

УДК 628.8

ПРИМЕНЕНИЕ СЕРЫ И РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ

А.С. Камеко, Л.М. Парфенова

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: kamecko@yandex.by, l.parfenova@psu.by

В статье приведены результаты определения физико-механических характеристик асфальтобетона, содержащего в своем составе резиновую крошку, и асфальтобетона без добавок верхнего слоя дорожного покрытия автодороги Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав. Экспериментально установлено, что совместное введение в состав асфальтобетона резиновой крошкой и технической серы позволяет увеличить предел прочности при сжатии при температуре 50 °С в 2,7 по сравнению с асфальтобетоном с резиновой крошкой и в 2,3 раза по сравнению с асфальтобетоном без добавок.

Ключевые слова: *резиновая крошка, техническая сера, асфальтобетон, предел прочности при сжатии.*

APPLICATION OF SULFUR AND RUBBER CRUMB IN ASPHALT CONCRETE MIXTURES

A. Kameko, L. Parfenova

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: kamecko@yandex.by, l.parfenova@psu.by

The article presents the results of determining the physico-mechanical characteristics of asphalt concrete containing crumb rubber and asphalt without additives of the top layer of the road surface of the R-14 Polotsk-Miory-Braslav highway. It was experimentally established that the combined introduction of rubber crumb and technical sulfur into the composition of asphalt concrete allows to increase the compressive strength at a temperature of 50 °C by 2.7 compared to asphalt concrete with crumb rubber and by 2.3 times compared to asphalt concrete without additives.

Keywords: *crumb rubber, technical sulfur, asphalt concrete, compressive strength.*

Интенсивное развитие современной дорожной сети, требует постоянной модернизации технологий производства работ, повышения качества и физико-механических характеристик применяемых асфальтобетонных смесей. Существуют различные пути совершенствования асфальтобетонной смеси и её компонентов. Авторами исследований [1–3] показано, что одним из современных направлений модификации асфальтобетонных является введение в их состав крошки из резин общего назначения, в том числе шинной.

Целью настоящих экспериментальных исследований являлся сравнительный анализ физико-механических характеристик асфальтобетона с использованием резиновой

крошки и асфальтобетона марки ЩМБг20-II/2,0, находящихся в эксплуатации на автодороге (А/Д) Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав. Верхний слой покрытия был выполнен в 2011 году. Образцы асфальтобетона с резиновой крошкой отобраны мост через реку Нача км. 20,598 А/Д Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав. Образцы асфальтобетона марки ЩМБг20-II/2,0 отобраны на А/Д Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав км 16,323. Сравнение образцов выполнялось согласно СТБ 1115-2013 по следующим показателям: средняя плотность, водонасыщение, набухание, коэффициент уплотнения, предел прочности на сжатие. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Физико-механические характеристики верхнего слоя дорожного покрытия автодороги (А/Д) Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав

Наименование показателей, единицы измерения	Среднее значение показателей для образцов	
	асфальтобетона с резиновой крошкой	асфальтобетона
Средняя плотность, $\rho_{\text{ср}}$, г/см ³	2,37	2,42
Водонасыщение, W, %	1,80	2,65
Набухание, N, %	0,3	0,08
Средняя плотность переформованных образцов, $\rho_{\text{ср}}$, г/см ³	2,43	2,45
Коэффициент уплотнения, $K_{\text{у}}$	0,98	0,99
Предел прочности при сжатии 50°C, $R_{\text{сж50}}$ МПа	2,027	2,399

На основе лабораторных испытаний было установлено, что асфальтобетон с резиновой крошкой, находящийся в эксплуатации на автодороге Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав, по сравнению с асфальтобетоном марки ЩМБг20-II/2,0 имеет показатель водонасыщения в 1,5 раза ниже, при этом набухание выше на 0,22%, предел прочности при сжатии при 50 °С ниже на 15,5 %.

Полученные результаты показали необходимость совершенствования состава асфальтобетона с резиновой крошкой, с целью получения предела прочности при сжатии не ниже, чем у контрольного асфальтобетона марки ЩМБг20-II/2,0. Практика применения и лабораторные исследования [4, 5] показывают, что значительно улучшает качество асфальтобетонов добавка технической серы, являющейся промышленным отходом, в частности, продуктом глубокой очистки от серы продуктов нефтепереработки, и требующей утилизации.

