

УДК: 625.85
DOI: 10.52409/20731523_2022_3_90
EDN: JVC PAL



Материал дорожного покрытия на основе битумно-резинового вяжущего

Д.С. Смирнов¹, Э.М. Ягунд¹, В.Е. Броднева², А.Ш. Хасанов²,
¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
²АО «Татавтодор»
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Актуальная на сегодняшний день проблема - колееобразование на дорожных покрытиях - приводит к снижению срока эксплуатации автомобильной дороги. Для решения этой задачи дорожного строительства одним из приоритетов является повышение физико-механических свойств асфальтобетона и его устойчивости к образованию колеи пластичности. Введение в состав щебеночно-мастичного асфальтобетона стабилизирующих добавок на основе отходов производства позволяет не только регулировать его физико-механические свойства, но и решает проблему утилизации отходов. Цель исследования – изучение влияния диспергированных отходов производств резино-технических изделий на физико-механические свойства битумного вяжущего и щебеночно-мастичного асфальтобетона. Основными задачами являются изучение влияния резиновой крошки на растяжимость, температуру размягчения и хрупкости битумного вяжущего; отработка технологического режима получения асфальтобетона на основе битумно-резинового вяжущего и изучение влияния резиновой крошки на прочность и сдвигоустойчивость щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Результаты. Установлено повышение сдвигоустойчивости щебеночно-мастичного асфальтобетона при добавлении отходов резино-технических изделий в битумное вяжущее. Отработана технология приготовления битумно-резиновой композиции.

Выводы. Оптимизация технологии изготовления битумно-резиновой композиции и введение ее в состав щебеночно-мастичного асфальтобетона позволит повысить его физико-механические характеристики, что в перспективе увеличит период эксплуатации асфальтобетонных дорожных покрытий, изготовленных на его основе.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, битумное вяжущее, резино-техническое изделие, стабилизирующая добавка, температура размягчения, хрупкости и растяжимость битума.

Для цитирования: Д. С. Смирнов, Э.М. Ягунд, В.Е. Броднева, А.Ш. Хасанов *Материал дорожного покрытия на основе битумно-резинового вяжущего*//Известия КГАСУ, №3(61), с.90-102, DOI10.52409/20731523_2022_3_90, EDN: JVC PAL

Road surface material based on bitumen-rubber binder

D. S. Smirnov¹, E.M. Yagund¹, V.E. Brodneva², A.Sh. Khasanov²,

¹Kazan State University of Architecture and Civil Engineering

¹АО "Tatavtodor"

Kazan, Russian Federation

Abstract. Problem statement. The purpose of the project is to consider the possibility of using rubber waste as a modifying additive of petroleum bitumen, to study the effect of waste from the production of rubber and technical products on the physical and mechanical properties of bitumen binders.

Results. Positive results of physical and mechanical properties were established when adding waste rubber products to bituminous binders, the use of a bitumen-rubber composition in the composition of crushed stone-mastic asphalt concrete (SMA) also provides regulatory characteristics

Conclusions. It is assumed that the optimization of the technology of adding bitumen-rubber composition to the composition of the SHMA and its development will increase its physical and mechanical characteristics, which makes it possible in the future to increase the period of operation of asphalt-concrete road surfaces made on its basis.

The Keywords: asphalt concrete, bitumen, strength, rubber-technical product, stabilizing additive, softening temperature, brittleness

For citation: D.S. Smirnov, E.M. Yagund, V.E. Brodneva, A.Sh. Khasanov Pavement material based on bitumen-rubber binder//News KSUAE, №3 (61), p. 90-102, DOI10.52409/20731523_2022_3_90, EDN: JVCPAL

1. Введение

Ежегодно по всему миру наблюдается рост интенсивности дорожного движения, что в значительной степени снижает период эксплуатации дорожных покрытий. Прежде всего, это связано с образованием колеи, что делает движение автотранспорта небезопасным и требует частичного или капитального ремонта покрытия в сравнительно короткие промежутки времени. Повышение устойчивости покрытия к образованию колеи пластичности является приоритетной задачей в дорожном строительстве [1]. Весьма актуальной также является проблема утилизации отходов резино-технической промышленности, применение резиновой композиции в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) способствует решению этого вопроса [2-4].

Для повышения периода эксплуатации автомобильных дорог дорожными организациями чаще применяются щебеночно-мастичные асфальтобетоны, менее склонные к образованию колеи. Данный материал отличается от обычного асфальтобетона повышенным содержанием щебня, что приводит к увеличению содержания свободного битума и, как следствие, необходимости использования недешевых стабилизирующих добавок, которые препятствуют стеканию избыточного количества вяжущего [5-6].

Известно применение резины для модификации нефтяного битума. У резинонаполненных битумных вяжущих благодаря связанным частицам наблюдается более высокая температура размягчения, что, в свою очередь, снижает колеобразование и позволяет расширить температурный диапазон эксплуатации покрытий из ЩМА, также повышается эластичность, что имеет большое преимущество при эксплуатации при отрицательных температурах [12-14].

