

УДК: 691.161  
DOI: 10.52409/20731523\_2022\_3\_103  
EDN: HOAOTX



## Влияние целлюлозных стабилизирующих добавок на физико-механические характеристики битума

Е.А. Вдовин<sup>1</sup>, П.Е. Буланов<sup>1</sup>, И.В. Журавлев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup>ООО «Волгадорстрой», г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** Целью работы является исследование гранулированных стабилизирующих добавок с различным содержанием целлюлозы на физико-механические характеристики битума. Актуальность исследования связана с тенденцией роста интенсивности движения автомобильного транспорта в Российской Федерации. Как следствие, происходит увеличение требований по межремонтным срокам автомобильных дорог, по экологической безопасности. Соответствию данным требованиям способствует применение более стойких к растущим нагрузкам щебеночно-мастичных асфальтобетонов со стабилизирующими добавками.

**Результаты.** Модифицирование битума стабилизирующей добавкой (с содержанием волокон целлюлозы и воска – 60 % и 40 % соответственно) в количестве 2 % и 4 % повышает следующие физико-механические характеристики: температура размягчения по кольцу и шару на 7,36 % и 26,18 %; глубина проникания иглы при 25 °С – 6,25 % и 12,5 %; растяжимость при 0 °С – 105,24 % и 74,33 % соответственно. Модифицирование битума стабилизирующей добавкой (с содержанием волокон целлюлозы и воска – 20 % и 80 % соответственно) в количестве 2 % и 4 % повышает температуру размягчения по кольцу и шару на 22,29 % и 59,10 %; снижает глубину проникания иглы при 25 °С – 10,34 % и 5,49 %; увеличивает растяжимость при 0 °С – 110,35 % и 9,27 % соответственно.

**Выводы.** Выявлены закономерности влияния стабилизирующих добавок с различным содержанием волокон целлюлозы и воска на физико-технические характеристики битума.

**Ключевые слова:** битум, щебеночно-мастичный асфальтобетон, стабилизирующая добавка, целлюлоза, физико-механические характеристики.

**Для цитирования:** Е.А. Вдовин, П.Е. Буланов, И.В. Журавлев. Влияние целлюлозных стабилизирующих добавок на физико-механические характеристики битума //Известия КГАСУ 2022 №3, с.103-109,

DOI: 10.52409/20731523\_2022\_3\_103, EDN: HOAOTX

## The effect of cellulose stabilizing additives on the physical and mechanical characteristics of bitumen

E.A. Vdovin<sup>1</sup>, P.E. Bulanov<sup>1</sup>, I.V. Zhuravlyov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup> Limited liability company «Vlgadorstroj»

**Abstract.** The aim of the work is to study granular stabilizing additives with different cellulose content on the physical and mechanical characteristics of bitumen. The relevance of the study is related to the trend of increasing traffic intensity of motor transport in the Russian Federation. As a result, there is an increase in requirements for the inter-repair terms of highways, for environmental safety. Compliance with these requirements is facilitated by the use of crushed

stone-mastic asphalt concrete with stabilizing additives that are more resistant to increasing loads.

Results. Modification of bitumen with a stabilizing additive (containing cellulose and wax fibers – 60% and 40%, respectively) in an amount of 2% and 4% increases the following physical and mechanical characteristics: softening temperature along the ring and ball by 7.36% and 26.18%; needle penetration depth at 25 °C – 6.25% and 12.5%; extensibility at 0 °C – 105.24% and 74.33%, respectively. Modification of bitumen with a stabilizing additive (containing cellulose and wax fibers – 20% and 80%, respectively) in an amount of 2% and 4% increases the softening temperature along the ring and ball by 22.29% and 59.10 %; reduces the penetration depth of the needle at 25 °C – 10.34% and 5.49%; increases the extensibility at 0 °C – 110.35% and 9.27%, respectively.

Conclusions. The regularities of the influence of stabilizing additives with different content of cellulose and wax fibers on the physical and technical characteristics of bitumen are revealed.

**Keywords:** bitumen, crushed-mastic asphalt concrete, stabilizing additive, cellulose, physical and mechanical characteristics.

