

УДК 625.856

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-180-191

*Д.А. ЯСТРЕМСКИЙ¹, Т.Н. АБАЙДУЛЛИНА¹, А.И. КУДЯКОВ²,**¹Тюменский индустриальный университет,**²Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА С КОМПЛЕКСНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ

Качественное и долговечное асфальтобетонное покрытие обеспечивает безопасное и комфортное движение транспорта, оптимальные логистические затраты, привлекательность территории для инвестирования в строительные объекты, а также развитие промышленности. При постоянно растущих нагрузках на покрытие автомобильных дорог возникает необходимость повышения качества асфальтобетона путем введения в смесь модифицирующих добавок, совершенствования методики проектирования, научного обоснования выбора и подготовки сырьевых материалов. В настоящей работе предложен алгоритм проектирования состава щебеночно-мастичного асфальтобетона с новой, разработанной авторами, стабилизирующей добавкой, включающей 90 % целлюлозных волокон из макулатуры, 5 % резинового порошка и 5 % битума. Разработан оптимальный гранулометрический состав минеральной составляющей щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЦМА-20, включающей 73 % щебня из фракций 15–20, 10–15 и 5–10 мм, 16 % доломитового песка из отсева дробления, 11 % минерального порошка, а также 0,4 % разработанной комплексной стабилизирующей добавки и 5,5 % битума. Образцы разработанного состава ЦМА-20 обладают пределом прочности на сжатие в 2,3 раза выше, чем установлено требованиями к ЦМА-20 в ГОСТ 31015–2002 для II дорожно-климатической зоны. Результаты исследований подтвердились опытно-промышленными испытаниями при устройстве покрытия автомобильной дороги в г. Тюмени.

Ключевые слова: асфальтобетон; состав; стабилизирующая добавка; свойства; проектирование.

Для цитирования: Ястремский Д.А., Абайдуллина Т.Н., Кудяков А.И. Исследование щебеночно-мастичного асфальтобетона с комплексной целлюлозосодержащей добавкой // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 5. С. 180–191.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-180-191

*D.A. YASTREMSKIY¹, T.N. ABAYDULLINA¹, A.I. KUDYKOV²,**¹Tyumen State Oil And Gas University,**²Tomsk State University of Architecture and Building*

CRUSHED-STONE AND MASTIC ASPHALT WITH CELLULOSE CONTAINING ADDITIVE

High-quality and durable asphalt pavement ensures safe and comfortable traffic, optimal logistics costs, territory attractiveness to construction investments, and industrial development. With constantly increasing loads on road pavements, it is necessary to improve the asphalt quality by introducing additives into the mixture, design methodology, scientific justification for the selection and preparation of raw materials. The paper proposes the development algorithm of crushed-stone and mastic asphalt modified by the new stabilizing additive, which consists of 90 % of cellulose fiber from waste paper, 5 % rubber powder, and 5 % bitumen. The optimal particle size distribution of the mineral component in the crushed-stone and mastic asphalt is consid-

ered to be 73% of crushed stone with fractions of 15–20, 10–15 and 5–10 mm, 16 % of dolomite sand from crushing screenings, 11 % of mineral powder, 0.4 % of stabilizing additive and 5.5 % of bitumen. The compressive strength of the developed composition is 2.3 times higher than that meeting the requirements of GOST 31015–2002 for the climatic zone II. The research results are confirmed by pilot-industrial tests in constructing the road pavement in Tyumen.

Keywords: asphalt concrete; composition; stabilizing additive; properties; design.

For citation: Yastremskiy D.A., Abaydullina T.N., Kudykov A.I. Issledovanie shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona s kompleksnoi tsellyulozosoderzhashchei dobavkoi [Crushed-stone and mastic asphalt with cellulose containing additive]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 5. Pp. 180–191. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-180-191

Введение

Современные дорожные покрытия должны обеспечивать повышенную сдвигоустойчивость при высоких температурах в летнее время, трещиностойкость – при пониженных температурах в зимних условиях и высокую коррозионную стойкость – при воздействии противогололедных смесей. Существенная роль в оценке долговечности дорожных покрытий отводится износостойкости, т. е. способности асфальтобетона противостоять интегральному воздействию движения транспорта при повышенных скоростях, шипованной резины и других факторов [1, 2].

