

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/article\_5d492c80c1afb8.68554681

<sup>1,\*</sup>Денисов В.П., <sup>1</sup>Траутвайн А.И., Яковлев Е.И.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

\*E-mail: wpdbel@mail.ru

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕШИВАНИЯ И УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

**Аннотация.** С появлением новых национальных стандартов по проектированию асфальтобетона по технологии Supergravel пришла необходимость рассчитывать температуру смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси. Методика определения этих показателей описана в ГОСТ Р 58401.13-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов вращательным уплотнителем» и предусматривает определение двух и более значений динамической вязкости при различных температурах вяжущего. Представленный способ определения необходимых параметров зависит от изобретательности специалиста, так как получить более точные значения не представляется возможным. Решить данную проблему можно за счет использования математически обоснованной функции получения требуемых температурных показателей на основании двух замеров вязкости в соответствии с ГОСТ Р 58401.13-2019 при различной температуре. Для обеспечения работы полученного математического инструмента разработан программный продукт (приложение для Windows) «Вязкость» (свидетельство о депонировании №219.017.52AE). Для получения диапазонов температуры смешивания и уплотнения смеси достаточно ввести измеренные величины вязкости в двух точках при известных температурах, и программа выдаёт температурный диапазон для смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси. При этом нет необходимости заниматься графическими построениями для получения лишь приблизительных результатов.

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, проектирование, температура смешивания и уплотнения, предварительные национальные стандарты, технология Supergravel.

**Введение.** В настоящее время Российская Федерация начала активный обмен знаниями и разработками с зарубежными странами. В связи с чем встает вопрос о переходе к единым нормативным документам. Сейчас возможно использование действующих на данный момент нормативов, таких как ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов», ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные». Начинают активно использовать такие стандарты, как ПНСТ 184-2019 «Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия», ПНСТ 183-2019 «Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия». Кроме того, впервые РФ начинает использование стандарта по методологии Supergravel ГОСТ Р 58401.1-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования», ГОСТ Р 58401.2-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон

щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования». Технология проектирования асфальтобетонных смесей по методу Supergravel существенно отличается от традиционно используемой дорожными организациями и имеет ряд особенностей [1-6].

**Методология.** Проектирование асфальтобетона по технологии Supergravel предполагает использование основных предварительных национальных стандартов: ГОСТ Р 58401.1-2019 [7], ГОСТ Р 58401.3-2019 [8], ГОСТ Р 58401.2-2019 [9], ГОСТ Р 58401.4-2019 [10], ГОСТ Р 58401.13-2019 [11].

**Основная часть.** С появлением предварительных национальных стандартов (ПНСТ) по проектированию асфальтобетона по технологии Supergravel пришла необходимость рассчитывать температуру смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси. Методика определения этих показателей описана в ГОСТ Р 58401.13-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов вращательным уплотнителем» и предусматривает

определение двух и более значений динамической вязкости при различных температурах вязущего. Полученные значения точек необходимо отметить на шаблоне, представленном в нормативном документе ГОСТ Р 58401.13-2019, и провести через них прямую (рис. 1). В местах пересечения полученной прямой с горизонтальными линиями требуемой вязкости, расположен-

ных на логарифмической шкале определяется необходимая для смешения и уплотнения температура.

Требуемая температура смешения вязущего, соответствует диапазону значений при динамической вязкости системы от 0,15 до 0,19 Па·с, температура уплотнения – от 0,25 до 0,31 Па·с (рис. 1).