Цель работы – изучение влияния диспергированных отходов производств резино-технических изделий на физико-механические свойства битумного вяжущего и щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Задачи работы:

1. Изучить влияние резиновой крошки на растяжимость, температуру размягчения и хрупкости битумного вяжущего.
2. Отработать технологический режим получения асфальтобетона на основе битумно-резинового вяжущего.
3. Изучить влияние резиновой крошки на прочность и сдвигоустойчивость щебеночно-мастичного асфальтобетона.

2. Материалы и методы

Для исследования битума в качестве испытуемого исходного материала использован битум нефтяной дорожный 70/100 (БНД 70/100) и битум нефтяной дорожный 70/100 с добавлением стабилизирующей добавки - целлюлозной фибры марки Viator 66 в количестве 0,5% от количества битума и резиновая крошка (отход производства труб высокого давления, выпускаемых АО Камско-Волжское акционерное общество резинотехники «КВАРТ»).

Основными контролируемыми параметрами являлись: температура размягчения, хрупкости и растяжимость при 25°C и 0°C.

Результаты испытаний исходного БНД 70/100 и БНД 70/100 с применением добавки Viator 66 в количестве - 0,5% приведены в таблице 1. Все показатели исходного битума соответствуют нормативным.

Таблица 1

Результаты испытаний битума

| Наименование | Температура размягчения, °С | Температура хрупкости, °С | Растяжимость при 25 °С, см | Растяжимость при 0 °С, см |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| БНД 70/100 | 48,00 | -18 | 141,30 | 4,70 |
| БНД 70/100 + Viator 66 | 49,00 | - | 30,10 | 4,70 |

Для получения битумно-резинового вяжущего в металлическую емкость заливали дорожный битум, имеющий марку БНД 70/100, далее вяжущее нагревали и расплавляли до температуры 160°C, вводили добавку в количестве 8%, 12% и 16%. Смеси перемешивали в течение 5 мин, 15 мин и 30 мин. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний битума с добавлением резиновой крошки

| № п/п | Время смешивания, мин | Температура размягчения, °С | Температура хрупкости, °С | Растяжимость при 25 °С, см | Растяжимость при 0 °С, см |
|------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Резиновая крошка - 8% | | | | | |
| 1 | 5 | 49,40 | -17 | 14,50 | 4,80 |
| 2 | 15 | 49,70 | -17 | 12,20 | 5,70 |
| 3 | 30 | 50,60 | -16 | 11,10 | 4,20 |
| Резиновая крошка - 12% | | | | | |
| 1 | 5 | 52,30 | -15 | 10,30 | 4,00 |
| 2 | 15 | 50,80 | -16 | 10,00 | 5,20 |
| 3 | 30 | 49,70 | -16 | 9,60 | 4,30 |
| Резиновая крошка - 16% | | | | | |
| 1 | 5 | 52,30 | -20 | 10,80 | 3,30 |
| 2 | 15 | 52,90 | -19 | 8,10 | 4,20 |
| 3 | 30 | 52,30 | -17 | 8,30 | 3,50 |

ИК-спектр резиновой крошки приведен на рисунке 1.

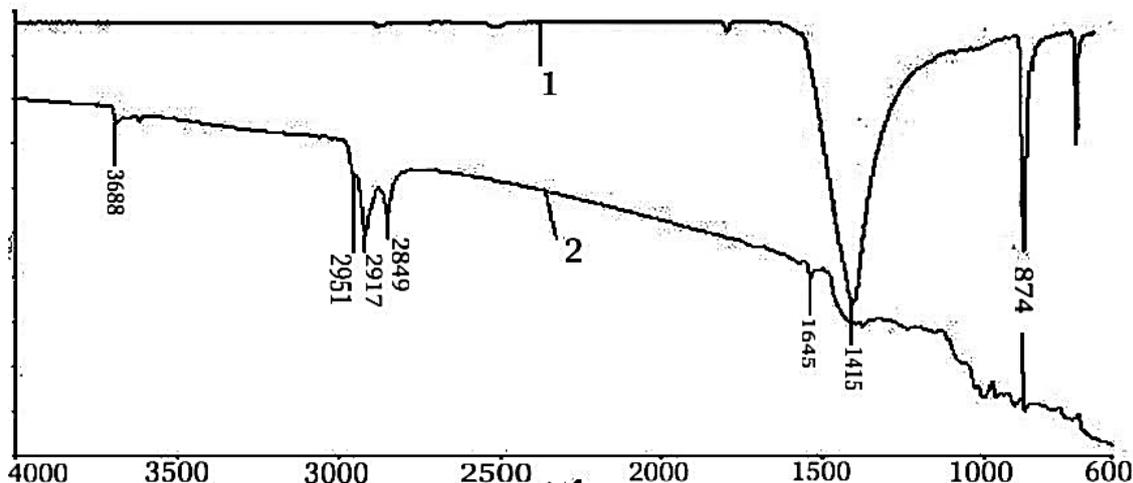


Рис.1. ИК-спектры минерала кальцита (кривая 1) и резиновой крошки (кривая 2)
(иллюстрация авторов)