Постепенное разрушение материала обычно начинается с наружных, поверхностных слоев и выражается в необратимых изменениях сплошности материала. Линейные изменения приводят к необратимым объемным деформациям и общим изменениям свойств материала, быстрому разрушению за счёт постоянно пульсирующих напряжений и смены климатических условий. Все это сопровождается появлением и развитием остаточных деформаций [3–6].

Увеличение нагрузки от большегрузных автомобилей и интенсивности движения на автомобильных дорогах в сочетании с климатическими температурными градиентами интенсифицирует развитие дефектов и микротрещин при циклически повторяющихся напряжениях. Прорастание микротрещин ускоряется по мере увеличения деформаций от многократного повторения нагрузки и завершается разрушением материала.

Для решения данной проблемы на дорогах с высокой интенсивностью и скоростью движения используют щебеночно-мастичные асфальтобетоны (ЩМА). В сравнении с асфальтобетонными смесями, приготовленными по ГОСТ 9128–2013, ЩМА имеет повышенное содержание щебня (60–80 %) и битума (5,5–7,5 %), что позволяет сформировать прочный каркас, определяющий высокую сдвигоустойчивость и износостойкость покрытия [7–13]. Существенным отличием ЩМА от других видов асфальтобетона является наличие в его составе стабилизирующих добавок, которые повышают устойчивость к стеканию битума, расслоению при транспортировании и краткосрочном хранении, а также при укладке смеси в покрытие. Несмотря на многообразие изготавливаемых и используемых стабилизирующих добавок, выделить универсальную добавку, оказывающую комплексный положительный эффект на большинство физико-механических показателей качества ЩМА,

достаточно сложно. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на разработку эффективных комплексных стабилизирующих добавок, при использовании которых существенно повышаются параметры качества ЩМА, и методов проектирования таких составов.

Для получения долговечного асфальтобетона с модифицирующими добавками большое внимание уделяется проектированию его состава с учетом научного обоснования выбора и качества компонентов (в том числе и добавки), а также климатических и эксплуатационных условий.

Известны следующие принципы проектирования состава:

- по объему воздушных пор и минимальному количеству битумного вяжущего в образцах, уплотненных по Проктору (метод Хаббарда-Филда);
- по прочностным показателям лабораторных образцов, испытываемых на приборах Хвима, Смита и др.;
- по остаточной пористости образцов, уплотненных и испытанных на приборах Маршалла;
- по асфальтовому вяжущему веществу (метод проф. П.В. Сахарова);
- по растворной части;
- по предельным кривым плотных смесей (метод проф. Н.Н. Иванова, Союздорнии);
- по удельной поверхности и модулю насыщенности смеси вяжущим веществом (метод М. Дюрье);
- по заданным эксплуатационным условиям работы покрытия (метод проф. И.А. Рыбьева).

При многообразии перечисленных выше методов неизменными остаются основные принципы проектирования смеси, ориентированные на обеспечение требуемых эксплуатационных свойств асфальтобетона и долговечность дорожных покрытий [7–14]. По способам достижения требуемых параметров качества при проектировании состава асфальтобетонных смесей можно выделить два направления:

1. Проектирование асфальтобетонных смесей с непрерывной гранулометрией минеральной части (по типу Макадам), что обеспечивает устойчивость покрытий за счет расклинивания крупных зерен щебня более мелкими. В таких смесях обеспечивается хорошая удобоукладываемость, а также повышенная шероховатость и сдвигоустойчивость покрытия [9, 10]. Кривая зернового состава минеральной части таких смесей обычно соответствует кубической параболе. Покрытие из уплотненной смеси, как правило, характеризуется открытой пористостью, поэтому в этих смесях необходимо применять битумы, устойчивые к старению и обладающие хорошим сцеплением с поверхностью минеральных зерен.