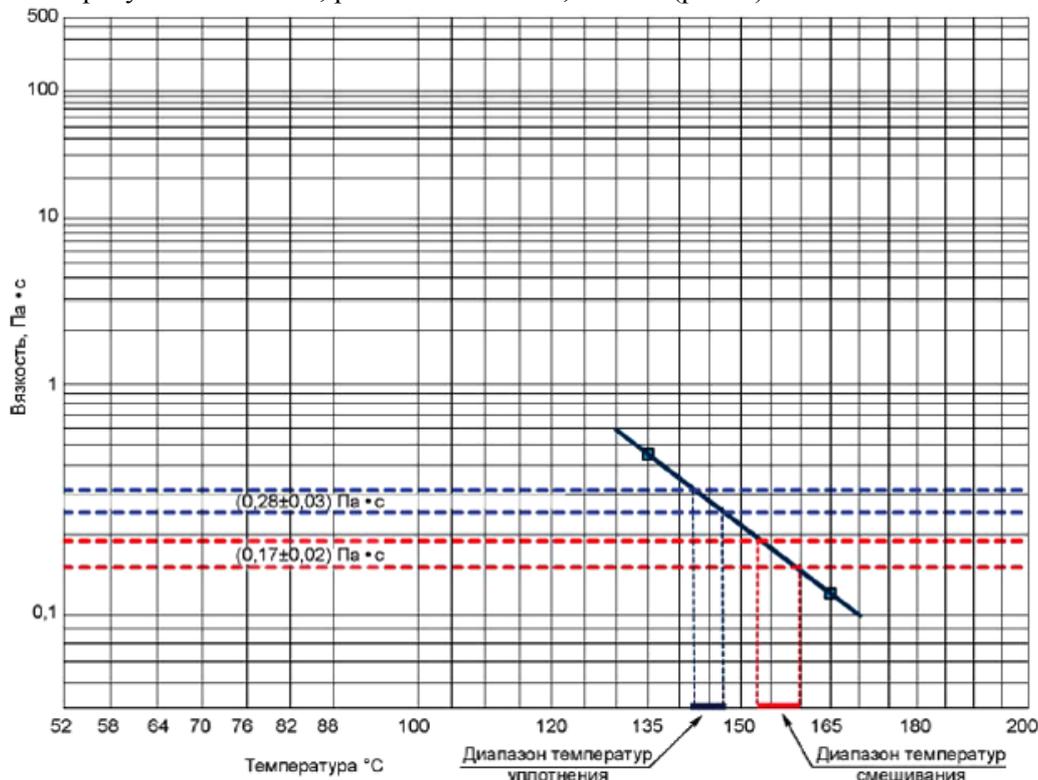


Рис. 1. Шаблон ГОСТ Р 58401.13-2019

Представленный способ определения необходимых параметров зависит от изобретательности специалиста, так как получить более точные значения не представляется возможным.

Данные, полученные на основании графика, построенного в табличном редакторе с применением линий экспоненциальной линии тренда, являются наиболее верными (рис. 2).