**For citation:** E.A. Vdovin, P.E. Bulanov, I.V. Zhuravlev. The effect of cellulose stabilizing additives on the physical and mechanical characteristics of bitumen//News KSUAE 2022 №3 (61), p. 103-109, DOI: 10.52409/20731523\_2022\_3\_103, EDN: HOAOTX

## 1. Введение

На сегодняшний день в большинстве стран наблюдается непрерывный рост транспортного потока и увеличение грузоподъемности автомобилей, которое приводит к преждевременному разрушению дорожного покрытия и уменьшения срока эксплуатации дорог. Эти и многие другие причины заставляют обратить внимание на повышение качества автомобильных дорог [1, 2]. Существует много современных технических решений, одним из которых является технология укладки верхнего слоя дорожного полотна на основе щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) [3].

ЩМА представляет собой рационально подобранную смесь, состоящую из минеральной части (щебня, дробленого песка и минерального порошка), битумного вяжущего и стабилизирующих или иных добавок, способных удерживать битумное вяжущее при технологических температурах, взятых в определенных соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии [4].

ЩМА характеризуется повышенным содержанием щебня, минерального порошка и битумного вяжущего, обладающего следующими положительными свойствами: повышенной износостойкостью к шипованной резине автомобилей, шероховатой поверхностью и устойчивостью к пластическому колееобразованию из-за высокого содержания щебня; водонепроницаемостью и трещиностойкостью за счет увеличенного количества битумного вяжущего и пр. [5].

Однако, из-за повышенного температурного режима укладки и количества битума в ЩМА, наблюдается стекание вяжущего в смеси на всех технологических этапах устройства покрытия автомобильной дороги. Для борьбы со стеканием используют различные стабилизирующие добавки [6], которые благодаря своим свойствам, адсорбируют неструктурированный битум и позволяют ему удерживаться на поверхности зерен щебня [7]. Использование в ЩМА стабилизирующих добавок на основе натуральных целлюлозных волокон позволяют не только увеличить толщину битумного слоя на поверхности минеральной части дорожного покрытия, но и связать попадающую в массив покрытия влагу внутри капилляров целлюлозы, не давая воде замерзнуть и расширяться [8].

Первоначально в качестве стабилизатора использовались так называемые свободные целлюлозные волокна, нарезанные и «распушенные» специальным образом. Однако после перехода от единичного производства ЩМА к массовому все чаще и чаще стали проявляться определенные дефекты смеси, в частности, сегрегация и появление битумных пятен различной величины (иногда обширной площади) на вновь уложенной дорожной поверхности непосредственно в процессе уплотнения. После дополнительных

исследований было обнаружено, что, несмотря на стабилизирующий эффект, свободные волокна обладают серьезными недостатками в виде: повышенной гигроскопичности; затруднения распределения свободных волокон в смесителе; склонности к комкованию; высокой вероятности обгорания используемых стабилизирующих добавок [9].

Дальнейшим эволюционным развитием семейства стабилизаторов стало появление гранулированных добавок. Гранулированные добавки представляют собой волокна, спрессованные в гранулы с их обработкой модифицирующими составами или без нее [10]. Волокнистая добавка должна быть однородной, без примесей, устойчивой к нагреву до температуры 220 °С и обладать влажностью не более 8 % по массе [11]. Следует различать три вида гранулированных добавок: гранулы, состоящие из чистой целлюлозы, гранулы с добавлением парафинов (воск, стеарин) для уменьшения гигроскопичности и гранулы, в которых каждое целлюлозное волокно имеет битумную пленку [12, 13].

Гранулированный тип является наиболее доступным на рынке, и как следствие, более популярным [14, 15].

В связи с этим, особую актуальность приобретают работы, направленные на изучение влияния гранулированных стабилизирующих добавок с различным содержанием целлюлозы на физико-механические характеристики битумов.

Целью работы является исследование гранулированных стабилизирующих добавок с различным содержанием целлюлозы на физико-механические характеристики битума.

Задачи:

- 1) Исследование влияния температуры размягчения, глубины пенетрации и растяжимости битума, модифицированного стабилизирующей добавкой с содержанием целлюлозы 60 %.
- 2) Исследование влияния температуры размягчения, глубины пенетрации и растяжимости битума, модифицированного стабилизирующей добавкой с содержанием целлюлозы 20 %.

