не более 3	0,83	
Сдвиговая устойчивость при 10 рад/с, кПа (до 0,01):	G*/sinδ ≥ 1,0		
При 58 °С		2,57	
При 64 °С		1,38	
При 70 °С		0,77	
Крит. высокая температура, °С (до 0,1)		67,3	
<b>Показатели качества и требования для вяжущего, состаренного по методу RTFOT</b>			
Изменение массы после старения, %	не более 1	0,7	
Сдвиговая устойчивость после старения при 10 рад/с, кПа (до 0,01)	G*/sin δ ≥ 2,2		
При 58 °С		6,46	
При 64 °С		3,68	
Крит. высокая температура, °С (до 0,1)		69,6	
Устойчивость при многократных сдвиговых деформациях для типа марки (J <sub>3,2</sub> до 0,01) (J до 0,1)			
S	При 64 °С	J <sub>3,2</sub> ≤ 4,5 кПа <sup>-1</sup>	1,39
		J ≤ 75%	141,9
<b>Показатели качества и требования для вяжущего, подготовленного по методу PAV</b>			
Сдвиговая устойчивость после старения при 10 рад/с, кПа (до 1)	G* sin δ ≤ 5000 (тип S) G* sin δ ≤ 6000 (тип H, V, E)		
При 16 °С		3493	
При 13 °С		4940	
При 10 °С		6861	
Крит. средняя температура (G* sinδ = 6000 кПа), °С		5,3	
Низкотемпературная устойчивость S (60), Мпа (до 0,1) Ползучесть m (до 0,001)			
При -24 °С	S (60) ≤ 300	149	
	m ≥ 0,300	0,289	
При -18 °С	S (60) ≤ 300	74	
	m ≥ 0,300	0,312	
Критическая низкая температура, °С, по жесткости S (до 0,1)		-30,0	
Критическая низкая температура, °С, по параметру m (до 0,1)		-21,13	
Марка по ГОСТ Р 58400.1 – 2019		PG 64-28	
Марка по ГОСТ Р 58400.2 – 2019		PG 64(H)-28	
Фактическая марка		PG 67,3-31,1	



Как мы все знаем, регулировка показателей качества битумного вяжущего осуществляется в соответствии с основными положениями физико-химической механики нефтяных дисперсных систем (НДС), а его пространственная коллоидно-химическая структура регулируется главным образом путем изменения размера частиц дисперсной фазы сложной структурной единицы (ССЕ)<sup>8</sup>. Модифицирующие добавки могут изменять фазовый состав, геометрию частиц дисперсной фазы, скорость их конденсации и растворения [3, 4, 5]. Используя выбранные добавки, физические, химические и эксплуатационные свойства битумного вяжущего могут быть значительно улучшены за счет изменения физико-химических свойств и группового химического состава вяжущего<sup>9</sup>.

Исходя из полученных результатов таблиц 2 и 3, видно, что полученное вяжущее из гудрона и полимер-битумное вяжущее соответствуют требованиям ГОСТ Р 58400.1–2019 марки PG 58-28 и PG 64-28.

По сравнению с вяжущим, полученным из окисленного битума марки БНД 70/100 с добавлением полимерного модификатора (образец 4), вяжущее, полученное непосредственно из гудрона (ВУ80 = 30-80 с) с добавлением полимерного модификатора (образец 3), характеризуется более низкой рабочей температурой. Следует отметить, что использование полимерных добавок позволяет увеличить верхний предел рабочей температуры вяжущего, тем самым улучшая его стойкость к образованию колеи [6, 7].

При сравнении показателей низкотемпературной стойкости к растрескиванию было замечено, что фактическая минимальная рабочая температура битумного вяжущего в большинстве случаев ниже  $T_{xp}$ . Данные, приводимые некоторыми исследователями, показывают, что значение температуры хрупкости по методу Фрааса в среднем на 10–12 °С выше минимального значения рабочей температуры, рассчитанного по индексу жесткости ( $T_c(S)$ ), однако зависимость между этими показателями пока не установлена.