Fig.1. IR spectra of calcite mineral (curve 1) and rubber crumb (curve 2)
(illustration by the authors)

В спектре отчетливо проявляются пики 2951 , 2917 , 2849 cm^{-1} (валентные колебания метильных CH_3 и метиленовых CH_2 групп) и 1545 cm^{-1} (деформационные колебания метиленовых групп) [15]. Наличие этих групп характерно для любых органических соединений, в том числе для каучуков. Имеются также свободные от Н-связи ОН-группы (пик 3688 cm^{-1}). Широкий фон рассеяния, который приводит к уменьшению пропускания в правой, низкочастотной части спектра, объясняется наличием технического углерода (сажи), которым обычно наполняют каучуки. Именно он придает образцам черный цвет.

Необходимо также отметить присутствие в образцах резиновой крошки минеральной примеси. Вероятнее всего, этой примесью является минерал кальцит, входящий в состав природного известняка. Спектр кальцита также приведен на рисунок 1 (кривая 1). Химически кальцит является кристаллическим карбонатом кальция CaCO_3 , и наиболее интенсивной полосой в его спектре является пик 1415 cm^{-1} валентных колебаний связей С-О и 874 cm^{-1} деформационных колебаний этих связей. Оба этих пика отчетливо проявляются в ИК-спектре крошки.

Первым контролируемым параметром была температура размягчения битума, которая определяется согласно ГОСТ 33142-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения температуры размягчения. Метод «Кольцо и шар» (КиШ), рисунок 2. Сущность испытания в том, что битум, достигая температуры размягчения, начинает перемещаться по вертикальной оси под влиянием стального шарика и данные о температуре размягчения фиксируются при затрагивании контрольного диска.

Для проведения опыта битум должен быть обезвожен, что достигается нагревом до температуры 80°C - 100°C , затем им заполняют кольца. В течение 20 минут битум остужается, и излишек срезается горячим ножом. Далее кольца устанавливают в приборе и помещают термометр, чтобы его низ был наравне с кольцом. Погружают прибор в емкость с водой при температуре $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ и выдерживают 15 минут, затем, установив шарик, начинают нагревать в этой емкости со скоростью $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в минуту. В момент касания шариком пластины отмечают температуру воды.



Рис. 2 Прибор «Кольцо и шар» (иллюстрация авторов)
Fig.2 - The "Ring and Ball" device (illustration by the authors)

Дуктильность битума - максимальная длина растягивания образца без его разрыва при постоянной скорости и температуре. Испытание проводится согласно ГОСТ 11505-75 «Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости» (рисунок 3).



Рис. 3. Дуктилометр (иллюстрация авторов)
Fig.3. Ductilometer (illustration by the authors)

Используют специальную форму «восьмерку», куда заливают битум, предварительно смазав стенки, после остывания на воздухе излишек срезают горячим ножом. Форму выдерживают в водяной бане с температурой $25 \pm 0,1^\circ \text{C}$ 60 минут, по истечении времени образцы перемещают в дуктилометр с водой той же температуры. «Восьмерку» закрепляют и снимают стенки формы, по салазкам происходит растяжение битума со скоростью 5 см в 1 мин, определяют длину нити при разрыве (в см).

Температурой хрупкости считается температура, когда на битуме начинают образовываться трещины при охлаждении и периодическом изгибе.

Испытание проводится согласно ГОСТ 11507-78 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу» (рисунок 4) и заключается в равномерном охлаждении и попеременном изгибе образца, далее фиксируется температура, при которой начинают появляться трещины. Битум доводят до подвижного состояния при температуре нагревания не более чем на 100°C больше температуры размягчения. Образец на пластине устанавливают в пробирку с хлористым кальцием. Термометр должен быть расположен уровне середины стальной пластинки, температура должна быть не менее чем на 15°C выше минимально допустимой для данной марки битума. Порциями вводят охлаждающий реагент для понижения температуры.

Изгибать пластинку с помощью вращения рукоятки со скоростью 1 об/с начинают после падения температуры на 3°C , скорость падения около $(1,0 \pm 0,1)^\circ \text{C}$ в 1 мин. Этот

цикл должен заканчиваться за (22 ± 2) с, отмечают температуру в момент появления первой трещины.

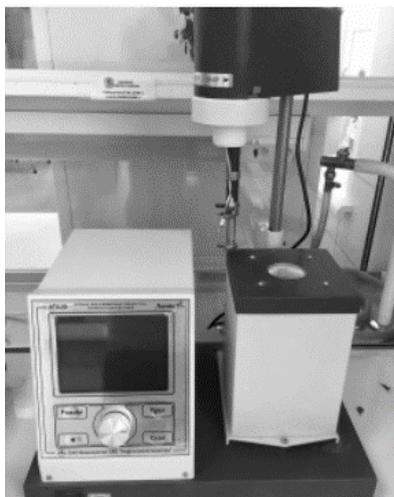


Рис. 4. Аппарат для определения температуры хрупкости битума (иллюстрация авторов)
Fig.4 - Apparatus for determining the temperature of bitumen brittleness (illustration by the authors)

В качестве материала покрытия автомобильной дороги исследовался щебеночно-мастичный асфальтобетон с наибольшим размером фракций крупного заполнителя 10 мм (ЩМА-10) [12]. В качестве стабилизирующих добавок применялись целлюлозная фибра марки Viator 66, диспергированная резиновая крошка в виде отхода производства труб высокого давления, а также сочетание указанных добавок друг с другом [13-14].