Для разработки состава использовались следующие материалы: сера техническая по ГОСТ 127.1–93; резиновая крошка, полученная путем измельчения автомобильных покрышек, фракция не более 0,315 мм; щебень гранитный, фракции 5–10 по ГОСТ 8267-93, марка щебня по прочности 1400, по истираемости И-1; отсев дробления, фракции 0–5 мм по ТУ ВУ 200161167.003-2010, модуль крупности 2,7, насыпная плотность 1510 кг/м³; битум дорожный марка БНД 70/100 по СТБ EN 12591-2010; минеральный порошок для асфальтобетонов из доломита марка МП-1 по ГОСТ 16557-2005. Испытания проводились согласно СТБ 1115-2013 на стандартных цилиндрических образцах

диаметром $71,4 \pm 0,1$ мм. Определялись следующие физико-механические характеристики: предел прочности при сжатии при 50°C , водонасыщение, набухание, средняя плотность.

Разработка состава асфальтобетона с технической серой и резиновой крошкой выполнялась с применением метода математического планирования эксперимента и обработки данных факторного эксперимента с применением компьютерной программы «PlanExp B-D13», разработанной в среде программирования Microsoft Visual Basic 6.0. Программа ориентирована на работу с трехфакторным планом эксперимента B-D13, который позволяет получать нелинейные квадратичные модели, и обладает хорошими статистическими характеристиками.

В качестве варьируемых факторов рассматривались содержание серы в составе асфальтобетонной смеси (x_1), содержание битума (x_2) и содержание резиновой крошки (x_3), в качестве результирующего фактора рассматривался предел прочности при сжатии при 50°C . При варьировании факторов сохранялось постоянное соотношение компонентов асфальтобетонной смеси (по массе) щебень: отсев дробления: минеральный порошок = 1 : 0,48 : 0,08. Согласно плану эксперимента выполнялось десять опытов по три параллельных испытания в каждом. Факторы и интервалы варьирования представлены в таблице 2. План и результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 2. – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Содержание серы, % по массе	x_1	0	3	6	3
Содержание битума, % по массе	x_2	3	5	7	2
Содержание резиновой крошки, % по массе	x_3	0	1,5	3	1,5

Таблица 3. – План и результаты эксперимента

Номер опыта	Матрица планирования			Предел прочности при сжатии при температуре 50°C , $R_{сж50}$, МПа, для образцов		
	x_1	x_2	x_3	№1	№2	№3
1	-1	-1	-1	1,626	1,478	1,572
2	+1	-1	-1	2,876	3,159	2,498
3	-1	+1	-1	1,632	1,565	1,498
4	-1	-1	+1	0,01	0,01	0,01
5	-1	0,19	0,19	2,954	2,658	2,432
6	0,19	-1	0,19	3,44	3,601	3,058
7	0,19	0,19	-1	2,421	2,641	2,2
8	-0,29	+1	+1	1,991	2,016	2,103
9	+1	-0,29	+1	5,099	5,278	5,05
10	+1	+1	-0,29	2,213	2,088	1,99

Значимость коэффициентов уравнения определялась по t-критерию Стьюдента. Адекватность математической модели оценивалась по критерию Фишера. Полученная математическая модель является адекватной и может применяться для решения производственных задач.

Математическая модель предела прочности при сжатии при 50 °С асфальтобетона, содержащего в своем составе техническую серу и резиновую крошку, выглядит следующим образом:

$$R_{\text{сж}50} = 3,693 + 0,869 \cdot x_1 - 0,328 \cdot x_2 + 0,372 \cdot x_3 - 0,964 \cdot x_2^2 - 0,721 \cdot x_3^2 - 0,626 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,853 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,292 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Для визуализации математической модели построена диаграмма линий равного уровня (изолиний), представляющая собой проекцию трехмерной поверхности на плоскость $(x_2; x_3)$ при постоянном факторе $x_1 = \text{const} = 1$ (рис. 1). Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора $X_1 = 1$ имеет вид:

$$R_{\text{сж}50} = 4,506 - 0,328 \cdot x_2 + 0,372 \cdot x_3 - 0,964 \cdot x_2^2 - 0,721 \cdot x_3^2 - 0,626 \cdot x_2 + 0,853 \cdot x_3 + 0,292 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет $R_{\text{сж}50 \text{opt}} = 5,16$ МПа. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов: $x_2 = -0,378$ и $x_3 = 0,773$ при $x_1 = 1$. Для данного сочетания факторов в соответствии с СТБ 1115-2013 экспериментально были определены значения средней плотности, водонасыщения, набухания и предел прочности при сжатии. Результаты представлены в таблице 4.

