

МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ ОБЪЕМНЫХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПО МЕТОДУ МАРШАЛЛА

Сергей Николаевич Шабает ^{1,2}, Сергей Александрович Иванов ³

^{1,2} Кемеровский государственный университет, Кемеровская область, Кемерово, Россия,

³ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
Кемеровская область, Кемерово, Россия,

^{1,2} shsn-22@mail.ru, ³ isa.ad@kuzstu.ru

Аннотация. Постоянно возрастающие требования по допустимым осевым нагрузкам, интенсивности движения и составу транспортного потока требуют от асфальтобетона улучшенных физико-механических характеристик. В связи с чем появились новые методы подбора состава асфальтобетонных смесей по системе Маршалла и объемно-функционального проектирования Superpave. Данные методики в настоящее время апробируются в реальных условиях эксплуатации материалов, полученных на их основе. В связи с чем, необходим поиск способов совершенствования методов подбора асфальтобетонных смесей. В статье рассматриваются такие параметры как пустоты, в минеральном заполнителе (ПМЗ) и пустоты наполненные битумным вяжущим на предмет определения ошибок при подборе смесей различного типа с различными номинально максимальными размерами зерен минеральной составляющей асфальтобетонных смесей.

Ключевые слова: проектирование составов, смеси, пустоты, заполнитель, вяжущее

Для цитирования: Шабает С. Н., Иванов С. А. Методика проверки объемных свойств асфальтобетонных смесей при их проектировании по методу Маршалла // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2025. Выпуск 2025-1(171) Современные строительные материалы. С. 22–29. doi: 10.71536/vd.2025.1c171.3. edn: vrdaxh.

Original article

METHODOLOGY OF CHECKING VOLUMETRIC PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES IN THEIR DESIGN BY THE MARSHALL METHOD

Sergey N. Shabaev ^{1,2}, Sergey A. Ivanov ³

^{1,2} Kemerovo State University, Kemerovo region, Kemerovo, Russia,

³ Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo region, Kemerovo, Russia,

^{1,2} shsn-22@mail.ru, ³ isa.ad@kuzstu.ru

Abstract. Constantly increasing requirements for permissible axial loads, traffic intensity and traffic flow composition require more durable asphalt concrete mixtures with improved physical and mechanical characteristics from asphalt concrete. In this regard, new methods for selecting the composition of asphalt concrete mixtures according to the Marshall system and volumetric-functional design Superpave have appeared. These methods are only being tested in real conditions of operation of materials obtained on their basis. In this connection, it is necessary to search for ways to improve the systems of selection of asphalt concrete mixtures. The article considers such parameters as voids in mineral filler (VMF) and voids filled with bitumen binder for the purpose of determining errors in the selection of mixtures of various types with different nominal maximum sizes of grains of the mineral component of asphalt concrete mixtures.



Keywords: design of compositions, mixtures, voids, filler, binder

For citation: Shabaev S. N., Ivanov S. A. Methodology of checking volumetric properties of asphalt concrete mixtures in their design by the Marshall method. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Modern building materials.* 2025;1(171):22–29. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2025.1c171.3. edn: vrdaxh.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время для устройства покрытий автомобильных дорог общего пользования наиболее широкое распространение получили горячие асфальтобетонные смеси (горячие щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси), запроектированные по методу объемно-функционального проектирования (ГОСТ Р 58401.1-2019, ГОСТ Р 58401.2-2019) и по методу Маршалла (ГОСТ Р 58406.1-2020, ГОСТ Р 58406.2-2020). Поскольку в настоящее время не все регионы перешли на подобного рода подборы составов асфальтобетонных смесей, то имеются некоторые разногласия и методиках расчетов показателей. Поэтому необходима долгосрочная апробация на практике новых методов подбора составов асфальтобетонных смесей.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В работе [1; 2] выполнен анализ проектирования асфальтобетонных смесей по системе объемно-функционального проектирования Supergrave от известной ранее. Отличительным признаком подобной технологии подбора является оценка количественного прогноза состояния асфальтобетонного покрытия во времени для каждого конкретного региона из расчета условий эксплуатации покрытия.

