

УДК 625.855.3

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО С
ДОБАВКОЙ КРОВЕЛЬНОЙ КРОШКИ И ПРЯМОГОННОГО
ГУДРОНА**

**OPTIMIZATION OF COMPOSITION OF BITUMEN BINDER WITH
ADDITION OF ROOFING CRUMB AND STRAIGHT-TAR**

Асадуллина З. У., Яковлев В. В.

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация**

Z. U. Asadullina, V. V. Yakovlev

**FSBEI NPE “Ufa State Petroleum Technological University”,
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: zarema.asadullina@mail.ru

Аннотация. При ремонте мягких кровель с крыш приходится снимать накопившиеся за время эксплуатации ковры, состоящие нередко из десяти и более слоев рубероида. Утилизация таких отходов представляет собой серьезную проблему. Одним из путей практически полной утилизации отходов ремонта может быть производство асфальтобетонных смесей в соответствии с ГОСТ 9128-2013.

Спланирован и проведен двухфакторный эксперимент, с целью определения оптимального соотношения кровельной крошки и прямогонного гудрона в вяжущем, и время перемешивания компонентов. По данным экспериментов построены аналитические зависимости изменения прочности асфальтобетона и вычислены уравнения регрессии.

Для получения требуемых прочностных показателей асфальтобетона достаточно трех минут перемешивания в лабораторных условиях, а соотношение битумной крошки и гудрона 40/60 является оптимальным.

Для проверки физико-механических показателей асфальтобетона были изготовлены две серии образцов мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки III. Минеральная часть асфальтобетонных смесей была одинакова. Для контрольной серии использовался стандартный битум БНД90/130. Для опытной серии – вяжущее было приготовлено с добавкой из отходов ремонта мягких кровель.

Асфальтобетон на вяжущем, полученный из битумосодержащих отходов, удовлетворяет требованиям стандарта по показателям прочности при 0; 20 и 50 °С.

До проведения длительных натурных испытаний асфальтобетона на вяжущем из отходов ремонта мягких кровель можно рекомендовать для покрытия автомобильных дорог III и IV категории. А для дорог более высоких категорий они могут применяться для устройства слоев основания.

Abstract. In the repair of soft roofs it is necessary to remove accumulated carpets from roofs, consist of ten or more layers of roofing material. Utilization of these wastes is a serious problem. One of the ways is almost a complete waste of repair can be the production of asphalt mixes in accordance with GOST 9128-2013.

Two-factor experiment was planned and carried out. The purpose of this experiment was to select the optimum number of roofing crumb in the binder and the time of the preparation of road concrete mix. Dependences of properties of asphalt concrete from the studied factors were obtained and plotted.

Required strength properties of asphalt concrete are obtained under three minutes mixing in the laboratory. The optimum number of roofing crumb in the binder 40/60 is the optimum.

Two series of samples of fine-grained asphalt concrete type B mark III were made for checking the physical and mechanical properties of asphalt concrete.

Mineral part of asphalt concrete mixtures was the same. Standard bitumen BND 90/130 was used for the control series. Binder of roofing waste was prepared for experimental series.

Asphalt concrete, which consist binder of roofing waste, meets the requirements of the standard in terms of strength at 0, 20 and 50 °C.

Before conducting long term field trials asphalt concrete of binder with the addition of waste of soft roofs can be recommended for roads III and IV categories, and for base layers of roads higher categories.

Ключевые слова: асфальтобетонные смеси, время перемешивания, двухфакторный эксперимент, кровельные отходы, переработка битумосодержащих отходов, утилизация.

Key words: asphalt mixtures, time of mixing, two-factor experiment, roofing waste, recycling of bitumen waste, utilization.