В классических методах стандартизации твердость и жесткость битумных вяжущих

оценивают с помощью показателя «глубина проникновения иглы при 25 °С»<sup>10</sup>. В новых требованиях ГОСТ Р 58400.1 и ГОСТ Р 58400.2 заданные условия касательного напряжения ( $G^*/\sin\delta$  ниже 5000 кПа) являются основной характеристикой качества вяжущего при средних температурах [8]. Сравнительный анализ усталостной прочности ( $T_c$ ) и показатель глубины проникания иглы при 25 °С в образце 4 показывают незначительную связь между рассматриваемыми показателями (чем выше значение глубины проникания иглы при 25 °С, тем ниже температура сопротивления усталости)<sup>11</sup>.

Образец 3 (полученный непосредственно из гудрона) – при сопоставимой температуре эти марки демонстрируют большую остаточную гибкость при ползучести (или необратимую деформацию) при нагрузке 3,2 кПа: ( $Jnr3,2$ ), поэтому сопротивление образованию колеи при воздействии транспорта ниже, чем у образца 4, полученного из окисленного битума марки БНД 70,100. Кроме того, особенностью образца 4 является то, что значение  $Jnr3.2$  уменьшается быстрее по мере снижения верхнего предела рабочей температуры, поэтому он больше подходит для тяжелых (тип V) и экстремально тяжелых (тип E) условий транспортных нагрузок при эксплуатации дорожного покрытия [9, 10].

Согласно нормализованным реологическим характеристикам нового стандарта, разработанного на основе метода Superpave, битумное вяжущее, классифицированное по ГОСТ 33133–2014, может быть отнесено к разным маркам [11]. Использование того же битума марки по ГОСТ 33133–2014 на участках, где рабочая температура выше  $T_v$  или отрицательная температура ниже  $T_n$ , приведет к быстрому образованию дорожных дефектов в процессе эксплуатации относительно установленного проектного срока службы. Полученная корреляция будет в дальнейшем исследована на возможность сравнительной оценки качества вяжущих на основе ГОСТ 33133–2014 и ГОСТ Р 58400.1 с ГОСТ Р 58400.2. Стандарты системы Superpave для производства вяжущих позволяет нам утверждать эффективность метода нормирования качества вяжущих в новых

<sup>8</sup> Сюняев З. И. Нефтяные дисперсные системы / З. И. Сюняев, Р. З. Сюняев, Р. З. Сафиева. М.: Химия, 1990. 224 с.: ил. ISBN 5-7245-0573-8.

<sup>9</sup> Вострякова В. Н. Термоэластопласты / под ред. В.В. Моисеева. М.: Химия, 1985. 184 с.

<sup>10</sup> Гуреев А. А. Нефтяные вяжущие материалы / А. А. Гуреев. М.: Недра, 2018. 242 с. ISBN 978-5-8365-0484-7.

<sup>11</sup> Грудников И. Б. Нефтяные битумы. Процессы и технологии производства / И.Б. Грудников. Уфа: ГУП ИНХП РБ, 2015. 288 с.: ил. ISBN 978-5-9021-59-51-3.

стандартах ГОСТ Р 58400.1 и ГОСТ Р 58400.2, принимая во внимание не только климатические условия эксплуатации дорожного полотна, но и транспортную нагрузку<sup>12</sup> [12, 13].

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основываясь на приведенных выше экспериментальных данных, можно сделать заключение о том, что достигнута поставленная цель, а именно – подобраны марки битумного вяжущего по технологии Superpave, отвечающие требованиям ГОСТ Р 58400.1–2019

и ГОСТ Р 58400.2–2019, а именно для полимерно-битумного вяжущего (ПБВ 90 по ГОСТ 52056–2003) – PG58-28, и на основе гудрона с добавлением ТЭП марки СБС – PG 64-28 соответственно.