Фундаментальными исследованиями проектирования состава асфальтобетонных смесей занимался профессор Б. С. Радовский [3; 4]. Основное отличие системы объемно-функционального проектирования от известных, по мнению автора, заключается в оценке вяжущих в смесях, которые основываются не реологических характеристиках битума, а не на практических путем наблюдения.

Среди работ, в которых описываются методы проектирования асфальтобетонных смесей по системе Маршалла и объемно-функционального проектирования подробно рассмотрены преимущества и недостатки таких авторов как А. Ю. Фомина, С. А. Чернова, М. И. Мельникова, Д. И. Карнауха, И. А. Кулеш, А. А. Хомякова, Р. Б. Джуманова, А. О. Ширяева, Г. Н. Кирюхина [5–11] и др.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы заключается в обосновании методик определения объемных свойств асфальтобетонных смесей, запроектированных по методу Маршалла на предмет ошибок заданных параметров существующих методик.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Одним из важных параметров, определяемых при проектировании составов асфальтобетонных смесей, является «Пустоты в минеральном заполнителе» (далее – ПМЗ), зависящий от объемной плотности уплотненного образца, доли минерального заполнителя в составе асфальтобетонной смеси и общей объемной плотности минерального заполнителя. При проектировании асфальтобетонных смесей по методу Маршалла общая объемная плотность минерального заполнителя определяется через удельный вес плотности каждого отдельного минерального заполнителя, входящего в состав смеси, причем за плотность крупного заполнителя (щебня) принимается значение средней плотности, а мелкого заполнителя (песка) и минерального порошка – значение истинной плотности. Очевидным недостатком расчетного способа определения ПМЗ является невозможность проверки адекватности полученного значения другим способом, а ведь от данного показателя зависит такой очень важный показатель «Пустоты, наполненные битумным вяжущим» (далее – ПНБ). Действительно, методика определения средней плотности щебня (ГОСТ 33057-2014) подразумевает после выдерживания пробы щебня в воде ее гидростатическое взвешивание с последующим удалением с поверхности зерен щебня воды путем обтирания его влажной мягкой тканью. В данном случае имеются неопределенности: будет ли обеспечено полное удаление пузырьков воздуха после поднимания и свободного падения корзины с пробой, находящейся в воде; какова должна быть впитывающая способность ткани, используемой при удалении с поверхности зерен щебня воды, а также ее влажность (понятие «влажная ткань» относительное). Еще большую неопределенность вызывает принятие в

расчетах значения истинной плотности песка. Песок, в отличие от щебня и минерального порошка, является более разнородным материалом, содержащим в своем составе как относительно крупные частицы, имеющие среднюю плотность, мало отличающуюся от значения средней плотности щебня (в случае если щебень и песок получены из одной и той же горной породы), так и достаточно мелкие частицы, плотность которых действительно можно принять равным значению истинной плотности песка. Отмеченные выше неопределенности, безусловно, могут вызвать достаточно большую ошибку при расчете ПМЗ. В связи с этим разработка методики проверки показателя ПМЗ при проектировании асфальтобетонных смесей по методу Маршалла является важной задачей.

Решение данной задачи осуществляется через методику прогнозирования максимальной плотности асфальтобетонной смеси. Для этого обратимся к методике проектирования составов асфальтобетонных смесей СоюзДорНИИ (ГОСТ 9128-2013, ГОСТ 31015-2002). Максимальная плотность асфальтобетонной смеси, которая в настоящее время определяется при помощи вакуумного пикнометра, в асфальтобетонных смесях СоюзДорНИИ, как правило, определялась расчетным путем (в то время она называлась не максимальной, а истинная плотность смеси, $G_{ист}^{расч}$) по формуле (ГОСТ 12801-98):

$$G_{ист}^{расч} = \frac{\bar{p}_s + p_B}{\frac{\bar{p}_s}{G_{sb}} + \frac{p_B}{G_B}}, \quad (1)$$

где \bar{p}_s – количество минерального заполнителя в асфальтобетонной смеси (принимается за 100 %), доли единиц;
 p_B – массовая доля вяжущего в смеси, % (сверх 100 % минеральной части);
 G_{sb} – истинная плотность минеральной части смеси, г/см³;
 G_B – истинная плотность битумного вяжущего, г/см³.