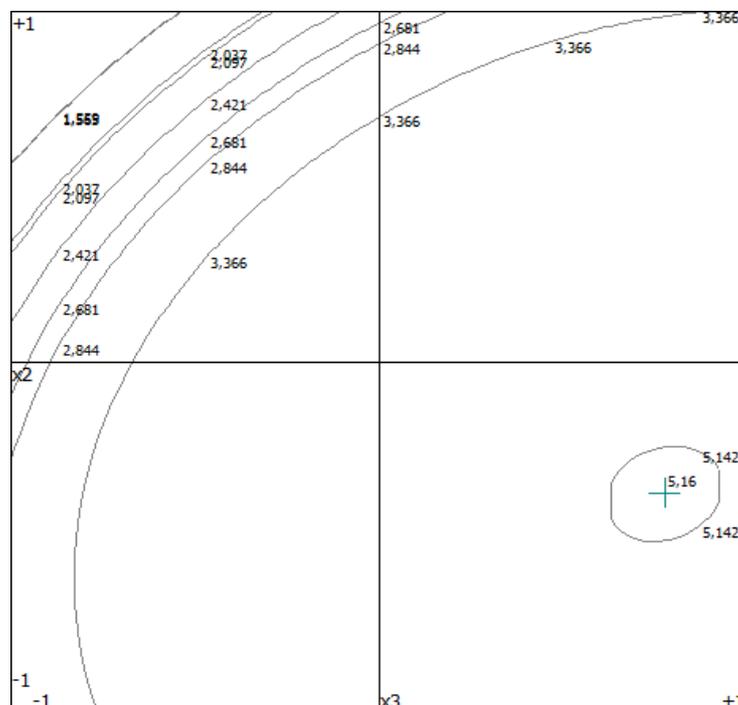


Рисунок 1. – Диаграмма изолиний математической модели прочности на сжатие асфальтобетона при $x_1 = 1$

Таблица 4. – Физико-механические характеристики асфальтобетона с технической серой и резиновой крошкой

Наименование показателя, единица измерения	Значения показателя асфальтобетона для образцов			
	P_1	P_2	P_3	Среднее значение
Средняя плотность, $\rho_{\text{ср}}$, г/см ³	2,41	2,41	2,41	2,41
Водонасыщение, W, %	2,46	2,70	2,21	2,45
Набухание, Н, %	0,26	0,35	0,16	0,26
Предел прочности при сжатии 50°С, $R_{\text{сж50}}$ МПа	5,86	5,34	5,46	5,55

Таким образом, экспериментально определено, что совместное применение резиновой крошки и технической серы в составе асфальтобетона позволяет увеличить предел прочности при сжатии при 50°С до 5,55 МПа, что в 2,7 раза выше, чем у асфальтобетона с резиновой крошкой на автодороге (А/Д) Р-14 Полоцк – Миоры – Браслав, в 2,3 раза выше, чем у асфальтобетона марки ЩМБг20-И/2,0.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хафизов, Э.Р., Семенов, Д.Ю. Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь добавок резиновой крошки / Э.Р. Хафизов, Д.Ю. Семенов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 2 (40). – С. 305 – 311.
2. Аюпов, Д. А., Мурафа, А.В., Хакимуллин, Ю.Н., Хозин, В.Г. Современные способы регенерации резин и возможности использования их в строительной отрасли / Д.А. Аюпов, А.В. Мурафа, Ю.Н. Хакимуллин, В.Г. Хозин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 2 (40). – С. 260 – 263.
3. Оксак, С.В. Влияние дробленной резиновой крошки на свойства битума и асфальтобетона / С.В. Оксак // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Вып. 79. – 2017. – С. 133 – 137.
4. Гладких, В.А., Королев, Е.В., Хусид, Д.Л. Стойкость сероасфальтобетонов к образованию колеи / В.А. Гладких, Е.В. Королев, Д.Л. Хусид // Вестник МГСУ. – 2016. – № 12. – С. 70 – 78
5. Дошлов, О.И., Калапов, И.А. Новые дорожные битумы на основе органического вяжущего, модифицированного технической серой и полимерными добавками / Дошлов, О.И., Калапов, И.А. // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 11 (106). – С. 107 – 111.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-701-3

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова*.
Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой*.
Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

Подписано к использованию 09.09.2020.
Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>