Основными контролируемыми параметрами являлись: прочность на сжатие при температуре 0 и 50°C и характеристики сдвигоустойчивости ЩМА-10 в виде параметров коэффициента внутреннего трения и показателя сцепления при сдвиге. Испытания проводились согласно ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

Образцы ЩМА-10 изготовлены на основе щебня «Абзаковский» фр. 5/10 – 69%, дробленого песка «Уралдоломит» – 23%, добавки Viator66 в количестве – 0,5%, добавки Амдор10 – 0,3%, активированного минерального порошка – 8% и битума БНД 70/700 – 6,5%.

Для испытаний асфальтобетонной смеси при приготовлении в лабораторных условиях используется специальная асфальтосмесительная установка с обогревом.

Изготовление образцов осуществлялось в следующей последовательности. Инертные материалы предварительно высушивали, помещали в лабораторную асфальтосмесительную установку и нагревали. В последнюю очередь добавлялось нагретое вяжущее. Перемешивание компонентов производили в течение 3-6 минут при температуре 165°C. Формовка и уплотнение будущих образцов для испытаний производили на прессе под давлением 40 МПа.

Прочность при сжатии определяли в соответствии с ГОСТ 12801-84 Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Испытания проводили в следующей последовательности:

- выдерживание в течение 1 ч. в воде при той температуре: $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ и $(0 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- взвешивание на воздухе и воде;
- установка образцов в центр нижней плиты пресса и опускание верхней плиты на 1,5-2 мм выше форм;
- нагружение образца при скорости движения пресса $(3,0 \pm 0,3)$ мм/мин;
- фиксирование данных о разрушающей нагрузке.

Параметр сдвигоустойчивости - значение максимальных нагрузок и соответствующих им предельных деформаций для стандартных образцов-цилиндров при двух разных напряженно-деформированных состояниях (рис.5.)

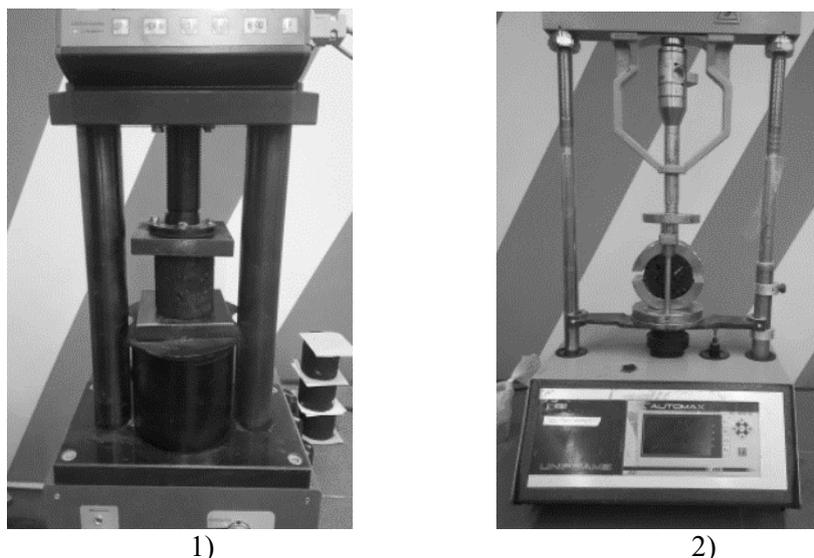


Рис. 5. Испытания образцов на сдвигустойчивость: 1 - при одноосном сжатии; 2 - при сжатии по схеме Маршалла

(иллюстрация авторов)

Fig.5 . Tests of samples for shear stability: 1 - with uniaxial compression; 2 - with compression according to the Marshall scheme

(illustration by the authors)

При испытаниях по данному методу сдвигустойчивость при относительно высоких положительных температурах характеризуется по двум расчётным показателям: коэффициенту внутреннего трения и показателю сцепления при сдвиге.

Перед испытанием не менее 6 образцов выдерживают в воде в течение часа при температуре $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$. Три образца испытывают по схеме 1 и ещё три образца по схеме поочередно, устанавливая образцы по центру плиты пресса. Нагружение образцов в обоих схемах осуществляется при скорости (50 ± 1) мм/мин. При этом определяют максимальные разрушающие нагрузки и соответствующие им предельной деформации образцов в мм (l_i) (точность измерения индикатора перемещений должна быть не менее 0,01 мм).

При испытании по схеме №1 для каждого образца рассчитывают предел прочности при одноосном сжатии в МПа, (R_{ci}):

$$R_{ci} = (P_i/P) \times 10 \quad (1)$$

где: P – площадь поперечного сечения образца асфальтобетона.