Важно подчеркнуть, что при расчете истинной плотности асфальтобетонной смеси использовалось значение истинной плотности минеральной части смеси, рассчитываемое через значения истинной плотности отдельных минеральных материалов, входящих в состав смеси. В методе Маршалла при определении общей объемной плотности минерального заполнителя, входящего в состав смеси, как было отмечено ранее, для щебня используется значение не истинной плотности, а средней плотности, что, на наш взгляд, более обосновано. В этом случае расчетное значение максимальной плотности смеси ($G_{mm}^{расч}$) можно определить из зависимости:

$$G_{mm}^{расч} = \frac{\bar{p}_s + p_B}{\frac{\bar{p}_s}{G_{sb}} + \frac{p_B}{G_B}}, \quad (2)$$

где G_{sb} – общая объемная плотность минерального заполнителя, входящего в состав смеси, г/см³, определяемая по зависимости (ГОСТ Р 58406.10-2020):

$$G_{sb} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{G_i}}, \quad (3)$$

где p_i – количество в асфальтобетонной смеси i -го минерального заполнителя, %;
 G_i – объемная плотность i -го минерального заполнителя, г/см³;
 n – общее количество различных минеральных заполнителей в составе смеси.

Для проверки значения показателя ПМЗ необходимо произвести испытания не менее двух типов асфальтобетонных смесей, полученных из одних и тех же исходных материалов (предпочтительнее, чтобы номинально максимальный размер применяемого минерального заполнителя в смесях отличался не менее чем в три раза). Рассмотрим смеси А16Нт и А5Вл. Сведения об объемных свойствах запроектированных асфальтобетонных смесей приведены в таблице 1.

Необходимо обратить внимание, что если для смеси А16Нт расхождение между фактическим и расчетным значениями максимальной плотности не превышает 0,3 % (0,007 г/см³ по абсолютной величине), то для смеси А5Вл этот показатель достигает 1,75 % (0,039 г/см³ по абсолютной величине). Увеличение расхождения между фактическим и расчетным значениями максимальной плотности обусловлено, скорее всего, тем, что значение общей объемной плотности минерального заполнителя для смеси А5Вл определено не верно, а это в свою очередь привело к неточному значению таких показателей как ПМЗ и ПНБ.

Таблица 1. Сведения об объемных свойствах запроектированных асфальтобетонных смесей при использовании значений средней и истинной плотности применяемых минеральных заполнителей

Наименование материала (поставщик)	Средняя / истинная плотность, г/см ³	Доля в составе смеси, %	Объемная плотность, г/см ³	Максимальная плотность, г/см ³	ПМЗ, %	ПНБ, %	Расчетное значение максимальной плотности, г/см ³
1	2	3	4	5	6	7	8
А16Нг							
Щебень фр. 11,2–16 мм (ООО «Барзасский карьер»)	2,71	40,0	2,428	2,544	14,8	68,9	2,551
Щебень фр. 4–8 мм (ООО «Барзасский карьер»)	2,72	28,0					
Песок дробленый (ООО «Барзасский карьер»)	2,81	25,7					
Минеральный порошок (ООО «Кузбассдорстрой»)	2,71	6,3					
Битум БНД 70/100 сверх 3 100 % минеральной части (Омский НПЗ)	1,00	4,4					
А5Вл							
Щебень фр. 4–8 мм (ООО «Барзасский карьер»)	2,72	43,4	2,385	2,449	18,9	86,2	2,488
Песок дробленый (ООО «Барзасский карьер»)	2,81	45,6					
Минеральный порошок (ООО «Кузбассдорстрой»)	2,71	11,0					
Битум БНД 70/100 сверх 100 % минеральной части (Омский НПЗ)	1,00	6,6					