## 2. Материалы и методы

При модификации битума использовались стабилизирующие добавки на основе целлюлозы СД-1 (содержание волокон целлюлозы и воска – 60 % и 40 % соответственно), СД-2 (содержание волокон целлюлозы и воска – 20 % и 80 % соответственно). Насыпная плотность Стабилизирующие добавки имели следующие характеристики: насыпная плотность – 550 кг/м<sup>3</sup>; содержание мелкой фракции (менее 2 мм) – 6,4 %; содержание в гранулах целлюлозных волокон – 59,7 %; влажность – 7,6 %; термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве – 6,6 %.

Для проведения испытаний стабилизирующие добавки СД-1 и СД-2 были измельчены и вводились в нагретый до 110 °С битум. Вводимая дозировка добавок составляла 2 % и 4 % от массы битума.

В качестве вяжущего использован битум БНД 70/100 АО «Новокуйбышевский НПЗ» по ГОСТ 33133-2014. Исследованы следующие физико-механические характеристики битума, модифицированного целлюлозными стабилизирующими добавками СД-1 и СД-2: температура размягчения по кольцу и шару по ГОСТ 33142-2014, глубина проникания иглы при 25 °С по ГОСТ 33136-2014 и растяжимость при 0 °С по ГОСТ 33138-2014.

Температура размягчения по кольцу и шару определялся на приборе КиШ-20 Линтел (Россия), глубина проникания иглы при 25 °С на пенетрометре UTEST (Германия), растяжимость при 0 °С на дуктилометре Controls (Италия).

## 3. Результаты и обсуждения

Исследования исходного битума показали следующие физико-механические характеристики: глубина проникания иглы при 25 °С – 96 мм; температура размягчения по кольцу и шару – 48,9 °С; растяжимость при 0 °С – 3,7 см.

В результате испытаний битума, модифицированного стабилизирующей добавкой СД-1 (содержание волокон целлюлозы и воска – 60 % и 40 % соответственно) с содержанием целлюлозы в количестве 2 % и 4 %, установлено, что повышаются следующие физико-механические характеристики: температура размягчения по кольцу и

шару на 7,36 % и 26,18 %; глубина проникания иглы при 25 °С – 6,25 % и 12,5 %; растяжимость при 0 °С – 105,24 % и 74,33 % соответственно.

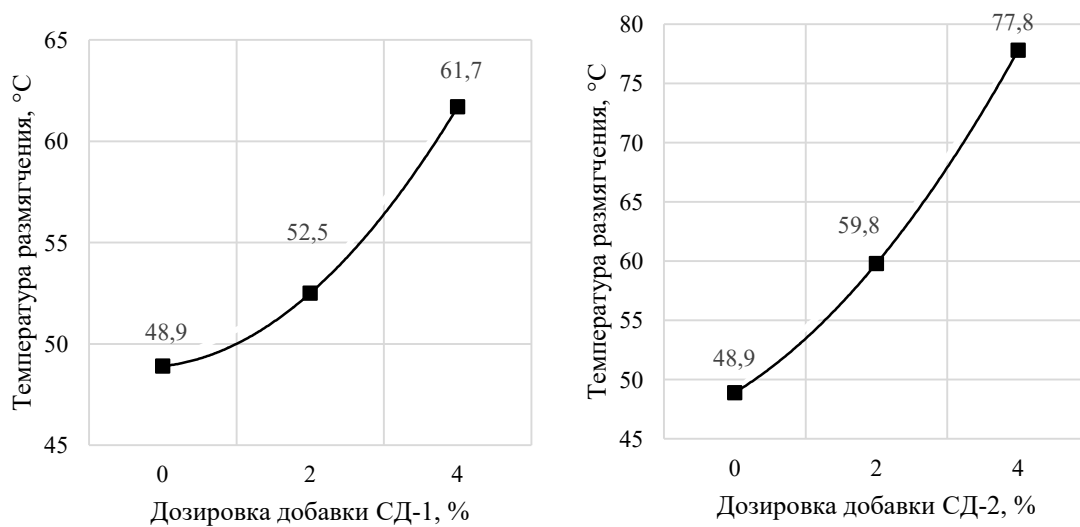


Рис.1 Влияние стабилизирующих добавок СД-1 и СД-2 на температуру размягчения битума.  
 Fig.1 The effect of stabilizing additives SD-1 and SD-2 on the softening temperature of bitumen.