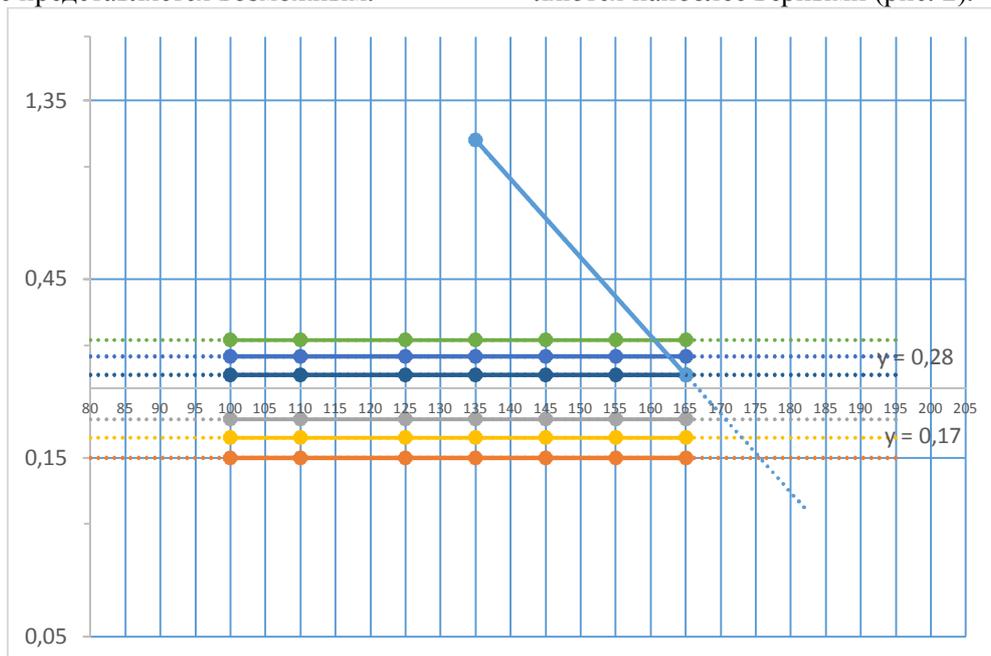


Рис. 2. Шаблон, построенный в табличном редакторе

Пожалуй, с момента появления такого инструмента, как логарифмическая линейка, стандартный (графический) метод определения необходимых температур можно считать устаревшим. Решение данной задачи предложенным в ГОСТ Р 58401.13-2019 способом можно сравнить с определением гипотенузы в прямоугольном треугольнике с помощью угольника и линейки, без использования существующей теоремы Пифагора.

Высокая точность результатов может быть достигнута при использовании вискозиметров, обеспечивающих получение большого массива данных с широким диапазоном температуры испытаний. Но подобное оборудование могут позволить себе очень узкий круг дорожных организаций в виду дороговизны. Большая же часть лабораторий будет использовать бюджетные варианты вискозиметров, обеспечивающие минимально требуемый набор функций.

Современный подход проектирования асфальтобетонных смесей и устройства покрытий автомобильных дорог, разработанный с учётом опыта зарубежных стран, не предусматривает использование математического инструмента расчета температуры смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси. Это вносит дополнительные сложности в алгоритм подбора состава смеси, который и так является сложным и имеет множество тонкостей. При этом, полученный

диапазон температур влияет на основные показатели образцов асфальтобетона, исследуемые при подборе состава асфальтобетонных смесей. В случае возникновения спорных моментов отсутствует точный математический инструмент для установления истины.

Решить данную проблему можно за счет использования математически обоснованной функции получения требуемых температурных показателей на основании двух замеров вязкости в соответствии с ГОСТ Р 58401.13-2019 при различной температуре.

Для доказательства математической зависимости был использован следующий метод.

Создадим произвольный график линейной функции (рис. 3), проходящий через точки А и Б. Ось абсцисс линейная шкала и ось ординат логарифмическая с основанием 10. В соответствии с уже принятым правилом по оси абсцисс будет регистрироваться температура, а по оси ординат - вязкость. В связи с тем, что ось ординат логарифмическая, то функцию прямой АБ не корректно считать линейной. В связи с чем дополнительно построим шкалу ординат, значения на которой будут представлять собой величину десятичного логарифма от значений вязкости. Данная шкала является линейной. Таким образом, функция прямой АБ относительно дополнительной шкалы справедливо считается линейной.