На рисунках 1, 2, 3, 4 показаны зависимости *устойчивости при многократных сдвиговых деформациях* (MSCR), которые заключаются в прикладывании циклической ступенчатой нагрузки на битум (0.1 кПа и 3.2 кПа) при расчетной для данного климатического региона температуре.

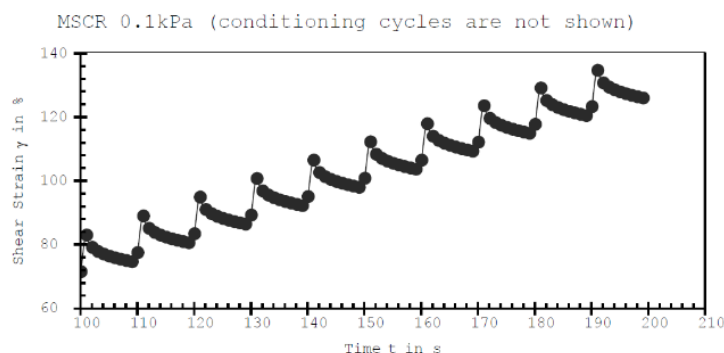


Рисунок 1 – Устойчивость при многократных сдвиговых деформациях (MSCR) 0,1 кПа при 64 °С (образец 4).  
Источник: составлено авторами.

Picture 1 – Resistance to multiple shear deformations (MSCR) 0.1 kPa at 64 °C (Sample 4).  
Source: compiled by the authors.

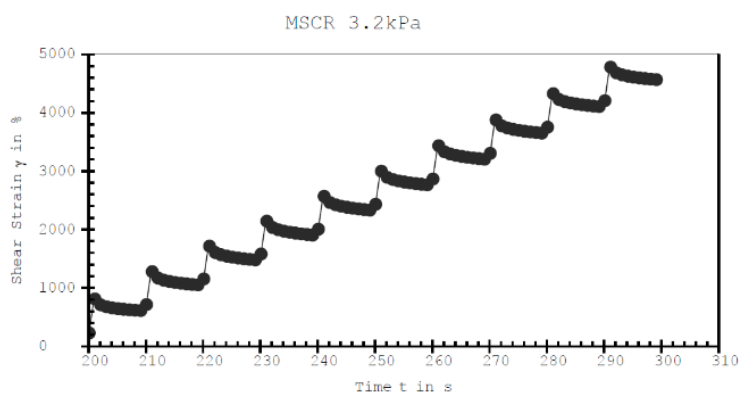


Рисунок 2 – Устойчивость при многократных сдвиговых деформациях (MSCR) 3,2 кПа при 64 °С (образец 4).  
Источник: составлено авторами.

Picture 2 – Resistance to multiple shear deformations (MSCR) 3.2 kPa at 64 °C (Sample 4).  
Source: compiled by the authors.

<sup>12</sup> Тюкилина П. М. Битумная основа для ПБВ, получаемого с использованием СБС-модификатора: оценка группового химического состава / П. М. Тюкилина, А. А. Андреев, О. В. Гавриленко: материалы В сб.: Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. М.: Техполиграфцентр. 2019. С. 47–54.

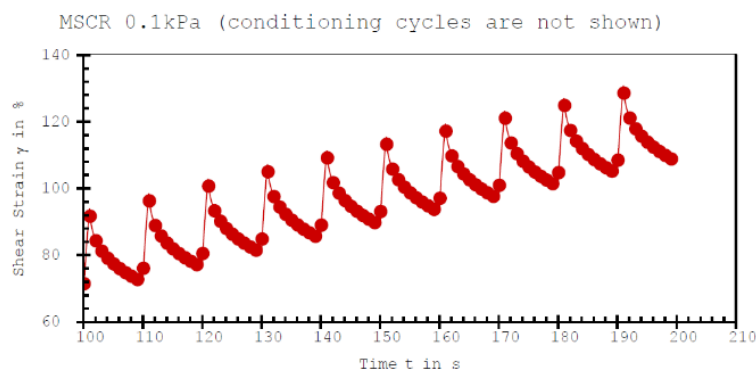


Рисунок 3 – Устойчивость при многократных сдвиговых деформациях (MSCR) 0,1 кПа при 58 °С (образец 3).  
Источник: составлено авторами.