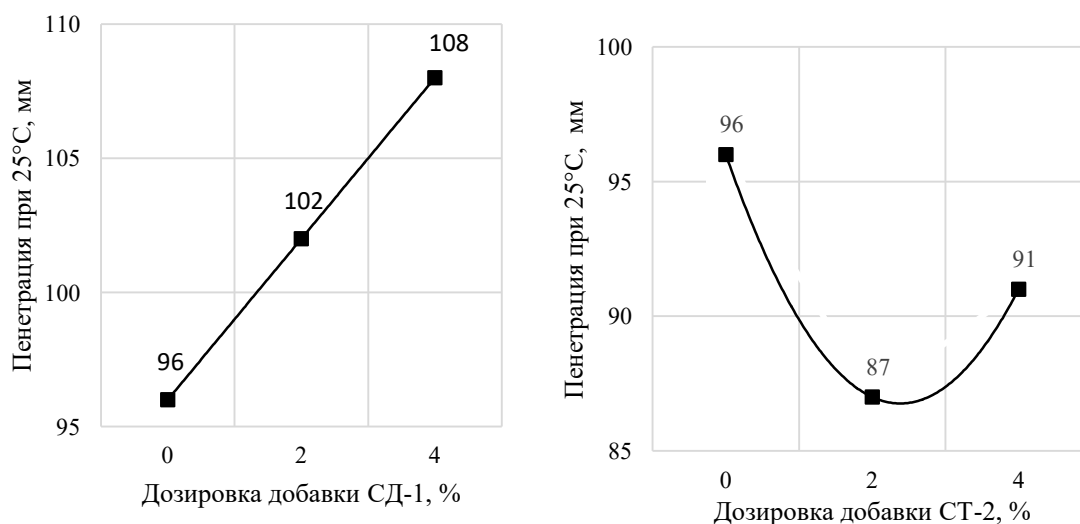


Рис.2 Влияние стабилизирующих добавок СД-1 и СД-2 на пенетрацию битума при 25°С.  
 Fig.2 Effect of stabilizing additives SD-1 and SD-2 on bitumen penetration at 25 °C.

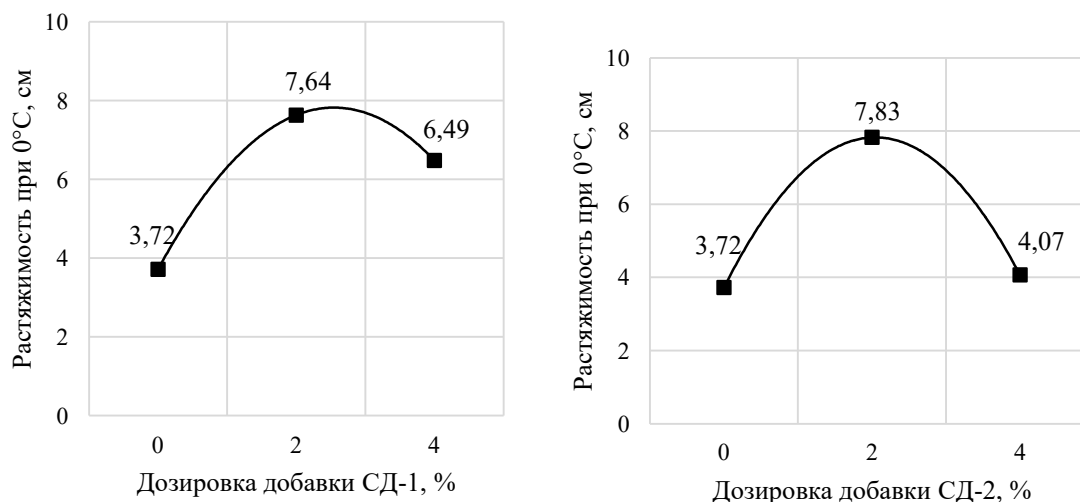


Рис.3 Влияние стабилизирующих добавок СД-1 и СД-2 на растяжимость битума при 0°C.  
Fig.3 The effect of stabilizing additives SD-1 and SD-2 on the extensibility of bitumen at 0 °C