2. Проектирование состава асфальтобетонных смесей по критерию достижения максимальной плотности минеральной части и бетона. В этих смесях допускается применять заполнители с прерывистой гранулометрией и окатанной формой зерен. При уплотнении таких смесей достигается замкнутая пористость асфальтобетона, что обеспечивает более высокую водо- и морозостойкость покрытия. Однако смеси с прерывистой гранулометрией минеральной части склонны к сегрегации [10, 15, 16]. Они более восприимчивы к колебани-

ям содержания минерального порошка и битума, что негативно отражается на однородности физико-механических показателей качества асфальтобетона и обеспечении требований ГОСТ 31015–2002. Поэтому при проектировании состава ЩМА необходимо вводить стабилизирующие добавки.

Цель исследования – разработать состав щебеночно-мастичного асфальтобетона высокого качества с комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавкой.

Материалы и методы исследований

При проведении исследований применялись:

– В качестве крупного заполнителя щебень фракции 5–10, 10–15 и 15–20 мм из горной породы габбро карьера ОАО «Ураласбест» Свердловской области, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31015–2002. Свойства фракций щебня приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства щебня

Наименование показателей	Фактические значения		
	15–20	10–15	5–10
1. Размер фракции, мм	15–20	10–15	5–10
2. Истинная плотность, г/см ³	2,72	2,72	2,72
3. Насыпная плотность, кг/м ³	1400	1400	1390
4. Марка по прочности	1400	1400	1400
5. Потеря массы при испытании на дробимость, %	9,6	7,8	0,4
6. Марка по истираемости	И1	И1	И1
7. Содержание зёрен пластинчатой и игловатой формы, %	6,3	8,7	5,0
8. Марка по морозостойкости	F300	F300	F400
9. Содержание пылеватых и глинистых частиц, %	0,9	0,9	0,51
10. Содержание зёрен слабых пород, %	2,5	2,5	4,8
11. Сцепление с органическим вяжущим	4 балла	5 баллов	5 баллов
12. Содержание естественных радионуклидов, Бк/кг	37,1	37,1	37,1

– В качестве мелкого заполнителя песок из отсевов дробления доломита ООО ПФК «Неруд Инвест» карьера г. Сатка Челябинской области, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31424–2010 и ГОСТ 31015–2002. Свойства песка из отсевов дробления приведены в табл. 2 и 3.

– Активированный минеральный известняковый порошок производства ООО «Прогресс», пос. Вересковый, г. Невьянск, Свердловская область. Свойства минерального порошка представлены в табл. 4.

– В качестве вяжущего вязкий нефтяной битум марки БНД 90/130 Омского НПЗ АО «Газпромнефть». Характеристика битума приведена в табл. 5.

Таблица 2

Зерновой состав песка из отсевов дробления

Наименование остатка	Остатки на ситах, мм							
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Полные остатки, % по массе	0	2,5	27,2	45,1	58,6	73,3	85,5	90,8
Полные проходы, % по массе	100	97,5	72,8	54,9	41,4	26,7	14,5	9,2

Таблица 3

Свойства песка из отсевов дробления

Наименование показателя	Требования ГОСТ 31424–2010	Фактические значения
1. Модуль крупности	От 2,5 до 3,0	3,0 (крупный)
2. Полный остаток на сите 0,63 мм, % по массе	Класс песка 2, св. 45 до 65	64,6
3. Содержание зёрен размером св. 5 мм, по массе	Не более 12	2,4
4. Содержание зёрен размером свыше 0,16 мм, по массе	Не более 15	19,6
5. Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	Не более 10	9,8
6. Содержание глины в комках, % по массе	Не более 2	Нет
7. Истинная плотность, г/м ³	От 2,0 до 2,8	2,86
8. Насыпная плотность, г/см ³	Не нормируется	1560
9. Содержание зёрен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, %	Группа 2, от 15 до 25	22,2
10. Марка по дробимости песка (по дробимости щебня фракции от 5 до 10 мм)	Не ниже 1000	1200
11. Содержание естественных радионуклидов, Бк/кг	Не более 370	257