Picture 3 – Resistance to multiple shear deformations (MSCR) 0.1 kPa at 58 °C (Sample 3).  
Source: compiled by the authors.

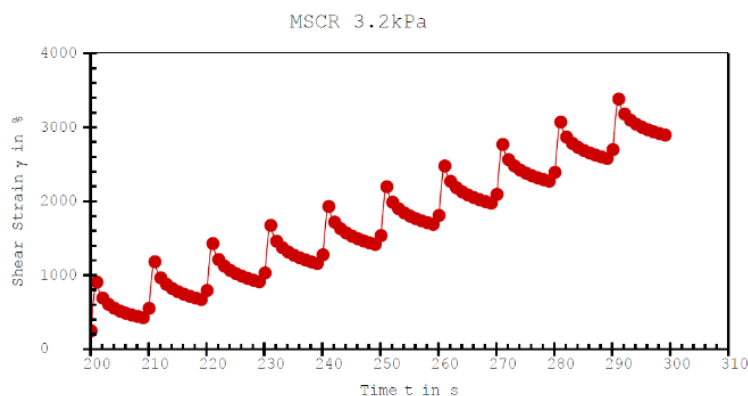


Рисунок 4 – Устойчивость при многократных сдвиговых деформациях (MSCR) 3,2 кПа при 58 °С (образец 3).  
Источник: составлено авторами.

Picture 4 – Stability at multiple shear deformations (MSCR) 3.2 kPa at 58 °C (Sample 3).  
Source: compiled by the authors.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных испытаний были подобраны марки битумных вяжущих PG по технологии Superpave и в зависимости от климатических условий и транспортных нагрузок ГОСТ Р 58400.1–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом температурного диапазона эксплуатации» и ГОСТ Р 58400.2–2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок».

Обзор современной научной и технической литературы показывает, что проблемы

быстрого разрушения асфальтобетонных дорог по-прежнему актуальны. На основании изложенного становится понятным, что для повышения межремонтного срока эксплуатации автомобильных дорог необходимо существенно повысить качество вяжущего благодаря скрупулезному подбору марки битума для использования на определенных участках автомобильных дорог в зависимости от климатических условий и интенсивности движения.

Обзор литературы РФ и зарубежной показывает, что наиболее востребованным для модифицирования битумов полимером является термоэластопласт типа СБС. СБС отличается лучшей совместимостью с битумами, характеризуется прочностью и вместе с тем