В России до 1995 г. строительные отходы практически не утилизировались. Основная их масса распределялась по полигонам хранения отходов. Ситуация коренным образом начала меняться последние 15-20 лет. Объем строительных отходов начал стремительно увеличиваться с 1994 г. в связи с подъемом строительной отрасли. Так, например, в 2003 г. только по коммерческим заказам было получено примерно 2 млн 51 тыс. т отходов строительства и сноса, из них отходов битумно-кровельных материалов – 195, 62 тыс. т [1].

В целях уменьшения вредного воздействия отходов на окружающую среду и повышения эффективности сбора и последующей переработки битумно-содержащих отходов разрабатывались нормативные документы на федеральном и региональных уровнях. Правительством г. Москвы было подписано распоряжение № 2274-РП от 14.11.2005 г. «О развитии городской системы сбора и промышленной переработки отходов битумно-кровельных материалов», в котором были определены

мероприятия по организации производства товарной продукции на основе переработки отходов битумно-кровельных материалов. Мероприятия, разработанные для исполнения указанного ранее распоряжения, должны обеспечить только в Московском регионе сбор битумно-содержащих отходов до 30 тыс. т в год.

В 2012 г. была утверждена долгосрочная целевая программа «Утилизация и обезвреживание отходов производства и потребления в московской области на 2012-2020 годы». Целью программы является обеспечение экологической безопасности и предотвращение вредного воздействия отходов производства и потребления на окружающую среду и здоровье человека, вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья в интересах устойчивого развития Московской области.

По окончании реализации данной программы должно быть обезврежено и переработано до 65% от общего объема отходов, образовавшихся в Московской области в процессе производства и потребления. Построено одиннадцать мусороперерабатывающих и четыре мусоросортировочных комплекса, четыре мусороперегрузочных станции; увеличено количество муниципальных районов и городских округов, охваченных общественными мероприятиями в сфере безопасного обращения с отходами.

Проблема утилизации мягких кровель актуальна практически для всех городов страны: в течение многих десятилетий они использовались в массовом жилищном и промышленном строительстве. И сегодня все эти миллионы квадратных метров кровель, сделанных на основе рубероида, постоянно нуждаются в ремонте. Этот ремонт нельзя отложить, перенести на лучшие времена – протекающая крыша создает условия, неприемлемые для пользования зданием, будь то жилье или промышленный корпус [2].

При ремонте с крыш приходится снимать накопившиеся за время эксплуатации ковры, состоящие нередко из 10 и более слоев рубероида.

Утилизация таких отходов представляет собой серьезную проблему. Объем накопленных отходов, содержащих битумные компоненты, на сегодняшний день уже составляет сотни тысяч тонн и постоянно растет. Обычно получающиеся при капитальном ремонте кровель отходы вывозятся на городские свалки или полигоны твердых бытовых отходов, а иногда и просто закапываются в грунт на строительных площадках. При этом загрязняются обширные земельные территории, которые могли бы быть использованы более рационально. Полное разложение таких отходов при захоронении происходит в течение нескольких десятков и сотен лет. Поэтому утилизация их является не только экономической, но и важной экологической задачей.

Существуют разработанные комплекты оборудования и технологические карты на переработку отходов битумосодержащих кровельных материалов. В состав работ по переработке входят: подготовительные работы, нарезка кусков кровельного ковра на куски меньшего размера, загрузка их в установку и размельчение, сортировка полученного материала [3].

В результате механической переработки отходов кровельных материалов получается битумный порошок, состоящий из битумной крошки и мелкого минерального наполнителя. Определение количества и состава механических примесей в битумном порошке проводилось по методике, приведенной в ГОСТ 6370-83. Испытания показали, что механические примеси в битумном порошке составляют 10...30%. Примеси состоят, как из минеральной части – мелкого песка, так и органической – бумажных волокон, получившихся в результате разрыва картонной основы рубероида [4].

Соотношение между органической и неорганической частями примеси будет изменяться для каждой новой партии отходов, поступающих на переработку, но общее их количество при данных условиях размельчения и сортировки не будет превышать 20...30% массы битумного порошка.