Как отмечалось выше, определение средней плотности щебня сопряжено с наличием неопределенностей, которые могут приводить к ошибочным результатам. Более адекватное, на наш взгляд, значение объемной плотности щебня, используемого в расчетах при проектировании асфальтобетонных смесей, можно получить, если определять его по ГОСТ Р 58401.16-2019 (пробоподготовка щебня по ГОСТ 33057-2014) с той разницей, что воздух из чаши со щебнем и водой не удаляется (при этом краны вакуумного пикнометра остаются открытыми). Действительно, применение вибрационного механического воздействия приводит к интенсивному удалению пузырьков воздуха (воздух не откачивается, чтобы не способствовать полному заполнению микротрещин, имеющихся на поверхности щебня, водой), обтирание щебня мягкими влажными тканями не осуществляется, а, значит, эта процедура никакого влияния на получаемые результаты не оказывает. Единственный фактор, который не учитывает данный метод – это водопоглощение щебня.

За объемную плотность песка, используемую при проектировании составов асфальтобетонных смесей, целесообразно принимать средневзвешенное значение объемной и истинной плотностей. Так как в соответствии с ГОСТ 32722-2014 истинная плотность песка определяется на частицах, имеющих размер менее 0,125 мм, то необходимо определить объемную плотность части песка, имеющего размер более 0,125 мм. В связи с тем, что нормативными документами определение средней плотности песка не предусмотрено (ГОСТ Р 58402.1-2019 предусматривает определение объемной плотности песка, содержащем в своем составе частицы размером менее 0,125 мм, в противном случае конусовидная форма песка сохраняться не

будет), то объемную плотность песка можно определить способом, аналогичным описанному выше для щебня.

Чтобы при определении объемной плотности учесть водопоглощение как щебня, так и песка фр. 0,125–4 мм (водопоглощение песка принимается равным водопоглощению щебня), в расчетную формулу, установленную ГОСТ Р 58401.16-2019, необходимо внести изменения. Из принципов реализации закона Архимеда при гидростатическом взвешивании получаем:

$$G = \frac{A \cdot \left(1 - \frac{W_{\text{погл}}}{100}\right)}{A - (B - C)} \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (4)$$

где G – объемная плотность щебня (песка), г/см³;
 A – масса высушенной пробы щебня (песка) на воздухе, г;
 B – масса чаши с щебнем (песком) в воде, г;
 C – масса чаши в воде, г;
 $W_{\text{погл}}$ – водопоглощение щебня, %;
 $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, равная 0,997 г/см³.

Чтобы оценить объемную плотность каждой фракции, песок был рассеян через стандартный набор сит, а средневзвешенное значение объемной плотности рассчитывалось по формуле (3). Кроме того, также была определена объемная плотность фракционированного песка (фр. 0,125–4 мм, пробоподготовка песка по аналогии со щебнем). При определении средней плотности щебня было установлено, что водопоглощение составляет от 0,32 до 0,45 % (приведен диапазон единичных результатов определений щебня различных фракций), в связи с чем в расчетах значение водопоглощения было принято 0,40 %. Результаты определения объемной плотности щебня и песка приведены в таблице 2 (расчетная объемная плотность песка рассчитывалась по формуле (3)).

Таблица 2. Объемные плотности применяемых минеральных заполнителей

Наименование материала (поставщик)	Доля, %	Объемная плотность, г/см ³	Средневзвешенное значение объемной плотности, г/см ³	Истинная плотность, г/см ³	Расчетная объемная плотность, г/см ³
Щебень фр. 11,2–16 мм (ООО «Барзасский карьер»)	100	2,742	–	–	2,742
Щебень фр. 4–8 мм (ООО «Барзасский карьер»)	100	2,742	–	–	2,742
Песок дробленый фр. менее 0,125 мм (ООО «Барзасский карьер»)	9,2	–	–	2,810	2,690
Песок дробленый фр. 0,125–4 мм (ООО «Барзасский карьер»)	90,8	2,678	–	–	
в том числе:					
Песок дробленый фр. 0,125–0,25 мм (ООО «Барзасский карьер»)	7,4	2,530	2,683	–	–
Песок дробленый фр. 0,25–0,5 мм (ООО «Барзасский карьер»)	9,4	2,534		–	–
Песок дробленый фр. 0,5–1 мм (ООО «Барзасский карьер»)	17,9	2,689		–	–
Песок дробленый фр. 1–2 мм (ООО «Барзасский карьер»)	27,5	2,698		–	–
Песок дробленый фр. 2–4 мм (ООО «Барзасский карьер»)	37,8	2,741		–	–