эластичностью, обладая способностью к обратимым деформациям. Большинство других рассматриваемых и применяемых классов полимеров оказывают влияние либо на низкотемпературные свойства, либо на высокотемпературные. В зависимости от необходимости достижения только низкотемпературных или высокотемпературных требований марки вяжущего по РГ возможно использование целевых модификаторов для конкретной задачи и улучшения того или иного свойства.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Худякова Т. С. О новых стандартных требованиях к дорожному битуму // *Дорожная держава*. 2015. № 3. С. 40–44.
2. Брызгалов Н. И., Кемалов А. Ф., Кемалов Р. А. Влияние бутадиен-стирольного термоэластопласта на физико-химические показатели полимер-битумных вяжущих // *Вестник технологического университета*. 2022. Т. 25, № 9. С. 76–85.
3. Обухов А. Г., Высотская М. А., Киндеев О. Н. Влияние компонентного состава на качество ПБВ // *Новая наука: От идеи к результату*. 2015. № 2. С. 97–101.
4. Исследование влияния модифицирующих добавок в битум на физико-механические свойства и колееустойчивость мелкозернистого асфальтобетона / В. К. Жданюк, О. А. Макаревич, Р. Б. Шрестха [и др.] // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2012. Вып. 58. С. 130–133.
5. Котенко Н. П., Щерба Ю. С., Евфорицкий А. С. Влияние полимерных и функциональных добавок на свойства битума и асфальтобетона // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2019. № 1. С. 94–99. DOI: 10.17213/0321-2653-2019-1-94-99
6. Дорожные битумы с модифицирующими добавками / С. В. Котов, Г. В. Тимофеева, С. В. Леванова [и др.] // *Химия и технология топлив и масел*. 2003. № 3. С. 52 – 53.
7. Глуховская В. С. Термоэластопласты на основе бутадиена, пиперилена и стирола // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2008. № 4. С. 13 – 15.
8. Тюкилина П. М., Гуреев А. А. Об эволюции нормативных требований к реологическим характеристикам // *Химия и технология топлив и масел*. 2021. № 1. С. 46–48.
9. Золотарев В. А., Лапченко А. С. Реологические свойства асфальтобетонов на основе битумов с большим содержанием полимера // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2009. № 3. С. 23–27.
10. Александров А. С., Александрова Н. П., Семенова Т. В. Критерии проектирования шероховатых асфальтобетонных покрытий из условия обеспечения безопасности движения // *Известия вузов. Строительство*. 2009. № 2. С. 66–73.
11. Тюкилина П. М., Егорова А. Г., Зиновьева Л. В. О современных подходах к решению про-

блем повышения деформативности дорожных битумов // *Мир нефтепродуктов*. 2018. № 6. С. 34–38.

12. Руденский А. В., Хромов А. С., Марьев В. А. Применение резиновой крошки для повышения качества дорожных битумов и асфальтобетонов // *Дороги России XXI века*. 2004. № 5. С. 62–71.

13. Применение пластификаторов различного углеводородного состава в получении полимерно-битумных вяжущих / П. М. Тюкилина, С. В. Котов, В. А. Погуляйко, Л. В. Зиновьева: *Материалы X Международного Форума ТЭК – Санкт-Петербург*, 2010.

## REFERENCE

1. Hudjakova T. S. O novykh standartnykh trebovaniyakh k dorozhnomu bitumu [About the new standard requirements for road bitumen]. *Dorozhnaja derzhava*. 2015; 3: 40–44. (In Russ.)
2. Bryzgalov N. I., Kemalov A. F., Kemalov R. A. Vlijanie butadien-stirol'nogo termojelastoplasta na fiziko-himicheskie pokazateli polimer-bitumnyh vjazhushhih [Effect of Butadiene-Styrene Thermoelelastoplast on Physical and Chemical Parameters of Polymer-Bitumen Binders]. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2022; T. 25, № 9: 76-85 (In Russ.)
3. Obuhov A. G., Vysotskaja M. A., Kindeev O. N. Vlijanie komponentnogo sostava na kachestvo PBV [Effect of the component composition on the quality of the PBV]. *Novaja nauka: Ot idei k rezul'tatu*. 2015; 2: 97-101 (In Russ.)
4. Zhdanjuk V. K., Makarчев O. A., Shrestha R. B. Issledovanie vlijaniya modifitsirujushhih dobavok v bitum na fiziko-mehaničeskie svojstva i koleeustojčivost' melkozernistogo asfal'tobetona [Study of the Effect of Modifying Bitumen Additives on the Physical and Mechanical Properties and Roughness of Fine-Grained Asphalt Concrete]. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. 2012; 58: 130–133 (In Russ.)
5. Kotenko N. P., Shherba Ju. S., Evforickij A. S. Vlijanie polimernyh i funkcional'nyh dobavok na svojstva bituma i asfal'tobetona [Influence of polymer and functional additives on bitumen and asphalt concrete properties]. *Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Tehničeskie nauki*. 2019; 1: 94–99. DOI: 10.17213/0321-2653-2019-1-94-99 (In Russ.)
6. Kotov C. B., Timofeeva G. V., Levanova C. B. Dorozhnye bitumy s modifitsirujushhimi dobavkami [Road bitumen with modifying additives]. *Himija i tehnologija topliv i masel*. 2003; 3: 52–53 (In Russ.)
7. Gluhovskaja V. S. Termojelastoplasty na osnove butadiena, piperilena i stiroda [Thermoelelastoplasts based on butadiene, piperylene and styrene]. *Promyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie jelastomerov*. 2008; 4:13-15 (In Russ.)
8. Tjukilina P. M., Gureev A. A. Ob jevoljucii normativnyh trebovanij k reologičeskim harakteristikam [On the evolution of regulatory requirements for rheological characteristics]. *Himija i tehnologija topliv i masel*. 2021; 1: 46-48 (In Russ.)
9. Zolotarev V. A., Lapchenko A. S. Reologičeskie svojstva asfal'tobetonov na osnove bitumov s