Проверка минеральной составляющей примесей соляной кислотой показала, что в битумном порошке содержится, как карбонатный, так и кварцевый песок. Гранулометрический состав примесей примерно соответствуют требованиям ГОСТ – Р 52129, предъявляемым к минеральному порошку для асфальтобетона [4].

Одним из путей практически полной утилизации отходов может быть производство асфальтобетонных смесей с гарантированным высоким качеством соответствии с ГОСТ 9128-2013. В этом случае битумный порошок будет использоваться полностью, т.к. в состав асфальтобетонной смеси, как правило, вводится наполнитель – минеральный порошок. Обычно смесь битума с минеральным порошком называется битумным вяжущим для асфальтобетонов.

Совместно с отделом лабораторного контроля Управления Дорожного хозяйства РБ ранее был разработан оптимальный состав битумного вяжущего с содержанием кровельной крошки 40-60%, определена температура приготовления асфальтобетонной смеси с добавлением битумного вяжущего из отходов ремонта мягких кровель, которая составила 165 °С [5].

С целью определения времени перемешивания и соотношения кровельной крошки и прямогонного гудрона в вяжущем был спланирован двухфакторный эксперимент [6]. Продолжительность перемешивания в лабораторном смесителе или вручную не нормируется, устанавливается опытным путем. Перемешивание считают законченным, если все минеральные зерна равномерно покрыты вяжущим и в готовой смеси нет его отдельных сгустков.

Если на основе этого битумного порошка будем готовить асфальтобетонную смесь, то удалять механические примеси не нужно, так как в смесь, все равно, добавляется минеральный порошок и нужно, лишь учитывать это при расчете количества минерального порошка в составе смеси. Целлюлозные волокна также не будут ухудшать свойства бетона, а

наоборот, будут стабилизировать, за счет дисперсного армирования, консистенцию смеси и предотвращать или уменьшать ее расслаивание [4]. Но при этом присутствие целлюлозных волокон из-за их большой удельной поверхности будет замедлять процесс смачивания вяжущим минеральных материалов и перемешивания асфальтобетонной смеси в целом.

Свойства вяжущего, адсорбированного на поверхности минерального заполнителя, отличаются от его свойств в объеме. Прежде всего, это проявляется в повышении вязкости адсорбированной пленки битума и уменьшении подвижности молекул битума за счет более сильного межмолекулярного взаимодействия с поверхностью заполнителя [7]. То есть доля вяжущего, находящегося в адсорбированном состоянии в асфальтобетонных смесях определяется содержанием целлюлозных волокон, имеющих очень развитую удельную поверхность. С повышением в смеси целлюлозных волокон и минеральных примесей смачивание значительно затрудняется и требуются большие затраты времени для полного и равномерного перемешивания.

В качестве варьируемых факторов были выбраны: «X1» – соотношение кровельной крошки/прямоугольного гудрона в вяжущем, % (40/60, 45/55, 50/50), «X2» – время перемешивания вяжущего с минеральными материалами, с (180, 360, 540). Откликами были приняты: «Y1» – предел прочности при сжатии при 50 °С (R50), МПа и «Y2» – предел прочности при сжатии при 0 °С (R0), МПа.

Для проведения эксперимента отходы ремонта кровельных ковров измельчались до размеров 2-5 мм, смешивались с нагретыми минеральными материалами при температуре 165 °С в течение определенного промежутка времени, затем добавлялся гудрон в заданном соотношении. Общее время перемешивания компонентов было принято за варьируемый фактор. Полученные образцы выдерживались в течение суток, затем испытывались для определения основных показателей асфальтобетона (таблица 1).