Таблица 4

Основные свойства минерального порошка

Наименование показателей	Требования ГОСТ Р 52129–2003	Результаты испытаний
1. Содержание частиц, %, размером: мельче 1,25 мм 0,315 мм 0,071 мм	Не менее 100 Не менее 90 Не менее 80	100 99 82

Окончание табл. 4

Наименование показателей	Требования ГОСТ Р 52129–2003	Результаты испытаний
2. Гидрофобность	Выдерживает	Выдерживает
3. Пористость, %, не более	30	26,4
4. Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %, не более	1,8	1,2
5. Содержание полуторных окислов (Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃), %, не более	5,0	1,5
6. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг	До 740	65,0

Таблица 5

Свойства вязкого нефтяного битума марки БНД 90/130

Показатель	Требования ГОСТ 22245–90	Фактические значения
1. Глубина проникания иглы при 25 °С, мм	91–130	121
2. Глубина проникания иглы при 0 °С, мм	Не менее 28	40
3. Температура размягчения по кольцу и шару, °С	Не ниже 43	45,1
4. Растяжимость при 25 °С, см	Не менее 65	98
5. Растяжимость при 0 °С, см	Не менее 4,0	4,5
6. Температура хрупкости, °С	Не выше –17	–28
7. Температура вспышки, °С	Не ниже 230	272
8. Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	Не более 5	5
9. Индекс пенетрации	В пределах от –1,0 до +1,0	–0,4

– Комплексная целлюлозосодержащая стабилизирующая добавка (КЦСД), разработанная авторами. Добавка представляет собой цилиндрические гранулы темно-коричневого цвета с длиной 5–10 мм и толщиной 5 мм. Добавка изготавливается из макулатуры группы А или группы Б по ГОСТ 10700–97 и состоит из целлюлозных нитей длиной 0,8–2 мм, резиновой крошки дисперсностью 0,5 мм и нефтяного битума марки БНД 90/130. Гранулы распадаются на отдельные составляющие при приготовлении асфальтобетонной смеси. Физико-механические свойства комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки приведены в табл. 6. Геометрические параметры волокон в добавке и их адсорбционная способность представлены авторами в работах [17–20].

Испытание сырьевых компонентов осуществлялось в соответствии с требованиями национальных стандартов: заполнителя – ГОСТ 31015–2002, ГОСТ 31424–2010; минерального порошка – ГОСТ 52129–2003, битума – ГОСТ 11501–78, ГОСТ 11505–75, ГОСТ 11506–73, ГОСТ 11507–78,

ГОСТ 18180–72, ГОСТ 22245–90, комплексной стабилизирующей добавки – ГОСТ 31015–2002.

Таблица 6

**Физико-механические свойства комплексной
целлюлозосодержащей добавки**

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя	Требования ГОСТ 31015–2002
1. Влажность	%	4,6	Не более 8,0
2. Термостойкость	%	4,6	Не более 7,0
3. Содержание волокон длиной от 0,1 до 2,0	%	90	Не менее 80

Приготовление щебеночно-мастичного асфальтобетона осуществлялось в лабораторных смесителях, формование образцов цилиндров проводилось вибрированием с последующим прессованием. Испытание образцов цилиндров из ЩМА с комплексной стабилизирующей добавкой проводилось на аттестованном гидравлическом прессе по ГОСТ 12801–98.

Результаты исследований

Исследования проводились применительно к наиболее востребованной в строительстве автомобильных дорог марке щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА-20. На основании результатов анализа существующих способов принята последовательность проектирования ЩМА-20 с разработанной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавкой для устройства покрытий автомобильных дорог высокого качества с использованием принципов обеспечения оптимального зернового состава и содержания битума с добавкой в смеси. Проектирование состава ЩМА-20 осуществлялось применительно ко II дорожно-климатической зоне в такой последовательности:

- 1) обоснование выбора и оценка качества исходных материалов;
- 2) расчет гранулометрического состава асфальтобетонной смеси по предельным кривым плотных смесей;
- 3) определение оптимального содержания битума по остаточной пористости и пустотности минерального каркаса;
- 4) приготовление асфальтобетонной смеси и изготовление стандартных образцов;
- 5) определение физико-механических характеристик асфальтобетона.

Для проектирования и изготовления ЩМА-20 выбраны фракции заполнителя, обладающие высокой прочностью, хорошей формой зерен и отсутствием загрязняющих примесей, которые широко используются в технологиях производства смесей и строительстве автомобильных дорог в Тюменской области.

С использованием метода Союздорнии по критериям достижения предельных кривых плотных смесей рассчитаны 3 варианта зерновых составов ЩМА (табл. 7).

Гранулометрические составы ЩМА приведены в табл. 7.

Таблица 7

Гранулометрический состав исследуемых составов ЩМА

№ состава	Содержание зерен, %, меньше указанного размера, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,31	0,16	0,07
1	96,3	57,5	39,2	27,2	22,9	19,8	17,6	15,2	12,6	10,6
2	90,5	51,3	29,1	21,2	16,2	14,1	12,2	10,2	9,1	9,0
3	99,1	68,2	41,1	28,3	24,2	22,9	20,1	17,8	14,3	12,2
По ГОСТ 31015–2002	100–90	70–50	42–25	30–20	25–15	24–13	21–11	19–9	15–8	13–8

Критериями правильности подбора зернового состава являются следующие условия:

1) кривая зернового состава асфальтобетонной смеси должна вписываться в предельную область по ГОСТ 31015–2002;

2) остаточная пористость асфальтобетона и пустотность минерального остова должны соответствовать требованиям ГОСТ 31015–2002.

Установленные соотношения между фракциями в смеси приведены в табл. 8.

Таблица 8

Составы минеральной части щебеночно-мастичного асфальтобетона

Наименование материала	Доля в смеси, % по массе		
	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Щебень фр. 15–20 мм	45	42	48
Щебень фр. 10–15 мм	18	20	16
Щебень фр. 5–10 мм	10	11	11
Песок из отсевов дробления	16	15	14
Минеральный порошок	11	12	11
Итого	100	100	100

Оптимальное количество битума определялось по результатам испытаний образцов из асфальтобетонной смеси с рассчитанным количеством битума, а также на 0,5 % больше и меньше рассчитанного. Содержание комплексной целлюлозосодержащей стабилизирующей добавки было принято для всех составов щебеночно-мастичного асфальтобетона равным 0,4 % от массы смеси. Данные по оптимизации содержания добавки представлены в работе [19]. Из приготовленных смесей изготавливались стандартные образцы, а результаты испытаний стекания битума, водонасыщения и прочности на сжатие асфальтобетона при 50 °С приведены в табл. 9.

По результатам анализа полученных экспериментальных данных (табл. 9) установлено, что наибольшим пределом прочности при сжатии ($R_{сж}^{50}$) при благоприятных показателях водопоглощения по объему и показателю стекания битума обладает состав 1. Гранулометрический состав минеральной

части оптимального состава ЩМА-20 находится внутри области, рекомендуемой ГОСТ 31015–2012, и представлен на рисунке.

Таблица 9

**Результаты испытаний образцов из ЩМА-20
с различным содержанием битума**

№ образца	Состав	Содержание битума, %	Физико-механические показатели ЩМА-20		
			Стекание, %	W, %	R _{сж} ⁵⁰ , МПа
1	1	5,0	0,07	2,1	1,5
2		5,5	0,12	1,6	1,7
3		6,0	0,20	1,7	1,6
4	2	5,0	0,06	3,2	1,3
5		5,5	0,16	2,9	1,2
6		6,0	0,23	0,9	0,8
7	3	5,0	0,10	3,9	1,1
8		5,5	0,19	3,1	1,2
9		6,0	0,28	1,0	0,9