bol'shim soderzhaniiem polimera [Rheological properties of bitumen-based asphalt concrete with high polymer content]. *Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli*. 2009; 3: 23–27 (In Russ.).

10. Aleksandrov A. S., Aleksandrova N. P., Semenova T. V. Kriterii proektirovaniya sherohovatykh asfal'tobetonnykh pokrytij iz uslovija obespechenija bezopasnosti dvizhenija [Design criteria for rough asphalt concrete pavements based on traffic safety conditions]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2009; 2: 66–73 (In Russ.).

11. Tjukilina P. M., Egorov A. G., Zinov'eva L. V. O sovremennykh podhodah k resheniju problem povyshenija deformativnosti dorozhnykh bitumov [On modern approaches to solving the problems of increasing the deformation of road bitumen]. *Mir nefteproduktov*. 2018; 6: 34–38 (In Russ.).

12. Rudenskij A. V., Hromov A. S., Mar'ev V. A. Primenenie rezinovoj kroshki dlja povyshenija kachestva dorozhnykh bitumov i asfal'tobetonov [Use of rubber crumbs to improve the quality of road bitumen and asphalt concrete]. *Dorogi Rossii XXI veka*. 2004; 5: 62–71 (In Russ.).

13. Tjukilina P. M., Kotov S. V., Poguljajko V. A., Zinov'eva L. V. Primenenie plastifikatorov razlichnogo uglevodorodnogo sostava v poluchenii polimerno-bitumnykh vjzhushhih [Use of plasticizers of various hydrocarbon compositions in the production of polymer-bitumen binders]. *Materialy X Mezhdunarodnogo Forum TJeK – Sankt-Pererburg*, 2010 (In Russ.).

### ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Брызгалов Н. И. Постановка проблемы, разработка концепции статьи, критический анализ литературы, сбор статистических данных, та-*

*бличное и графическое представление результатов, описание результатов и формирование выводов исследования.*

*Кемалов А. Ф. Научное руководство исследованием, формулировка научных гипотез, проверяемых посредством модельных экспериментов.*

### COAUTHORS' CONTRIBUTIONS

*Nikolai I. Bryzgalov. Problem statement, development of the article concept, critical analysis of the literature, collection of statistical data, tabular and graphical presentation of the results, description of the results and formation of the conclusions of the study.*

*Alim F. Kemalov. Scientific leadership of the study, formulation of scientific hypotheses tested through model experiments.*

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Брызгалов Николай Иннокентьевич – аспирант кафедры технологии нефти, газа и углеродистых материалов, SPIN-код: 5932-1077.*

*Кемалов Алим Фейзрахманович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии нефти, газа и углеродистых материалов, SPIN-код: 7034-3063.*

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Nikolai I. Bryzgalov – Graduate student of the Technologies of Oil, Gas and Carbon Materials Department, SPIN-код: 5932-1077.*

*Alim F. Kemalov – Dr. of Sci., Professor, Head of the Technologies of Oil, Gas and Carbon Materials Department, SPIN-код: 7034-3063.*