Таблица 1. Схема планирования двухфакторного эксперимента

№ эксперимента	Факторы	
	X1, с	X2, 0 °С
1	40/60	180
2	50/50	180
3	40/60	540
4	50/50	540
5	45/55	360
6	50/50	360
7	40/60	360
8	45/55	540
9	45/55	180

По данным эксперимента были построены графики (рисунок 1) и получены аналитические зависимости:

$$R_{50} = 0,406 - 0,1X_1 + 0,05X_2 - 0,045X_2^2$$

$$R_0 = 4,10 - 0,7X_1 + 0,183X_2 + 0,245X_2^2.$$

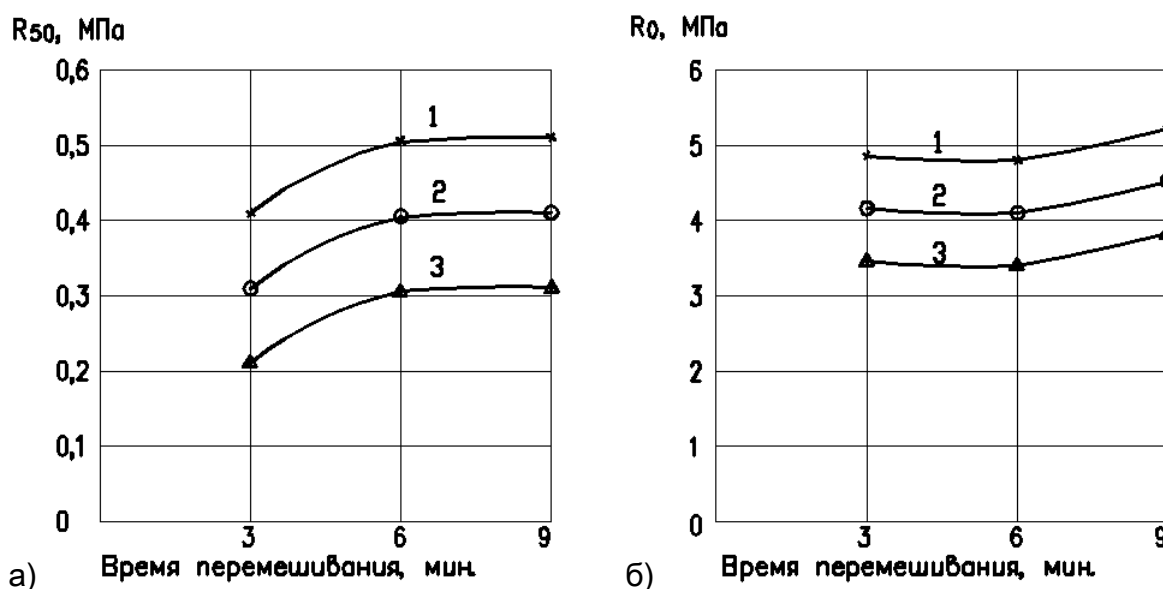


Рисунок 1. Изменение прочности асфальтобетона при температуре перемешивания 165 °С а) при 50 °С; б) при 0 °С: 1 – соотношение кровельной крошки/гудрона в вяжущем, % – 40/60; 2 – то же, 45/55; 3 – 50/50

В соответствии с полученными уравнениями регрессии, наибольшее влияние на результаты эксперимента оказывает процентное содержание битумной крошки и гудрона, а наименьшее – время перемешивания. Из анализа графиков следует, что для получения требуемых прочностных показателей достаточно трех минут перемешивания, а процентное соотношение битумной крошки и гудрона 40/60 наиболее оптимально.

Для оценки прочностных показателей асфальтобетона при одинаковом зерновом составе минеральной части асфальтобетона на стандартном битуме и битумном вяжущем из отходов были изготовлены две серии образцов мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки III. Минеральная часть асфальтобетонных смесей была одинакова. Для первой серии (контрольной) использовался битум БНД90/130 по ГОСТ 9128-2013. Для второй серии (опытной) вяжущее было приготовлено из битумного порошка, полученного из отходов рулонных кровельных ковров. Были получены следующие составы смесей (таблица 2).