Также рассчитывают работу, затраченную на разрушение для каждого образца в Дж (A_i) при испытаниях по схемам №1 и №2, по формуле:

$$A_i = (P_i \times l_i)/2 \quad (2)$$

где: P_i - разрушающая нагрузка, кН;

l_i - предельная деформация, мм.

Определяют среднее значение предела прочности при сжатии в МПа (R_c) и среднеарифметическое значение работы разрушения в Дж (A_c , A_m). В заключение на основе полученных данных рассчитывают коэффициент вязкости асфальтобетона в МПа, ($tg\vartheta$):

$$tg\vartheta = (3 \times (\bar{A}_m - \bar{A}_c))/(3\bar{A}_m - 2\bar{A}_c) \quad (3)$$

где: \bar{A}_m и \bar{A}_c – среднее значение работы, затраченной на разрушение образцов асфальтобетона при испытании соответственно по схеме №2 (схема Маршалла) и по схеме №1 (при одноосном сжатии) в Дж.

Коэффициент сцепления при сдвиге асфальтобетона в Мпа, (C_n), определяется по формуле:

$$C_n = 1/6 \times (3 - 2tg\vartheta) \times R_c \quad (4)$$

где: R_c - среднее значение предела прочности при одноосном сжатии асфальтобетона, Мпа.

3. Результаты и обсуждение

На графике (рисунок 6) показано изменение температуры размягчения битума в зависимости от количества добавки и времени перемешивания ее с битумом.

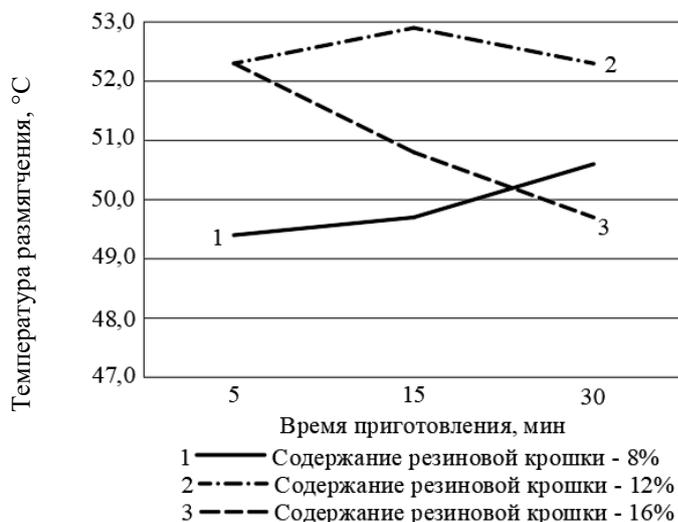


Рис. 6. График изменения температуры размягчения (иллюстрация авторов)

Fig. 6. Graph of the softening temperature change (illustration by the authors)

Из результатов, приведенных на графике видно, что максимум температуры размягчения по методу КиШ был достигнут у образца с 16% добавки, что было принято за оптимальное значение по данному параметру. Значения температуры размягчения каждого из образцов выше, чем у исходного битума, что обуславливается увеличением количества асфальтенов в битумной композиции.

В зависимости от содержания резиновой крошки в битуме при разном времени приготовления у образцов с содержанием добавки 16% и временем перемешивания 5 и 15 минут показатель температуры хрупкости лучше, чем у исходного битума (рисунок 7).

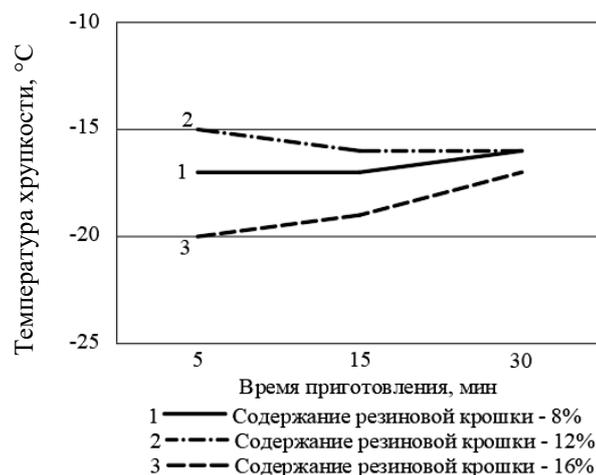


Рис. 7. График изменения температуры хрупкости битума (иллюстрация авторов)

Fig.7. Graph of changes in the temperature of bitumen brittleness (illustration by the authors)

Согласно результатам, представленным на графике (рисунок 8), растяжимость резко ухудшается, что может объясняться постепенным уплотнением структуры битума с добавкой резиновой крошки. Максимум среди образцов с битумно-резиновой композицией достигается при содержании резиновой крошки 8% и времени перемешивания 5 мин.

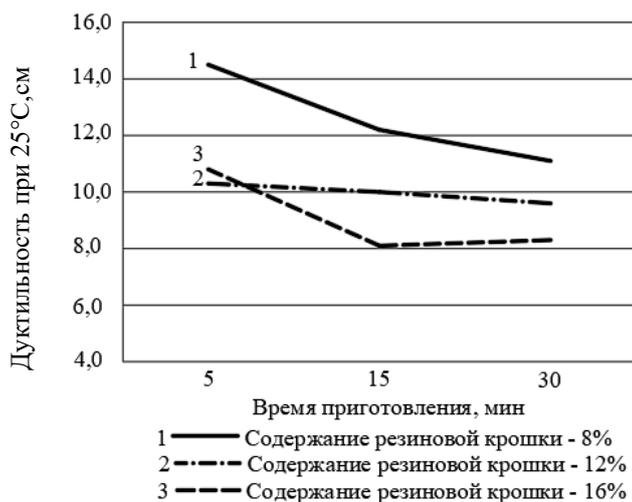


Рис.8. График растяжимости при 25 °C в зависимости от содержания резиновой крошки при разном времени приготовления (иллюстрация авторов)

Fig.8. The graph of extensibility at 25 °C, depending on the content of rubber crumbs at different cooking times (illustration by the authors)

Анализ графика растяжимости (рисунок 9) при 0 °C в зависимости от содержания резиновой крошки при разном времени приготовления позволяет сделать вывод о том, что показатели при содержании добавки 8% и времени перемешивания 5 и 15 мин. имеют наибольшие значения, которые также превышают и растяжимость исходного материала при 0 °C. Наименьшие значения достигаются при содержании битумно-резиновой композиции 16% и времени перемешивания 5 и 30 мин.

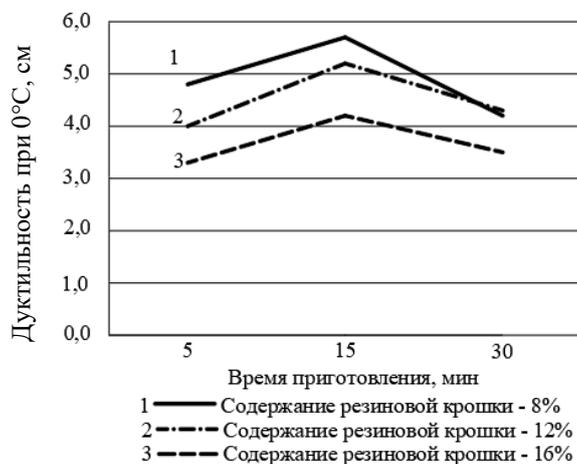


Рис. 9. График растяжимости при 0 °C в зависимости от содержания резиновой крошки при разном времени приготовления (иллюстрация авторов)

Fig.9. The graph of extensibility at 0 °C, depending on the content of rubber crumbs at different cooking times (illustration by the authors)

Результаты испытаний ЦМА-10 (исходный состав) на сдвигоустойчивость представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты испытаний состава №1

| Образец № | Диаметр образца, мм | Высота образца, мм | Разрушающая нагрузка, кН | Разрушающая нагрузка, МПа | Работа, затраченная на разрушение, Дж |
|-----------|---------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 71,4 | 71,4 | 6,07 | 1,516 | 6,747 |
| 2 | 71,4 | 71,4 | 6,07 | 1,516 | 6,501 |
| 3 | 71,4 | 71,4 | 6,15 | 1,536 | 7,595 |
| 4 | 71,4 | 71,4 | 17,02 | - | 38,61 |
| 5 | 71,4 | 71,4 | 18,89 | - | 40,87 |
| 6 | 71,4 | 71,4 | 17,50 | - | 38,18 |

Прочность при 0°C: $R_0 = 7,84$ МПа.

Прочность при 50°C: $R_{50} = 0,97$ МПа.

Работа при сжатии по Маршаллу: $A_m = 39$ Дж.

Работа при одноосевом сжатии: $A_c = 6,9$ Дж.

Прочность при одноосном сжатии: $R_c = 1,5$ МПа.

Коэффициент внутреннего трения ЩМА-10: $tg\varphi = 0,93$ МПа.

Сцепление при сдвиге: $C_d = 0,29$ МПа.

Результаты испытаний того же состава ЩМА-10 при добавлении резиновой крошки в количестве 10% от массы битума приведены в таблице 4. Перемешивание сырья производилось в течение 3 минут при температуре 160°C, точное время и температуру, как правило, устанавливают опытным путем. Далее было произведено уплотнение смеси.

Таблица 4

Результаты испытаний состава №2

| Образец № | Диаметр образца, мм | Высота образца, мм | Разрушающая нагрузка, кН | Разрушающая нагрузка, МПа | Работа, затраченная на разрушение, Дж |
|-----------|---------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 71,4 | 71,4 | 2,63 | 0,657 | 4,405 |
| 2 | 71,4 | 71,4 | 2,69 | 0,672 | 5,03 |
| 3 | 71,4 | 71,4 | 2,72 | 0,680 | 5,140 |
| 4 | 71,4 | 71,4 | 8,65 | - | 34,17 |
| 5 | 71,4 | 71,4 | 9,2 | - | 26,52 |
| 6 | 71,4 | 71,4 | 11,78 | - | 39,32 |

Прочность при 0°C: $R_0 = 6,35$ МПа.

Прочность при 50°C: $R_{50} = 0,584$ МПа.

Работа при сжатии по Маршаллу: $A_m = 33$ Дж.

Работа при одноосевом сжатии: $A_c = 4,86$ Дж.

Прочность при одноосном сжатии: $R_c = 0,67$ МПа.

Коэффициент внутреннего трения ЩМА-10: $tg\varphi = 0,94$ МПа.

Сцепление при сдвиге: $C_d = 0,33$ МПа.

Результаты испытаний и сравнение их с показателями исходного материала говорят о том, что прочность при сжатии при 20°C у ЩМА-10 содержащего 10% резиновой крошки ниже, чем у исходного материала, но остается выше требуемых нормативных значений. А вот прочность при 50°C ниже уже нормативного значения. Однако при этом наблюдается повышение сдвигоустойчивости

Результаты испытаний состава ЩМА-10 при добавлении резиновой крошки взамен добавки Viator 66 в количестве 0,5% и уменьшенном количестве битума – 5,3 % приведены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты испытаний состава №3

| Образец № | Диаметр образца, мм | Высота образца, мм | Разрушающая нагрузка, кН | Разрушающая нагрузка, МПа | Работа, затраченная на разрушение, Дж |
|-----------|---------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 71,4 | 71,4 | 3,51 | 0,889 | 7,17 |
| 2 | 71,4 | 71,4 | 3,12 | 0,779 | 6,29 |
| 3 | 71,4 | 71,4 | 3,35 | 0,837 | 6,76 |
| 4 | 71,4 | 71,4 | 10,58 | - | 33,56 |
| 5 | 71,4 | 71,4 | 11,28 | - | 38,13 |
| 6 | 71,4 | 71,4 | 11,68 | - | 38,05 |

Прочность при 0°C: $R_0 = 5,92$ МПа.

Прочность при 50°C: $R_0 = 0,52$ МПа.

Работа при сжатии по Маршаллу: $A_m = 37$ Дж.

Работа при одноосевом сжатии: $A_c = 6,7$ Дж.

Прочность при одноосном сжатии: $R_c = 0,84$ МПа.

Коэффициент внутреннего трения ЦМА-10: $t\varphi = 0,93$ МПа.

Сцепление при сдвиге: $C_d = 0,16$ МПа.

Результаты испытаний позволяют сделать вывод о том, что при добавлении резиновой крошки вместо стабилизирующей добавки Viator 66 характеристики остаются в пределах нормативных показателей, кроме показателя по сдвигоустойчивости при 50°C.

4. Заключение

Выполненное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. Изучено влияние резиновой крошки на растяжимость, температуру размягчения и хрупкости битумного вяжущего. В образцах битумно-резинового вяжущего наблюдались улучшения показателей температуры размягчения и хрупкости при добавлении в битум 16% резиновой крошки.
2. Отработан технологический режим получения асфальтобетона на основе битумно-резинового вяжущего. Установлено оптимальное время перемешивания битумно-резиновой композиции, которое составило 15 минут, при содержании резиновой крошки 16 %.
3. Установлено, что при добавлении резиновой крошки в ЦМА-10 повышаются показатели сдвигоустойчивости, однако прочность при сжатии ЦМА-10 при 50°C снижается. Это требует дополнительных исследований.

Список литературы/ References

1. Алексеенко В.В., Житов Р.Г., Кижняев В.Н., Митюгин А.В. Новые технологии получения битумно-резиновых композиционных вяжущих для дорожного строительства // Наука и техника в дорожной отрасли. 2010. №1. С. 25–27. [Alekseenko V.V., Zhitov R.G., Kizhnyayev V.N., Mityugin A.V. New technologies for obtaining bitumen-rubber composite binders for road construction // Science and technology in the road industry. 2010. No. 1. pp. 25-27]
2. Вабищевич К.Ю., Коновалов Н.П., Коновалов П.Н., Хозеев Е.О. Использование отходов резины для модификации вяжущего в асфальтобетоне // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. № 2. С. 18-25. [Vabishchevich K.Yu., Kononov N.P., Kononov P.N., Khozyayev E.O. The use of rubber waste for the modification of binder in asphalt concrete // Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2020. No. 2. pp. 18-25]
3. Лукьянова М.А., Вахьянов Е.М. Обоснование рационального состава битумных вяжущих модифицированных резиновой крошкой // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015, № 4 (110). С. 143-147. [Lukyanova M.A., Vasyanov E.M. Substantiation of the rational composition of bitumen

- binders modified with rubber crumb // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2015., No. 4 (110). pp. 143-147]
4. Баранов И. А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона. Орел: 2015. 176 с. [Baranov I. A. Evaluation of the effectiveness of stabilizing additives to improve the structure and properties of crushed-mastic asphalt concrete. Eagle: 2015. 176 p.]
 5. Awanti S. S. Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen Procedia // Social and Behavioral Sciences, 2017. Vol. 104. P. 59–68. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.098.
 6. Kiran Kumar N. L., Ravitheja A. Characteristics of stone matrix asphalt by using natural fibers as additives // Materials today, 2019. Vol. 19. P. 397–402. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.624.
 7. Александров Д. Ю. Перспективы применения комплексно-модифицированного асфальтобетона в дорожном строительстве // Наука и техника. 2017. В 4. С. 315–323. DOI: 30627272/ 2227-1031.2017.4.315-323 [Alexandrov D. Yu. Prospects for the use of complex-modified asphalt concrete in road construction // Science and Technology. 2017. In 4. pp. 315-323. DOI: 30627272/ 2227-1031.2017.4.315-323]
 8. Быстров Н.В. Нормирование свойств модифицированных битумов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 5. С. 198–203 [Bystrov N.V. Normalization of properties of modified bitumen // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. Vol. 20. No. 5. pp. 198-203]
 9. Худоконенко А. А. Анализ требований отечественных и зарубежных нормативных документов к составам асфальтобетонных смесей: тезисы докладов Международной научно-практической конференции / Ростов-на-Дону, 2015. С. 28–29. [Khudokonenco A. A. Analysis of the requirements of domestic and foreign regulatory documents for asphalt concrete mixtures: abstracts of the International Scientific and Practical Conference / Rostov-on-Don, 2015. pp. 28-29.]
 10. Desseaux S., Santos S., Geiger T., Tingaut P., Zimmermann T. N., Part M. D., Poulikakos L. Improved mechanical properties of bitumen modified with acetylated cellulose fibers // Composites Part B – Engineering, 2018. P.139–144. DOI: 10.1016/2017.12.010.
 11. Р. И. Сибгатуллина, А. И. Абдуллин, Е. А. Емельянычева. Изучение свойств нефтяных дорожных битумов, модифицированных резиновой крошкой // Вестник технологического университета. 2017. № 20. С. 76–79. [R. I. Sibgatullina, A. I. Abdullin, E. A. Yemelyanycheva. Study of the properties of petroleum road bitumen modified with rubber crumb // Bulletin of the Technological University. 2017. No. 20. pp. 76-79]
 12. Sadeghian M., Latifi Namin M., Goli H. Evaluation of the fatigue failure and recovery of SMA mixtures with cellulose fiber and with SBS modified // Construction and Building Materials, 2019. P. 818–826. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.308.
 13. Аюпов Д. А., Макаров Д. Б. Теоретические аспекты расслаиваемости битумполимерных вяжущих // Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 23. С. 50–53. [Ayupov D. A., Makarov D. B. Theoretical aspects of delamination of bituminous polymer binders // Bulletin of Kazan Technological University. 2016. No. 23. pp. 50-53]
 14. Печеный Б.Г., Данильян Е.А., Галдина В.Д. Влияние режимов приготовления асфальтобетонных смесей на свойства асфальтобетонов. // Строительные материалы. 2009. №11. С. 36-39. [Pechenyi B.G., Danilyan E.A., Galdina V.D. The influence of the modes of preparation of asphalt concrete mixtures on the properties of asphalt concrete. // Building materials. 2009. No.11. pp. 36-39]
 15. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. М.: Физматлит, 2001. 308 с. [Kuptsov A.H., Zhizhin G.N. Fourier-KR and Fourier-IR spectra of polymers. M.:Fizmatlit, 2001. 308 p.]
 16. Bulanov P., Vdovin E., Stroganov V., Mavliev L., Juravlev I. Complex Modification of Bituminous Binders by Linear Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer and Sulfur //

- Proceedings of STCCE 2022. STCCE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Vol. 291. P. 204-213. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-14623-7_35.
17. Аюпов Д., Макаров Д., Казакулов Р. Nanomodified polymer-bitumen binders // Proceedings of STCCE 2021. STCCE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 169. P. 325–333. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_35.

Информация об авторах.

Денис Сергеевич Смирнов, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

E-mail: denis27111974@yandex.ru

Эдуард Михайлович Ягунд, кандидат химических наук, доцент Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

E-mail: emj@rambler.ru

Валерия Евгеньевна Броднева, лаборант, АО «Татавтодор», г. Казань, Российская Федерация.

E-mail: valeria011278@gmail.com

Алмаз Шамилович Хасанов, начальник лаборатории Мамадышского филиала, АО «Татавтодор», г. Казань, Российская Федерация.

Hasanov.Almaz@mmd.tatavtodor.ru

Information about the authors

Denis S. Smirnov, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russian Federation.

E-mail: denis27111974@yandex.ru

Eduard M. Yagund, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russian Federation.

E-mail: emj@rambler.ru

Valeriya E. Brodneva, laboratory assistant, JSC "Tatavtodor", Kazan, Russian Federation.

E-mail: valeria011278@gmail.com

Almaz Sh. Khasanov, Head of the Laboratory of the Mamadysh branch, JSC Tatavtodor, Kazan, Russian Federation.

Hasanov.Almaz@mmd.tatavtodor.ru