В результате испытаний битума, модифицированного стабилизирующей добавкой СД-2 (содержание волокон целлюлозы и воска – 20 % и 80 % соответственно) в количестве 2 % и 4 %, установлено, что повышается температура размягчения по кольцу и шару на 22,29 % и 59,10 %; снижается глубина проникания иглы при 25 °C – 10,34 % и 5,49 %; увеличивается растяжимость при 0 °C – 110,35 % и 9,27 % соответственно.

В исследовании [16], установлено, что при введении целлюлозных стабилизирующих добавок и увеличении их количества в битуме происходит прямо пропорциональное возрастание температуры размягчения, при этом, чем меньше диаметр волокон, тем больше влияние, что согласуется с данными исследованиями.

Таким образом, можно сказать, что добавки улучшают свойства битумов, расширяя интервал пластичности, и тем самым повышают долговечность [17].

В результате проведённых исследований образцов битума со стабилизирующими добавками различной природы установлено, что все представленные добавки обладают структурирующим действием. Добавки, содержащие в составе целлюлозу, существенно не меняют свойства вяжущего, а наличие у образцов связующего компонента ПАВ, напротив, влияет на тиксотропные свойства битума. Эти добавки повышают твёрдость и увеличивают температуру размягчения вяжущего, что в свою очередь свидетельствует об улучшении эксплуатационных характеристик битума и возможность эксплуатации в широком диапазоне температур [18].

#### 4. Заключение

1. Выявлены закономерности влияния стабилизирующих добавок с различным содержанием волокон целлюлозы и воска на физико-технические характеристики битума.
2. Установлено, что модифицирование битума стабилизирующей добавкой (с содержанием волокон целлюлозы и воска – 60 % и 40 % соответственно) в количестве 2 % и 4 % повышает следующие физико-механические характеристики: температура размягчения по кольцу и шару на 7,36 % и 26,18 %; глубина проникания иглы при 25 °C – 6,25 % и 12,5 %; растяжимость при 0 °C – 105,24 % и 74,33 % соответственно.
3. Установлено, что модифицирование битума стабилизирующей добавкой (с содержанием волокон целлюлозы и воска – 20 % и 80 % соответственно) в количестве 2 % и 4 % повышает температуру размягчения по кольцу и шару на 22,29 % и 59,10 %; снижает глубину проникания иглы при 25 °C – 10,34 % и 5,49 %; увеличивает растяжимость при 0 °C – 110,35 % и 9,27 % соответственно.