Расчетные значения объемных плотностей определены с точностью до третьего знака после запятой, так как расхождение между результатами параллельных испытаний не превышали 0,007 г/см³, что свидетельствует о высокой сходимости. Средневзвешенное значение объемной плотности разделенного на узкие фракции песка незначительно отличается от его объемной плотности, определенной на частицах

размером 0,125–4 мм (расхождение 0,005 г/см³), что подтверждает возможность определения объемной плотности песка без его разделения на фракции. Так как объемная плотность песка фр. 2–4 мм практически не отличается от объемной плотности щебня фр. 4–8 мм, то при наличии в песке частиц размером более 4 мм его объемную плотность допускается определять без отделения частиц размером свыше 4 мм.

Получение расчетных объемных плотностей щебня и песка позволили пересчитать объемные свойства асфальтобетонных смесей (таблица 3).

Таблица 3. Сведения об объемных свойствах запроектированных асфальтобетонных смесей при использовании значений объемной плотности применяемых

Наименование материала (поставщик)	Объемная плотность, г/см ³	Доля в составе смеси, %	Объемная плотность, г/см ³	Максимальная плотность, г/см ³	ПМЗ, %	ПНБ, %	Расчетное значение максимальной плотности, г/см ³
1	2	3	4	5	6	7	8
А16Нт							
Щебень фр. 11,2–16 мм (ООО «Барзасский карьер»)	2,742	40,0	2,428	2,544	14,7	68,7	2,541
Щебень фр. 4–8 мм (ООО «Барзасский карьер»)	2,742	28,0					
Песок дробленый (ООО «Барзасский карьер»)	2,690	25,7					
Минеральный порошок (ООО «Кузбассдорстрой»)	2,710	6,3					
Битум БНД 70/100 сверх 100 % минеральной части (Омский НПЗ)	1,000	4,4					
А5Вл							
Щебень фр. 4–8 мм (ООО «Барзасский карьер»)	2,742	43,4	2,385	2,451	17,6	85,8	2,454
Песок дробленый (ООО «Барзасский карьер»)	2,690	45,6					
Минеральный порошок (ООО «Кузбассдорстрой»)	2,710	11,0					
Битум БНД 70/100 сверх 100 % минеральной части (Омский НПЗ)	1,000	6,6					

Как показали результаты, при применении в качестве расчетных объемных плотностей щебня и песка, расхождения между фактическим и расчетным значениями максимальной плотности как для смеси А16Нт, так и для смеси А5Вл не превышает 0,1 % (0,003 г/см³ по абсолютной величине), а, значит, это решение обосновано и дает более адекватные результаты. Это, в свою очередь, привело к тому, что если для смеси А16Нт значение ПМЗ практически не изменилось, то для смеси А5Вл оно снизилось на 1,3 %. Если в представленном примере такое снижение ПМЗ критическим не явилось (для смеси А16Нт ПМЗ должно составлять не менее 13,0 %, для смеси А5Вл – не менее 15,0 %), то в случаях, когда ПМЗ проектируется ни нижних пределах, вполне вероятно, что фактическое значение ПМЗ будет находиться за допускаемыми пределами.

Показатель ПНБ изменился незначительно, в связи с чем ошибки, возможные при определении показателя ПМЗ, не являются значимыми применительно к нему. Тем не менее, ошибка в определении общей объемной плотности минерального заполнителя сказывается на определении первоначального содержания битумного вяжущего в смеси (не критический дефект).