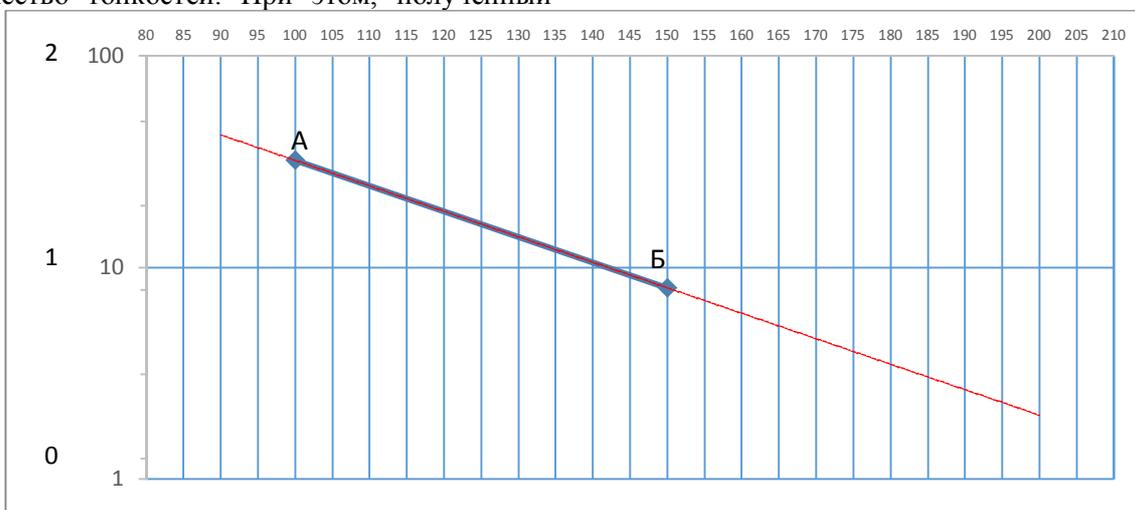


Рис. 3. График зависимости вязкости от температуры

Предположим, что точки А и Б – это результат определения вязкости вяжущего в зависимости от температуры. Условно обозначим координаты точки А  $(T_1, V_1)$ , точки Б –  $(T_2, V_2)$ . Величину требуемой вязкости назовем  $V$ , а искомую температуру  $T$ . Для того, чтобы вывести уравнение прямой необходимо значения линейной шкалы ординат, соответствующие точкам А и Б, выразить через значения  $V_1$  и  $V_2$ . Так как по условию построения дополнительной оси ординат

значения (назовём их условно  $B$ ) являются десятичным логарифмом вязкости, то  $B = \text{Lg}V$ . При этом, координаты точек А и Б по дополнительной оси ординат будут соответственно равны  $B_1 = \text{Lg}V_1$ ,  $B_2 = \text{Lg}V_2$ , требуемая величина вязкости –  $B = \text{Lg}V$  соответственно.

Строим уравнение линейной функции:

$$\frac{B-B_1}{B_2-B_1} = \frac{T-T_1}{T_2-T_1}, \quad (1)$$

где  $V$  – переменная величина вязкости десятичного логарифма вязкости;  $T$  – переменная величина температуры.

Теперь заменим значения  $V$ ,  $V_1$  и  $V_2$  ранее полученными выражениями:

$$\frac{\text{Lg}V - \text{Lg}V_1}{\text{Lg}V_2 - \text{Lg}V_1} = \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

В итоге после пары преобразований получим следующее:

$$T = \frac{\text{Lg}(V:V_1)(T_2 - T_1)}{\text{Lg}(V_2:V_1)} + T_1 \quad (3)$$

где  $V$  – требуемая величина вязкости;  $V_1$  и  $V_2$  – вязкость при температурах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно.

С учётом того, что в конечной формуле в числителе и знаменателе фигурирует логарифм с одинаковым основанием, то данная формула справедлива при использовании логарифма с любым положительным основанием.

Таким образом, получена математическая функция, обеспечивающая точное математическое определение температуры ( $T$ ) для требуемой вязкости ( $V$ ) по двум известным величинам, установленным в лаборатории по ГОСТ Р 58401.13-2019.

Для обеспечения работы полученного математического инструмента разработан программный продукт (приложение для Windows) «Вязкость» (свидетельство о депонировании №219.017.52AE).

Для получения диапазонов температуры смешения и уплотнения смеси достаточно ввести измеренные величины вязкости в двух точках при известных температурах, и программа выдаёт температурный диапазон для смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси (рис. 4).

Вязкость

Расчёт температуры смешения и уплотнения смеси

исходные данные лабораторных испытаний

Температура		Вязкость	
t1 =	135	v1 =	0,28
t2 =	165	v2 =	0,17

**РАССЧИТАТЬ**

диапазон требуемых показателей вязкости

вязкость смешивания смеси		вязкость уплотнения смеси	
0,15	0,19	0,25	0,31

от до от до

**температура смешения и уплотнения**

172,5	158,3	141,8	128,9
-------	-------	-------	-------

Разработчик ООО ДОРСОФТ т. +7(4722)372350  
<http://www.dorsoft.ru/>

Рис. 4. Результаты расчета, полученные с помощью программного продукта «Вязкость»

При этом нет необходимости заниматься графическими построениями для получения лишь приблизительных результатов