**Список литературы / References**

1. Bulanov P., Vdovin E., Stroganov V., Mavliev L., Juravlev I. Complex Modification of Bituminous Binders by Linear Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer and Sulfur // Proceedings of STCCE 2022. STCCE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Vol. 291. P. 204-213. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14623-7\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14623-7_35).
2. Ayupov D., Makarov D., Kazakulov R. Nanomodified polymer-bitumen binders // Proceedings of STCCE 2021. STCCE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 169. P. 325–333. DOI: [10.1007/978-3-030-80103-8\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80103-8_35).
3. Галимуллин И. Н., Башкирцева Н. Ю., Лебедев Н. А. Влияние стабилизирующей добавки из травяной целлюлозы на адгезию дорожного битума // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. Вып. 3. С. 96-97.
4. Углова Е. В., Ширяев Н. И., Поздняков Н. О. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств щебеночно-мастичных и дренирующих асфальтобетонных смесей для слоев износа // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2019. Вып. 1. С. 9–15. DOI: [10.12737/article\\_5c5061fd688293.78594078](https://doi.org/10.12737/article_5c5061fd688293.78594078).
5. Мевлидинов З. А., Левкович Т. И., Билько А. Е. Обеспечение сдвигоустойчивости асфальтобетонных смесей в покрытиях автомобильных дорог // Интернет-журнал Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. Вып. 3. С. 1–14. DOI: [10.15862/06SATS318](https://doi.org/10.15862/06SATS318).
6. Devulapalli L., Kothandaraman S., Sarang G. Evaluation of rejuvenator's effectiveness on the reclaimed asphalt pavement incorporated stone matrix asphalt mixtures // Construction and Building Materials. 2019. Iss. 273. P. 909-919. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2019.07.126](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.126).
7. Alinezhad M., Sahaf A. Investigation of the fatigue characteristics of warm stone matrix asphalt (WSMA) containing electric arc furnace (EAF) steel slag as coarse aggregate and Sasobit as warm mix additive // Case Studies in Construction Materials. 2019. Iss. 11, P. 211-265. DOI: [10.1016/j.cscm.2019.e00265](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00265).
8. Afonso M. L., Dinis-Almeid M., Fael C. S. Study of the porous asphalt performance with cellulosic fibres // Construction and Building Materials. 2017. Iss. 135. P. 104-111. DOI: [10.1016/j.matpr.2019.07.624](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.624).
9. Галимуллин И. Н., Башкирцева Н. Ю., Лебедев Н. А., Нугманов О. К. Исследование способа получения стабилизирующей добавки для дорожного строительства // Вестник Технологического университета. 2014. Т. 17. Вып. 8. С. 276-279.
10. Cao W., Li J., Marti-Rossell T., Zhang X. Experimental study on the ignition characteristics of cellulose, hemicellulose, lignin and their mixtures // Journal of the Energy Institute. 2019. Iss. 92. P. 1303-1312. DOI: [10.1016/j.joei.2018.10.004](https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.10.004).
11. Ядыкина В. В., Гридчин А. М., Траутвайн А. И., Юрьев П. С. Влияние стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2013. Вып. 6. С. 7-11.
12. Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Шкарпеткин Е.А. Конструктивно-технологическое совершенствование агрегатов для гранулирования порошкообразных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. Вып. 2. С. 100-102.
13. Ядыкина В. В., Гридчин А. М. Водо- и морозостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона, приготовленного на битуме, модифицированном сэвиленом // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Вып. 2. С. 102-113
14. Sangiorgi C., Tataranni P., Simeone A., Vignali V., Lantieri C., Dondi G. Stone mastic asphalt (SMA) with crumb rubber according to a new dry-hybrid technology: A laboratory and trial field evaluation // Construction and Building Materials. 2019. Iss. 182. P. 200-209. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2018.06.128](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.128).
15. Nuorivaara T., Sema-Guerrero R. Unlocking the potential of sustainable chemicals in mineral processing: Improving sphalerite flotation using amphiphilic cellulose and frother mixtures // Journal of Cleaner Production. 2020. Iss. 261. P. 65-68. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.121143](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121143).

16. Landi D., Marconi M., Bocci E., Germani M. Comparative life cycle assessment of standard, cellulose-reinforced and end of life tires fiber-reinforced hot mix asphalt mixtures // Journal of Cleaner Production. 2020. Iss. 261. P. 35-39. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119295.
17. Ястремский Д. А., Абайдуллина Т. Н., Зимакова Г. А. Исследование влияния стабилизирующих добавок на свойства битума в ЩМА // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. Вып. 4. С. 63–70.
18. Галимуллин И. Н., Башкирцева Н. Ю., Лебедев Н. А., Нугманов О. К. Оценка влияния стабилизирующих добавок на технические свойства битума // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2015. Вып. 7. С. 40-44.

#### **Информация об авторах.**

**Вдовин Евгений Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: vdovin007@mail.ru

**Буланов Павел Ефимович**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: f\_lays@mail.ru

**Журавлев Игорь Вячеславович**, инженер производственно-технического отдела ООО «Волгадорстрой», г. Казань, Российская Федерация

E-mail: igor.zhuravlyov.1998@gmail.com

#### **Information about the authors.**

**Vdovin Evgeny Anatolyevich**, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: vdovin007@mail.ru

**Bulanov Pavel Efimovich**, candidate of technical sciences, senior lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: f\_lays@mail.ru

**Zhuravlev Igor Vyacheslavovich**, engineer of the production and technical department of Volgadorstroy LLC, Kazan, Russian Federation

E-mail: igor.zhuravlyov.1998@gmail.com