ВЫВОДЫ

1. Проверку значения показателя «Пустоты в минеральном заполнителе» можно осуществить путем проведения испытания не менее двух типов асфальтобетонных смесей, полученных из одних и тех же исходных материалов, номинально максимальный размер применяемых минеральных заполнителей которых отличается не менее чем в 2–3 раза. Для этого следует определить расчетное значение максимальной плотности каждой из смеси и сопоставить его со значением максимальной плотности, полученной опытным путем. Если расхождение между теоретическим и фактическим значением максимальной плотности в обоих типах смесей не значительно отличаются друг от друга (до 0,3–0,4 %), то значение ПМЗ определено верно, в противном случае – имеется ошибка.

2. При проектировании составов асфальтобетонных смесей по методу Маршалла использование в качестве объемных плотностей щебня и песка их средней и истинной плотности соответственно может привести к неверному определению общей объемной плотности минерального заполнителя, входящего в состав смеси, и, как следствие, ошибке в значении показателей ПМЗ и ПНБ. Для смесей с номинально максимальным размером применяемого минерального заполнителя 16 мм эта ошибка минимальна, так как неверные значения объемной плотности как щебня, так и песка компенсируют друг друга. Однако для смесей с номинально максимальным размером применяемого минерального заполнителя, значительно отличающимся от 16 мм (например, А32, А5) данная ошибка становится значительной.

3. В качестве объемной плотности щебня, используемого при проектировании асфальтобетонной смеси по методу Маршалла, необходимо принимать значение, полученное по методике, регламентированной ГОСТ Р 58401.16-2019 (пробоподготовка щебня должна быть осуществлена по ГОСТ 33057-2014) с той разницей, что воздух из чаши со щебнем и водой не удаляется (при этом краны вакуумного пикнометра остаются открытыми), а само значение рассчитывается по формуле (4).

4. В качестве объемной плотности песка, используемого при проектировании составов асфальтобетонных смесей по методу Маршалла, необходимо принимать средневзвешенное значение, рассчитанное по формуле (3), между его истинной плотностью и объемной плотностью, определенной на частицах размером более 0,125 мм по методике, указанной в п. 3 (с предварительной промывкой частиц песка и их высушиванием до постоянной массы).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Снопков, В. В. Сравнительный анализ методов проектирования асфальтобетонных смесей по методологии Marshall и Supergrave / В. В. Снопков, А. В. Симонова, А. А. Игнатев. – Текст : электронный // Сборник материалов семьдесят второй всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием, Ярославль, 24 апреля 2019 : в 3 частях : часть 2 ; Ярославский государственный технический университет. – Ярославль : Ярославский государственный технический университет, 2019. – С. 744–747. – ISBN 978-5-9914-0764-9. – URL: <https://www.ystu.ru/files/other/72%20НТК%20том%202.pdf> (дата обращения: 04.12.2024).
2. Шеина, Т. В. Система суперпейв / Т. В. Шеина, М. А. Свежинцева. – Текст : электронный // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : сборник статей : электронный ресурс ; под редакцией М. В. Шувалова, А. А. Пишулева, А. К. Стрелкова. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2018. – С. 84–88. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36397155> (дата обращения: 04.12.2024). – EDN: VLNXQA.
3. Радовский, Б. С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв / Б. С. Радовский. – Текст : непосредственный // Дорожная техника. – 2008. – Санкт-Петербург. – С. 85–99.
4. Радовский, Б. С. Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв / Б. С. Радовский. – Текст : электронный // Дорожная техника. – 2008. – С. 12–22. – URL: https://high-way.ucoz.ru/_ld/0/72_.pdf (дата обращения: 04.12.2024).
5. Актуализация инновационных технологий в автодорожном строительстве / А. В. Кабанов, И. В. Колос, В. А. Черняева [и др.]. – Текст : электронный // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2019. – Том 6, № 3. – 9 с. – URL: <https://t-s.today/PDF/11SATS319.pdf> (дата обращения: 04.12.2024). – DOI: 10.15862/11SATS319. – ISSN 2413-9807.
6. Карнаух, Д. И. Анализ отечественного и зарубежного методов подбора составов асфальтобетонных смесей / Д. И. Карнаух, А. А. Лыткин. – Текст : электронный // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : сборник научных трудов национальной научно-практической конференции, Омск, 19–20 апреля 2018 года. – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). – 2018. – С. 456–459. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35240554> (дата обращения: 04.12.2024). – EDN: XSYHZJ.
7. Кулеш, И. А. Методы подбора составов асфальтобетонных смесей, реализуемые в Республике Беларусь / И. А. Кулеш. – Текст : электронный // Молодежь и научно-технический прогресс : сборник докладов XV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Губкин, 07 апреля 2022 года : в 2 томах : том 1. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,