**Выводы.** С позиции обеспечения наибольшей точности определения температуры смешения и уплотнения асфальтобетонных смесей по технологии Superpave в соответствии с нормативными документами предложена возможность использования математического инструмента, разработанного на кафедре «Автомобильные и железные дороги» БГТУ им. В.Г. Шухова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирюхин Г.Н. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний // Автомоб. дороги и мосты: Обзорн. информ. ФГУП «Информавтодор», 2005. №. 6. С. 96.
2. Радовский Б.С. Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв // Дорожная техника: каталог-справочник. СПб.: Славутич, 2008. С. 42–52.
3. Руденски А.В. Современный метод проектирования состава асфальтобетона по асфальтовому вяжущему // Дороги и мосты. 2009. №. 21. С. 201–207.
4. Радовский Б.С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв // Дорожная техника. 2007. №. 1. С. 86–99.
5. ОДМ 218.4.036-2017. Методические рекомендации по приготовлению асфальтобетонных смесей, их укладке, а также приемке выполненных работ, основанные на методологии "Superpave". Введ. 2017-05-15. М.: Росстандарт, 2017. 36 с.
6. Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Денисов В.П., Лашин М.В. Особенности метода объемного проектирования асфальтобетона по технологии SUPERPAVE // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 8–14.
7. ГОСТ Р 58401.1-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования. Введ. 2019-06-01. М.: Росстандарт, 2019. 20 с.
8. ГОСТ Р 58401.3-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Правила проектирования. Введ. 2019-06-01. М.: Росстандарт, 2019. 16 с.
9. ГОСТ Р 58401.2-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-

мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования. Введ. 2019-06-01. М.: Росстандарт, 2019. 16 с.

10. ГОСТ Р 58401.4-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального

проектирования. Правила проектирования. Введ. 2016-06-01. М.: Росстандарт, 2019. 16 с.

11. ГОСТ Р 58401.13-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов вращательным уплотнителем. Введ. 2019-06-07. М.: Росстандарт, 2019. 16 с.

*Информация об авторах*

**Денисов Василий Петрович**, заведующий лабораторией БГТУ им. В.Г. Шухова. E-mail: wpdbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Траутвайн Анна Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: trautvain@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Яковлев Евгений Александрович**, кандидат технических наук, зав. кафедрой автомобильных и железных дорог. E-mail: jea2@gambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила в июне 2019 г.*

© Денисов В.П., Траутвайн А.И., Яковлев Е.А., 2019

<sup>1,\*</sup>**Denisov V.P., <sup>1</sup>Traytvain A.I., <sup>1</sup>Yakovlev E.A.**

<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

*Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.*

*\*E-mail: wpdbel@mail.ru*

## DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL TOOL FOR THE CALCULATION OF THE TEMPERATURE OF MIXING AND SEALING OF ASPHALT CONCRETE

**Abstract.** *The emergence of new national standards for the design of asphalt concrete using Superpave technology creates the need to calculate the temperature of mixing and sealing of asphalt mixture. The method of determining these indicators is described in GOST R 58401.13-2019 "Automobile roads of the general usage. Asphalt concrete mixes and asphalt concrete. Method of preparing samples by a rotary compactor" and provides for the determination of two or more values of dynamic viscosity at different temperatures of the binder. The presented method of determining the necessary parameters depends on the ingenuity of the specialist, since it is not possible to obtain more accurate values. This problem can be solved by using a mathematically grounded function to obtain the required temperature indicators based on two viscosity measurements in accordance with GOST R 58401.13-2019 at various temperatures. A software product (application for Windows) "Viscosity" (deposit certificate No. 219.017.52AE) is developed to ensure the operation of the obtained mathematical tool. To obtain the mixing and sealing temperature ranges of the mixture, it is sufficient to enter the measured viscosity values at two points at known temperatures, and the program outputs the temperature range for mixing and sealing the asphalt concrete mixture. At the same time, there is no need to engage in graphical constructions to obtain only approximate results.*

**Keywords:** *asphalt concrete mix, design, mixing and sealing temperature, provisional national standards, Superpave technology.*

### REFERENCES

1. Kiryukhin G.N. Designing the composition of asphalt concrete and methods of testing it [Proyektirovaniye sostava asfal'tobetona i metody yego ispytaniy]. Auto. Roads and Bridges: Overview. Inform. FSUE "Informavtodor, 2005. No. 6. 96 p. (rus)
2. Radovsky B.S. The current state of development of the American method of designing asphalt mixes Superpeyv [The current state of development

of the American method of designing asphalt mixes Superpave]. Road equipment: catalog-directory. SPb.: Slavutich, 2008. Pp. 42–52. (rus)