Таблица 2. Состав асфальтобетонных смесей

Материал	Количество, % для смеси	
	Контрольная	Опытная
Щебень, фр. 5 - 20	18	18
Щебень, фр. 3-10	26	26
Отсев 0-5	56	56
Битум БНД 90/130	5	-
Прямогонный гудрон	-	4,2
Измельченный рубероид	-	2,8

Примечание: несколько меньшая масса материалов в контрольной смеси 105 против 107 единиц объясняется наличием в опытном составе волокон целлюлозы.

Испытания асфальтобетонных образцов проведены в соответствии с ГОСТ 9128-2013. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3. Свойства асфальтобетона тип Б, м. III на обычном вяжущем и на вяжущем из отходов ремонта мягких кровель

Наименование показателя	Ед. изм.	Величина показателей для асфальтобетона на вяжущем		Требования ГОСТ
		стандартном (битум БНД 90/130)	из отходов	
1.Средняя плотность	г/см ³	2,55	2,35	-
2.Водонасыщение	%	1,1	4,7	1,5...4,0
3. Предел прочности на сжатие при: 0 °С 20 °С 50 °С	МПа МПа МПа	10,7 4,3 1,5	6,0 3,8 0,9	не более 12 не менее 2,0 не менее 0,9
4.Предел прочности на растяжение при расколе	МПа	3,39	2,65	от 3 до 6,5
5.Коэффициент водостойкости		0,97	0,67	не менее 0,85
6.Коэффициент внутреннего трения		0,68	0,96	не менее 0,81
7.Сцепление при сдвиге	МПа	0,61	0,27	не менее 0,35

Из анализа полученных данных следует, что асфальтобетон на вяжущем, полученный из битумосодержащих отходов, удовлетворяет требованиям стандарта для асфальтобетона типа Б марки III по показателям прочности при 0 °С, 20 °С и при 50 °С. По сравнению с асфальтобетоном на стандартном битуме показатели водонасыщения и коэффициента водостойкости опытного асфальтобетона на вторичном вяжущем не удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128-2013. Водонасыщенный асфальтобетон менее прочен, поскольку вода, отслаивая пленку вяжущего от минеральных зерен, уменьшает склеенную поверхность, напряжение на единице площади склейки при неизменной нагрузке возрастает [8].

С учетом ранее проведенных исследований вяжущего с содержанием отходов ремонта мягких кровель [5] и данными исследованиями были построены графики зависимости прочности при сжатии при 20 °С и водонасыщения асфальтобетона в зависимости от содержания кровельной крошки и гудрона в битумном вяжущем. При содержании кровельной

крошки и гудрона в битумном вяжущем 40% и температуре перемешивания 165 и 180 °С, значение прочности асфальтобетона достигает максимальных значений (рисунок 2), показатель водонасыщения при этом варьируется от 4,5 до 5% (рисунок 3). Такие показатели водонасыщения не удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128-2013. Исходя из этого, до проведения длительных натурных испытаний, асфальтобетоны на вяжущем из отходов ремонта мягких кровель можно рекомендовать для покрытий автомобильных дорог низших категорий или для устройства оснований I и II категории дорог.