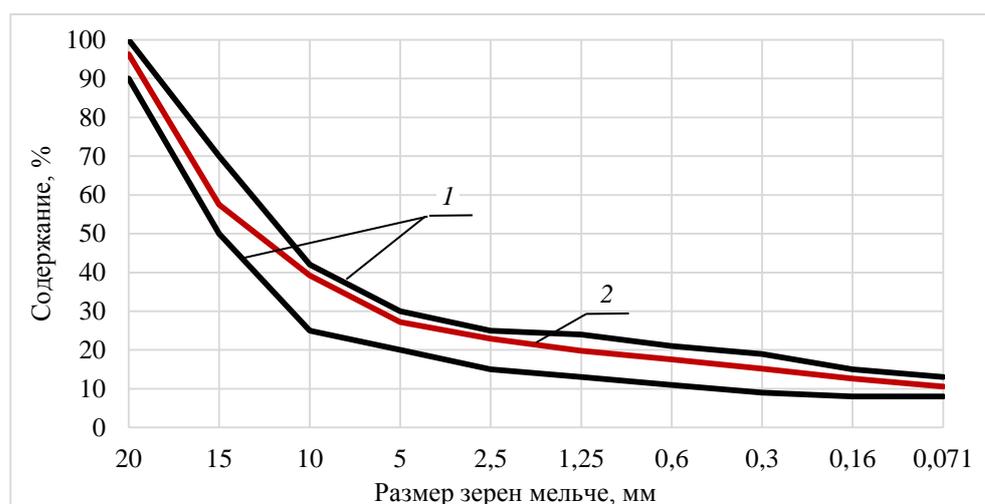


График оптимального гранулометрического состава минеральной части щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА-20:

1 – область зернового состава по ГОСТ 31015–2002; 2 – график зернового состава исследуемой смеси

Таким образом, оптимальный состав ЩМА-20 с целлюлозосодержащей стабилизирующей добавкой, разработанный по предложенному алгоритму, состоит из щебня фракции 15–20 мм – 45 %, фракции 10–15 – 18 %, фракции 5–10 мм – 10 %, песка из отсева дробления доломита 16 % и минерального по-

рошка – 11 %. Содержание битума – 5,5 % и стабилизирующей добавки – 0,4 % сверх 100 %. Разработанный состав ЩМА-20 с целлюлозосодержащей добавкой был рекомендован к внедрению и прошел опытно-промышленные испытания при реконструкции участка автомобильной дороги Тюмень – Боровский – Богандинский» вблизи Тюмени. Результаты исследований по качеству ЩМА-20 в покрытии автомобильной дороги полностью подтвердились.

Выводы

1. Для щебеночно-мастичной смеси ЩМА-20, с новой разработанной авторами целлюлозно-содержащей добавкой, предложен алгоритм проектирования, основными принципами которого являются обеспечение зернового состава минеральной части с максимально плотной упаковкой и оптимальное содержание битума со стабилизирующей добавкой.

2. Разработанный состав щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА-20 с целлюлозосодержащей добавкой обладает пределом прочности при сжатии при температуре 50 °С – 1,6 МПа, что в 2,3 раза выше рекомендуемой ГОСТ 3105–2002 для II дорожно-климатической зоны.

3. Полученные результаты исследований щебеночно-мастичного асфальтобетона с разработанной стабилизирующей добавкой подтвердились опытно-промышленными испытаниями при строительстве автомобильной дороги Тюмень – Боровский – Богатинский около Тюмени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васильев Ю.Э.* Методологические основы автоматизации процессов промышленного производства сероасфальтобетонных смесей с оптимизацией компонентов минеральной части по гранулометрическому составу : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2012. 40 с.
2. *Кудяков А.И., Эфа А.К., Трофимов И.Н., Базилевич А.Л.* Новые подходы в нормировании свойств компонентов и технологии приготовления асфальтобетонов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2009. № 1 (48). С. 18–21.
3. *Дорожный асфальтобетон* / Л.Б. Гезенцевей [и др.]. Москва : Транспорт, 1985. 350 с.
4. *Гезенцевей Л.Б.* Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. Москва : Стройиздат, 1971. 225 с.
5. *Богуславский А.М., Богуславский Л.А.* Основы реологии асфальтобетона. Москва : Высшая школа, 1972. 200 с.
6. *Богуславский А.М., Ефремов Л.Г.* Асфальтобетонные покрытия. Москва : МАДИ, 1981. 146 с.
7. *Костин В.И.* Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий. Нижний Новгород : ИГАСУ, 2009. 67 с.
8. *Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А.* Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. Москва : Элит, 2009. 176 с.
9. *Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А.* Строительство дорожных и аэродромных покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей // Автомобильные дороги и мосты : обзорн. информ. Вып. 2. Москва : Информавтодор, 2003. 96 с.
10. *Veena K.S., Bindu C.S.* Influence of additives on the characteristics of stone matrix asphalt / School of Engineering, Cochin University of Science and Technology. 2012. 199 p.
11. *Asphalt* // Taschenkalender: BGA. Bonn, 2003. 84 p.
12. *Splittmastixasphalt: Leitfaden* / Dr.-Ing. K.H. Kolb [und and.] ; Deutscher Asphaltverband (DAV). 2000. 27 s.
13. *Кудяков А.И., Смирнов А.Г., Петров Г.Г., Душенин Н.П.* Проектирование и использование заполнителей с оптимальной межзерновой пустотностью // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1987. № 7. С. 135–138.

14. Иванов Н.Н. Выбор типа и способа подбора асфальтобетона // Доклады по вопросам строительства черных дорог. Москва ; Ленинград : ОГИЗ Гострансиздат, 1932.
15. *Aquide to the structural design of bituminous-surfaced roads in tropical and subtropical countries: Road Note 31* // HMSO. London, 1977.
16. Базилевич А.Л., Кудяков А.И. Температурная сегрегация асфальтобетонных смесей при строительстве дорожных покрытий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 1. С. 116–122.
17. Ястремский Д.А., Чепур П.В., Абайдуллина Т.Н. Определение микроструктуры стабилизирующей целлюлозно-бумажной добавки «АРМИДОН» на растровом электронном микроскопе JSM-6510 LV // Фундаментальные исследования. 2016. № 9. С. 96–101.
18. 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. № 4. С. 63–70.
19. Ястремский Д.А., Абайдуллина Т.Н., Кудяков А.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон со стабилизирующей целлюлозосодержащей добавкой // Современные наукоёмкие технологии. 2019. № 2. С. 307–310.
20. Yastremsky D., Chepur P., Abaidullina T. Microstructure of the pulp and paper additives for stone-mastic asphalt concrete // AIP Conference Proceedings. 2017. V. 1800. Articlenumber 020002. Electronic resource. URL : <https://doi.org/10.1063/1.4973018>.