2022. – С. 245–246. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49294860&pff=1> (дата обращения: 04.12.2024). – EDN: IQYUMIM.
8. Навольный, А. С. Пути подборов составов мелкозернистых асфальтобетонных смесей, наиболее устойчивых к процессам колееобразования / А. С. Навольный, С. А. Чернов. – Текст : электронный // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – Том 5, № 1. – 13 с. – URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS118.pdf> (дата обращения: 04.12.2024). – DOI: 10.15862/01SATS118.
 9. Никишин, В. Е. Совершенствование подбора составов асфальтобетонов для обеспечения сдвигоустойчивости покрытий / В. Е. Никишин, М. И. Мельников. – Текст : электронный // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2021. – № 1(46). – С. 21–25. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45546162> (дата обращения: 04.12.2024). – EDN: FYDXJG.
 10. Методы проектирования состава горячих асфальтобетонных смесей: по Маршаллу, Хвиму и системе Supergravel (Спас) / Н. С. Боровик, А. О. Ширяев, Н. П. Демушкин, С. С. Еременко. – Текст : электронный // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова: посвящена 165-летию В. Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2018 года : сборник статей. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2018. – С. 2294–2299. – URL: <https://elibrary.ru/egjmlm> (дата обращения: 04.12.2024). – EDN: EGJMLM.
 11. Кирюхин, Г. Н. Плюсы и минусы системы проектирования асфальтобетона «Суперпейв» / Г. Н. Кирюхин, Р. Б. Джуманов. – Текст : электронный // Ежегодная научная сессия – Ассоциация исследователей асфальтобетона, Москва, 01 января – 31 декабря 2014 года : сборник статей. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2014. – С. 72–83. – URL: <https://elibrary.ru/ziyabb> (дата обращения: 04.12.2024). – EDN: ZIYABB.

Информация об авторах

Шабаев Сергей Николаевич – кандидат технических наук, заместитель начальника лаборатории дорожно-строительных материалов Кемеровского государственного университета, Кемеровская область, Кемерово, Россия; доцент кафедры автомобильных дорог и городского кадастра строительного института Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева, Кемеровская область, Кемерово, Россия. Научные интересы: модифицирование органических вяжущих для дорожного строительства отходами промышленности, а также утилизационными вторичными ресурсами для повышения долговечности и качества асфальтобетонов на их основе, раздробленные горные породы, нерудные каменные материалы.

Иванов Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и городского кадастра строительного института Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева, Кемеровская область, Кемерово, Россия. Научные интересы: модифицирование органических вяжущих для дорожного строительства отходами промышленности, а также утилизационными вторичными ресурсами для повышения долговечности и качества асфальтобетонов на их основе.

Information about the authors

Shabaev Sergey N. – Ph. D. (Eng.), Deputy Head of the Laboratory of Road Construction Materials, Kemerovo State University, Kemerovo State University, Kemerovo region, Kemerovo, Russia; Associate Professor of the Department of Highways and Urban Cadastre, Construction Institute, Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo region, Kemerovo, Russia. Scientific interests: modification of organic binders for road construction with industrial waste, as well as recycled secondary resources to improve the durability and quality of asphalt concrete based on them, crushed rocks, non-metallic stone materials.

Ivanov Sergey A. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Highways and Urban Cadastre, Construction Institute, Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo region, Kemerovo, Russia. Scientific interests: modification of organic binders for road construction with industrial waste, as well as recycling secondary resources to improve the durability and quality of asphalt concrete based on them.

Статья поступила в редакцию 25.12.2024; одобрена после рецензирования 17.01.2025; принята к публикации 24.01.2025.

The article was submitted 25.12.2024; approved after reviewing 17.01.2025; accepted for publication 24.01.2025.