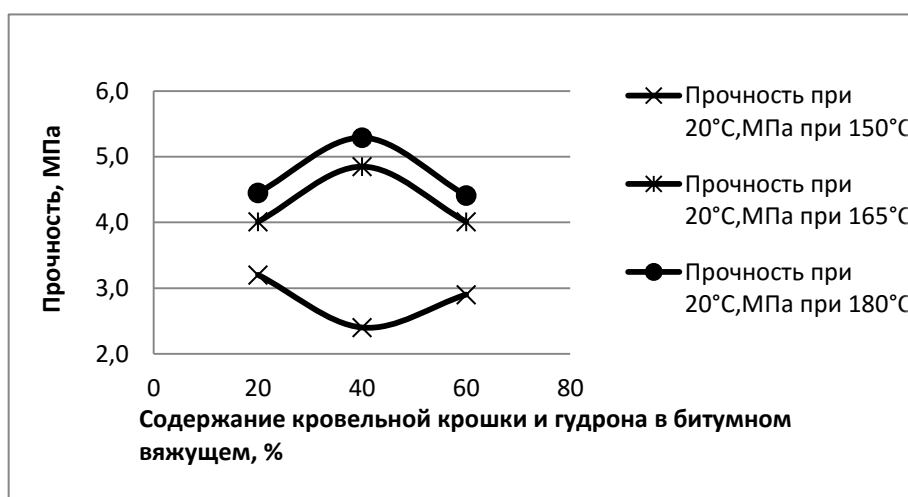


Рисунок 2. Изменение прочности асфальтобетона при сжатии при 20°С в зависимости от содержания кровельной крошки и гудрона в битумном вяжущем(%) и различной температуре перемешивания



Рисунок 3. Изменение водонасыщения в зависимости от содержания кровельной крошки и гудрона в битумном вяжущем (%) и различной температуре перемешивания

Также были проведены исследования показателей асфальтобетона без добавления стандартного битума на вяжущем из отходов ремонта мягких кровель. На рисунке 4 приведены сравнения результатов испытаний при частичной и полной замене битума новым вяжущим. Из рисунка видно, что характер изменения предела прочности при сжатии носит параболический характер с явно выраженным экстремумом в точках, выявленных при анализе модели. Показатели прочности на сжатие при 0 °С, 20 °С, 50 °С при полной замене стандартного битума вяжущим из отходов ремонта мягких кровель не удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128-2013.

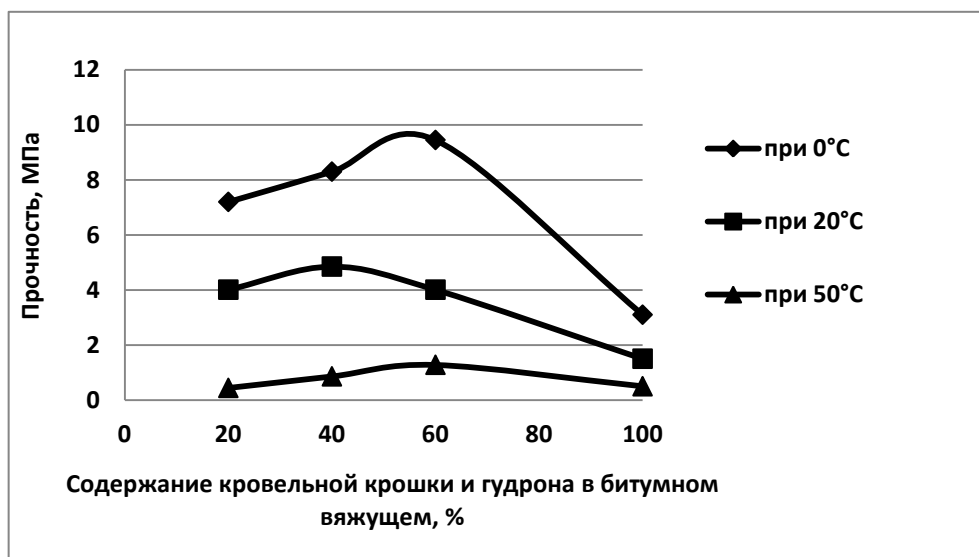


Рисунок 4. Изменение прочности асфальтобетона при сжатии при 0; 20 и 50 °С при температуре перемешивания 165 °С в зависимости от содержания кровельной крошки и гудрона в битумном вяжущем

Выводы

Было экспериментально обосновано, что для получения требуемых прочностных показателей асфальтобетона в лабораторных условиях достаточно трех минут перемешивания, а соотношение битумной крошки и гудрона 40/60 является оптимальным. Оптимальное общее содержание кровельной крошки, пластифицированной гудроном, в битумном вяжущем варьируется в пределах от 40 до 60%. Увеличение содержания кровельной крошки в битуме приводит к резкому падению прочности асфальтобетона.