REFERENCES

1. Vasiliev Yu.E. Metodologicheskie osnovy avtomatizatsii protsessov promyshlennogo proizvodstva seroasfal'tobetonnykh smesei s optimizatsiei komponentov mineral'noi chasti po granulometricheskomu sostavu : avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk [Methodological bases of automated industrial production of sulfur-asphalt-concrete mixtures with mineral granulometric composition. DSc Abstract]. Moscow, 2012. 40 p. (rus)
2. Kudyakov A.I., Efa A.K., Trofimov I.N., Bazilevich A.L. Novye podkhody v normirovanii svoystv komponentov i tekhnologii prigotovlenii asfal'tobetonov [New approaches in normalizing properties of components and asphalt concrete technology]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*. 2009. No. 1 (48) Pp. 18–21. (rus)
3. Gezenzvey L.B., et al. Dorozhnyi asfal'tobeton [Road asphalt concrete]. Moscow: Transport, 1985. 350 p. (rus)
4. Gezenzvey L.B. Asfal'tovyi beton iz aktivirovannykh mineral'nykh materialov [Asphalt concrete from activated mineral materials]. Moscow: Stroizdat, 1971. 225 p. (rus)
5. Boguslavsky A.M., Boguslavsky L.A. Osnovy reologii asfal'tobetona [Basics of asphalt concrete rheology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1972. 200 p. (rus)
6. Boguslavsky A.M., Efremov L.G. Asfal'tobetonnye pokrytiya [Asphalt concrete pavements]. Moscow: MADI, 1981. 146 p. (rus)
7. Kostin V.I. Shchebenochno-mastichnyi asfal'tobeton dlya dorozhnykh pokrytii [Stone-mastic asphalt for road pavements]. Nizhny Novgorod: NGASU, 2009 67 p. (rus)
8. Kiryukhin G.N., Smirnov E.A. Pokrytiya iz shchebenochno-mastichnogo asfal'tobeton [Coatings of stone mastic asphalt]. Moscow: Elit, 2009. 176 p. (rus)
9. Kiryukhin G.N., Smirnov E.A. Stroitel'stvo dorozhnykh i aerodromnykh pokrytii iz shchebenochno-mastichnykh asfal'tobetonnykh smesei [Construction of road and airfield pavements made of stone-mastic asphalt]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty*. 2003. V. 2. 96 p. (rus)
10. Beena K.S., Bindu C.S. Influence of the stone matrix asphalt. School of Engineering, Cochin University of Science and Technology. 2012. 199 p.
11. *Asphalt*. Taschenkalender. Bonn: BGA. 2003. 84 p.
12. Kolb K.H., et al. Splittmastixasphalt: Leitfaden. Deutscher Asphaltverband (DAV). 2000. 27 p.
13. Kudyakov A.I., Smirnov A.G., Petrov G.G. Proektirovanie i ispol'zovanie zapolnitelei s optimal'noi mezhzernovoi pustotnost'yu [Aggregates with optimal intergranular hollowness]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1987. No. 7. Pp. 135–138. (rus)
14. Ivanov N.N. Vybor tipa i sposoba podbora asfal'tobetona [Selection of asphalt concrete type]. Doklady po voprosam stroitel'stva chernykh dorog. Moscow, Leningrad: OGIZ Gostransizdat, 1932. (rus)

15. *A guide to the structural design of bituminous-surfaced roads in tropical and subtropical countries*: Road Note 31. London: HMSO. 1977.
16. *Bazilevich A.L., Kudyakov A.I.* Temperaturnaya segregatsiya asfal'tobetonnykh smesei pri stroitel'stve dorozhnykh pokrytii [Segregation temperature of asphalt mixes in road pavement construction]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2009. No. 1. Pp. 116–122. (rus)
17. *Yastremsky P.V., Chepur T.N., Abaidullina* [Microstructure of stabilizing cellulose-paper additive “ARMIDON” studied on a JSM-6510 LV raster electron microscope]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016. No. 9. Pp. 96–101. (rus)
18. *Yastremsky D.A., Abaidullina T.N., Zimakova G.A.* Issledovanie vliyaniya stabiliziruyushchikh dobavok na svoistva bituma v ShchMA [Stabilizing additive effect on bitumen properties]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018. No. 4. Pp. 63–70. (rus)
19. *Yastremsky D.A., Abaidullina T.N., Kudyakov A.I.* Shchebenochno-mastichnyi asfal'tobeton so stabiliziruyushchei tsellyulozoderzhashchei dobavkoi [Crushed-stone and mastic asphalt with stabilizing cellulose additive]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2019. No. 2. Pp. 307–310. (rus)
20. *Yastremsky D., Chepur P., Abaidullina T.* Microstructure of the pulp and paper additives for stone-mastic asphalt concrete. *AIP Conference Proceedings*. 2017. V. 1800.

Сведения об авторах

Ястремский Дмитрий Андреевич, аспирант, специалист кафедры строительных материалов, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, Володарского, 38, yaster.dmitry@yandex.ru

Абайдуллина Татьяна Николаевна, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, Володарского, 38, tn28@mail.ru

Кудяков Александр Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, по. Соляная, 2, kudyakov@tsuab.ru

Authors Details

Dmitry A. Yastremsky, Research Assistant, Department of Building Materials, Tyumen State Oil and Gas University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, yaster.dmitry@yandex.ru

Tatyana N. Abaydullina, PhD, A/Professor, Tyumen State Oil and Gas University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, tn28@mail.ru

Aleksandr I. Kudyakov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kudyakov@tsuab.ru