3. Rudenski A.V. Modern method of designing the composition of asphalt concrete on asphalt binder [Sovremennyy metod proyektirovaniya sostava asfal'tobetona po asfal'tovomu vyazhushchemu]. Roads and bridges. 2009. No. 21. Pp. 201–207. (rus)

4. Radovsky B.S. Designing the composition of asphalt mixes in the United States by the method of

Superpave [Proyektirovaniye sostava asfal'tobetonnnykh smesey v SSHA po metodu Superpeyv]. Road equipment. 2007. No. 1. Pp. 86–99. (rus)

5. ODM 218.4.036-2017. Guidelines for the preparation of asphalt mixes, their installation, as well as acceptance of work performed, based on the methodology "Superpave" [Metodicheskiye rekomendatsii po prigotovleniyu asfal'tobetonnnykh smesey, ikh ukladke, a takzhe priyemke vypolnennykh rabot, osnovannyye na metodologii "Superpave"]. Enter 2017-05-15. M.: Rosstandart, 2017. 36 p. (rus)

6. Trautvain A.I., Akimov A.E., Denisov V.P., Lashin M.V. Features of the method of bulk design of asphalt concrete technology SUPERPAVE [Osobennosti metoda ob'yemnogo proyektirovaniya asfal'tobetonu po tekhnologii SUPERPAVE]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 3. Pp. 8–14. (rus)

7. GOST R 58401.2. Automobile roads of general use. Road hot asphalt mixtures and asphalt concrete. Volumetric-functional design system. Technical requirements [Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnnyye dorozhnyye i asfal'tobeton. Sistema ob'yemno-funktsional'nogo proyektirovaniya. Tekhnicheskiye trebovaniya]. Enter 2019-06-01. M.: Rosstandart, 2019. 20 p. (rus)

8. GOST R 58401.3. Automobile roads of general use. Road hot asphalt mixtures and asphalt concrete. Volumetric-functional design system. Design rules [Dorogi avtomobil'nyye obshchego

pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnnyye dorozhnyye i asfal'tobeton. Sistema ob'yemno-funktsional'nogo proyektirovaniya. Pravila proyektirovaniya]. Enter 2019-06-01. M.: Rosstandart, 2019. 16 p. (rus)

9. GOST R 58401.2. Automobile roads of general use. Road stone-mastic asphalt mixtures and asphalt concrete. Volumetric-functional design system. Technical requirements [Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnnyye dorozhnyye i asfal'tobeton shchebenochno-mastichnyye. Sistema ob'yemno-funktsional'nogo proyektirovaniya. Tekhnicheskiye trebovaniya]. Enter 2019-06-01. M.: Rosstandart, 2019. 16 p. (rus)

10. GOST R 58401.4. Automobile roads of general use. Road stone-mastic asphalt mixtures and asphalt concrete. Volumetric-functional design system. Design rules [Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnnyye dorozhnyye i asfal'tobeton shchebenochno-mastichnyye. Sistema ob'yemno-funktsional'nogo proyektirovaniya. Pravila proyektirovaniya]. Enter 2019-06-01. M.: Rosstandart, 2019. 16 p. (rus)

11. GOST R 58401.13. Automobile roads of general use. Asphalt mixtures and asphalt concrete for road pavement. Method for preparation of specimens using gyratory compactor [Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnnyye dorozhnyye i asfal'tobeton. Metod prigotovleniya obraztsov vrashchatelnym uplotnitelem]. Enter 2019-06-07. M.: Rosstandart, 2019. 16 p. (rus)

#### *Information about the authors*

**Denisov, Vasily P.** Head of the laboratory. E-mail: wpdbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Trautvain, Anna I.** Ph.D., Assistant professor. E-mail: trautvain@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Yakovlev, Evgenij A.** Ph.D., Assistant professor. E-mail: jea2@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in June 2019*

#### **Для цитирования:**

Денисов В.П., Траутвайн А.И., Яковлев Е.А. Разработка математического инструмента расчета температуры смешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 8–13. DOI: 10.34031/article\_5d492c80c1afb8.68554681

#### **For citation:**

Denisov V.P., Trautvain A.I., Yakovlev E.A. Development of mathematical tool for the calculation of the temperature of mixing and sealing of asphalt concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 8–13. DOI: 10.34031/article\_5d492c80c1afb8.68554681