Исходя из этого, до проведения длительных натурных испытаний, асфальтобетоны на вяжущем из отходов ремонта мягких кровель можно рекомендовать для покрытий автомобильных дорог III и IV категорий. Для дорог более высоких категорий они могут применяться для устройства слоев основания.

Список используемых источников

1 Олейник П. П., Олейник С. П. Организация системы переработки строительных отходов. М.: МГСУ. 2009. 252 с.

2 Кругов С. В. Вторая жизнь старого рубероида // Строительство: Всерос. отраслевой интернет-журн. 2002. № 1. URL: <http://stroim.mos.ru/nauka/d27dr365m0.html> (дата обращения: 12.11.2011).

3 ТКП 2.48740114.001 Механическая переработка отходов битумосодержащих кровельных материалов. ООО фирма «Олимп-Дизайн». Калининград, 2004. 13 с.

4 Яковлев В. В., Асадуллина З. У. Асфальтобетоны на битумном вяжущем, полученном из отходов ремонта кровель // Башкирский химический журнал. 2011. Т.18, № 1. С. 49-52.

5 Асадуллина З. У., Яковлев В. В. Подбор рецептуры битумного вяжущего с добавкой кровельной крошки и особенности технологии приготовления асфальтобетонных смесей // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2013. № 1. URL: http://ogbus.ru/authors/AsadullinaZU/AsadullinaZU_1.pdf (дата обращения: 12.11.2015).

6 Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.

7 Печеный Б. Г., Данильян Е. А., Асельдеров Б. Ш. Как готовятся асфальтобетонные смеси // Автомобильные дороги. 2014. № 1. С.76-79.

8 Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны. М.: Высшая школа, 1969. 396 с.

References

- 1 Oleinik P. P., Oleinik S. P. Organizatsiya sistemy pererabotki stroitel'nyh othodov. M.: MGSU. 2009. 252 s. [in Russian].
- 2 Krugov S. V. Vtoraya zhizn' starogo ruberoida // Stroitel'stvo: Vseros. otraslevoi internet-zhurn. 2002. № 1. URL: <http://stroi.mos.ru/nauka/d27dr365m0.html> (data obrasheniya: 12.11.2011). [in Russian].
- 3 ТКР 2.48740114.001 Mehanicheskaya pererabotka othodov bitumosoderzhashih krovel'nyh materialov. ООО фирма «Olimp- Dizain». Kaliningrad, 2004. 13 s. [in Russian].
- 4 Yakovlev V. V., Asadullina Z. U. Asfal'tobetonny na bitumnom vyazhushem, poluchennom iz othodov remonta krovel' // Bashkirskii himicheskii zhurnal. 2011. T.18, № 1. S. 49-52. [in Russian].
- 5 Asadullina Z. U., Yakovlev V. V. Podbor receptury bitumnogo vyazhushego s dobavkoi krovel'noi kroshki i osobennosti tehnologii prigotovleniya asfal'tobetonnyh smesei// Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. 2013. № 1. URL: http://ogbus.ru/authors/AsadullinaZU/AsadullinaZU_1.pdf (data obrasheniya: 12.11.2015). [in Russian].
- 6 Nalimov V. V., Chernova N. A. Statisticheskie metody planirovaniya ekstremal'nyh eksperimentov. M.: Nauka, 1965. 340 s. [in Russian].
- 7 Pechenyi B. G., Danil'yan E. A., Asel'derov B. Sh. Kak gotovyatsya asfal'tobetonnye smesi // Avtomobil'nye dorogi. 2014. № 1. S.76-79. [in Russian].
- 8 Ryb'ev I. A. Asfal'tovye betony. M.: Vysshaya shkola, 1969. 396 s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Асадуллина З. У., канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Z. U. Asadullina, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer of the Chair “Roads and Building Technology” FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: zarema.asadullina@mail.ru

Яковлев В. В., д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V. V. Yakovlev, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair “Roads and Building Technology” FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation