
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10>

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА МИКРОСТРУКТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОНА, ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ

Научная статья

Братчун В.И.¹, Ромасюк Е.А.^{2,*}, Пшеничных О.А.³

¹ ORCID : 0000-0003-3085-0244;

² ORCID : 0009-0002-7031-5385;

³ ORCID : 0009-0001-6500-7655;

^{1, 2, 3} Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, филиал Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, Макеевка, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (e.a.romasuk[at]donna.su)

Аннотация

В статье рассматривается возможность повышения деформационно-прочностных свойств микроструктуры асфальтобетона введением хризотил-асбестовых волокон в асфальтовяжущее вещество. Доказано, что введение в асфальтовяжущие хризотил-асбестовых волокон марок А-6К-30 и А-4-40 до 1,5% позволило повысить прочность образцов асфальтовяжущих при сжатии на 8–10% и на растяжении при изгибе более чем в 1,5 раза. Показано, что использование хризотиловых волокон повышенной длины марки А-4-40 положительно влияет на прочность при растяжении, однако снижаются показатели прочности при сжатии. Выполнен расчёт оптимизации системы «битум БНД 70/100 — хризотил-асбестовые волокна марки А-6К-30 — известняковый минеральный порошок». Оптимальная концентрация хризотил-асбестовых волокон составила 1...1,1%, оптимальная концентрация битума — 16,7...17,2%.

Ключевые слова: асфальтобетон, микроструктура, дисперсное армирование, хризотил-асбестовые волокна, долговечность.

OPTIMISATION OF THE MICROSTRUCTURE COMPOSITION OF ASPHALT CONCRETE, DISPERSION-REINFORCED WITH CHRYSOTILE ASBESTOS FIBRES

Research article

Bratchun V.I.¹, Romasyuk E.A.^{2,*}, Pshenichnikh O.A.³

¹ ORCID : 0000-0003-3085-0244;

² ORCID : 0009-0002-7031-5385;

³ ORCID : 0009-0001-6500-7655;

^{1, 2, 3} Donbass National Academy of Construction and Architecture, a branch of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, Makeevka, Russian Federation

* Corresponding author (e.a.romasuk[at]donna.su)

Abstract

The article examines the possibility of improving the deformation and strength properties of the microstructure of asphalt concrete by introducing chrysotile asbestos fibres into the asphalt binder. It has been proven that the introduction of up to 1.5% of chrysotile asbestos fibres of grades A-6K-30 and A-4-40 into asphalt binders increased the strength of asphalt binder samples by 8–10% in compression and more than 1.5 times in tensile bending. It has been shown that the use of A-4-40 chrysotile fibres of increased length has a positive effect on tensile strength, but reduces compressive strength. A calculation was performed to optimise the system "bitumen BND 70/100 — chrysotile asbestos fibres of grade A-6K-30 — limestone mineral powder". The optimal concentration of chrysotile asbestos fibres was 1–1.1%, and the optimal concentration of bitumen was 16.7–17.2%.

Keywords: asphalt concrete, microstructure, dispersed reinforcement, chrysotile asbestos fibres, durability.

Введение

Дисперсное армирование асфальтобетонов является перспективным направлением развития технологии производства дорожно-строительных материалов. Повышенные эксплуатационные характеристики, такие как более высокая трещиностойкость, усталостная долговечность и сопротивление колеобразованию, делают армированные асфальтобетоны эффективным решением для строительства и реконструкции дорожных покрытий, эксплуатируемых в условиях интенсивных транспортных нагрузок и неблагоприятных климатических условий [1], [2]. Армирование асфальтобетонных покрытий позволяет не только продлить срок службы дорожного полотна, но и снизить затраты на его содержание и ремонт в долгосрочной перспективе.

Основополагающий принцип армирования асфальтобетонных смесей состоит в создании трехмерной армирующей структуры, образованной дискретными волокнами, равномерно распределенными в объеме материала. Эта сеть должна препятствовать образованию и развитию микротрещин, перераспределять напряжения и повышать сопротивление деформациям, вызванным как статическими, так и динамическими нагрузками. Эффективность армирования определяется комплексом параметров, таких как: состав волокна, его геометрические характеристики

(длина, поперечное сечение, конфигурация), концентрация волокон в смеси, их ориентация в пространстве и прочность сцепления между волокном и битумным вяжущим [3], [4].

Учитывая, что асфальтовяжущее вещество составляет свыше 90% объемной доли асфальтобетонной смеси, а образование микротрещин преимущественно локализуется в пленке органического вяжущего и в области его взаимодействия с минеральным наполнителем, представляет научный интерес исследование влияния различных типов волокон на деформационные и прочностные характеристики микроструктуры асфальтобетона [5], [6]. Данный подход позволит оптимизировать состав дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей и повысить их долговечность [7].

На данный момент остаются не сформулированными методологические положения формирования оптимальной микроструктуры дорожных асфальтобетонов, армированных хризотил-асбестовыми волокнами. Не исследованы деформационно-прочностные характеристики микроструктуры асфальтобетонов, армированной волокнами хризотил-асбеста.

Цель работы: изучение влияния хризотил-асбестовых волокон марок А-6К-30 и А-4-40 на деформационно-прочностные свойства дисперсно-армированного асфальтовяжущего вещества и определение оптимального концентрационного отношения в системе «битум — армирующее волокно-минеральный порошок», обеспечивающего максимальные значения деформационно-прочностных свойств дисперсно-армированного асфальтовяжущего.

Научная новизна выполненных исследований заключается в исследовании влияния хризотил-асбестовых волокон на деформационно-прочностные свойства микроструктуры асфальтобетона. Главное отличие от ранее выполненных работ по дисперсно-армированным асфальтобетонам является исследование геометрически правильных, уплотнённых образцов асфальтовяжущего вещества. Данный подход позволил перевести органическое вяжущее в асфальтовяжущем веществе в структурированное состояние, что соответствует состоянию нефтяных дорожных битумов в уплотненном асфальтобетоне. При этом, в отличие от асфальтобетона, асфальтовяжущее вещество имеет максимально однородную структуру, представленную только двумя компонентами (битум и минеральный порошок), что даёт возможность максимально точно исследовать влияние дисперсных волокон или полимерных модификаторов на свойства микроструктуры асфальтобетона.

Методы и принципы исследования

В качестве объектов исследования приняты:

1. Нефтяной дорожный битум марки БНД 70/100.
2. Минеральный порошок (МП) известняковый. Удельная поверхность — 400 м²/кг; средняя плотность — 2715 г/см³; пустотность — 31,8% по объему; битумоёмкость — 50,5 г/100 см³.
3. Хризотил-асбестовые волокна по ГОСТ 12871-93 марки А-6К-30 (длина от 0,1 до 2 мм, диаметром 5...100 мкм) и А-4-40 (длина от 0,5 до 4 мм и диаметром 5...100 мкм, прочность на разрыв — более 3000 МПа) [8].

Исследования выполняли на стандартных цилиндрических образцах диаметром 50 мм и балочках с размерами 160×40×40 мм. Изготовление образцов, осуществлялось согласно ГОСТ 12801-98: подогрев минерального порошка до температуры 150 °С, введение армирующих волокон, перемешивание сухой смеси, вливание в смесь подогретого битума, перемешивание. Уплотнение производили при давлении 10 МПа в течение 3 минут.

При испытании образцов на сжатие и изгиб скорость поднятия плиты гидравлического пресса составляла 3 мм в минуту. В каждой серии при исследовании деформационно-прочностных свойств образцов асфальтовяжущих одной системы испытанию подвергали 4 образца.

Основные результаты

Армирующие волокна, такие как стекловолокно, базальтовые, полиамидные волокна и др. с длиной более 5–10 мм вызывают комкование волокон в асфальтовяжущем при перемешивании. Главным недостатком длинных волокон является сложность равномерного распределения армирующих волокон при перемешивании смеси [9]. При введении битума в смесь, например, стекловолокна, армирующие волокна стремятся скомкаться в один пучок, который простым механическим перемешиванием тяжело распределить по всей смеси асфальтовяжущего. Некоторые волокна остаются свободными (не покрытые битумом) (рис. 1 а), вследствие чего прочностные характеристики дисперсно-армированных асфальтовяжущих снижаются.

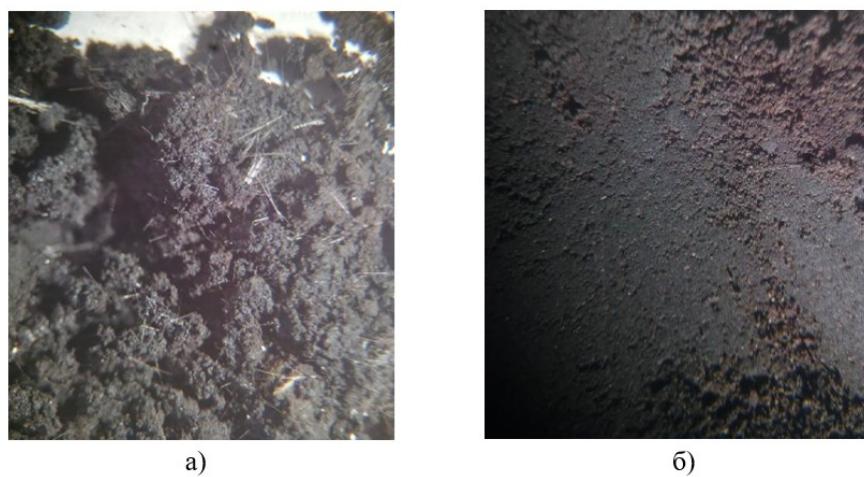


Рисунок 1 - Фотографии смеси асфальтовяжущего вещества под микроскопом МБС-9 с 14-кратным увеличением:
 а - армированного стекловолокном (длина волокон более 10 мм) и смеси; б - армированного хризотил-асбестовыми волокнами марки А-6К-30
 DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10.1>

Хризотил-асбест представляет собой гидросиликат магния, химический состав которого наиболее близок к тальку. Элементарными кристаллами хризотила являются тончайшие трубочки-фибриллы диаметром в сотые доли микрон. Данная микроструктура очень схожа с целлюлозными волокнами хлопка.

Сравнительно небольшая длина марочных хризотиловых волокон (в среднем 0,5...1 мм) и, в связи с этим, почти порошкообразная структура А-6К-30 позволяет максимально качественно распределить волокна в смеси асфальтовяжущего. Создаётся наиболее однородная структура смеси асфальтовяжущего (рис. 1 б). Прочность на разрыв волокон хризотил-асбеста составляет более 300 МПа. Благодаря этому волокна хризотил-асбеста способствуют значительному повышению предела прочности асфальтовяжущего или асфальтобетона на растяжение при изгибе [8]. Волокна хризотила создают связи не только с соседними частицами минерального порошка, но также и связи вторых, третьих и более порядков (волокно длиной 1 мм может обеспечить связь минимум с пятнадцатью частицами МП) [10].

Введение в асфальтовяжущие хризотиласбестовых волокон марки А-6К-30 до 1,5% позволило повысить прочность образцов асфальтовяжущих при сжатии на 10% (рис. 2 а) и на растяжение при изгибе более чем в 1,5 раза (рис. 2 б).

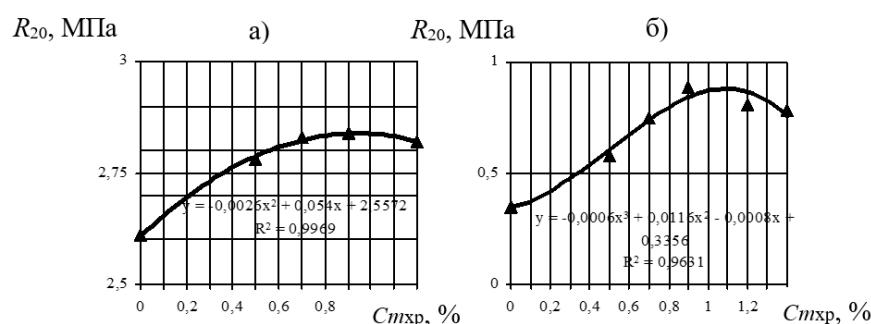


Рисунок 2 - Зависимость предела прочности асфальтовяжущего при сжатии (а) и на растяжение при изгибе (б) при 20 °C (R₂₀) от массовой концентрации хризотиласбестовых волокон марки А-6К-30 (C_{m_xp})
 DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10.2>

Использование в качестве дисперсной арматуры хризотиловых волокон большей длины (марка А-4-40) в асфальтовяжущих на известняковом МП также позволило повысить их деформационно-прочностные свойства (рис. 3). Предел прочности при сжатии повысился до 8%, а значения предела прочности на растяжение при изгибе аналогичны результатам с хризотилом марки А-6К-30.

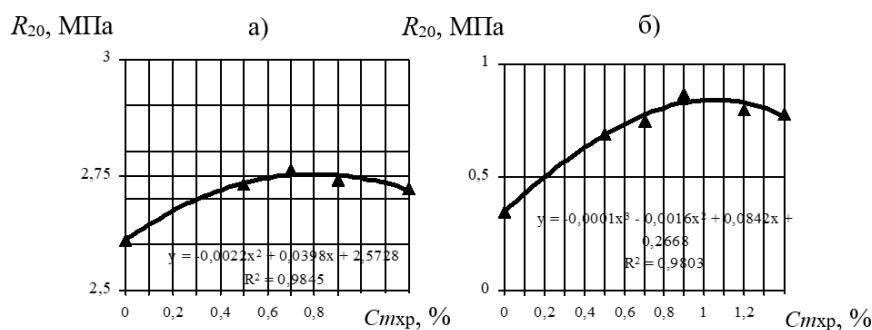


Рисунок 3 - Зависимость предела прочности асфальтовяжущих при сжатии (а) и на растяжение при изгибе (б) при 20 °C (R_{20}) от массовой концентрации хризотиласбестовых волокон марки А-4-40 ($C_{m_{xp}}$)

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10.3>

Повышенная длина волокон хризотил-асбеста положительно влияет на прочность при растяжении, однако снижаются показатели прочности при сжатии. Вероятно, большая длина волокон способствует их комкованию внутри микроструктуры. Комки и нераспределившиеся пучки волокон с диаметром более 30 мкм раздвигают зерна минерального порошка, тем самым ослабляя или разрушая ориентированный слой органического вяжущего, что приводит к снижению прочностных характеристик. Данный отрицательный эффект наиболее заметен при армировании асфальтовяжущего волокнами с длиной более 10 мм (рис. 1 а).

Использование дисперсной арматуры повышает битумоёмкость смеси, в связи с этим требуется постоянное регулирование концентрации органического вяжущего. Для получения наиболее точного концентрационного соотношения компонентов в дисперсно-армированном асфальтовяжущем веществе целесообразно выполнить оптимизацию состава методом экспериментально-статистического планирования эксперимента.

Составлен композиционный несимметричный план на трех целочисленных уровнях (-1; 0; +1) с коэффициентом корреляции между факторами $r_i, j < 0,1; i, j = 1, 2, 3$ и $i \neq j$. Факторы варьирования для исследуемых систем: концентрация армирующей добавки (% от массы МП), содержание битума БНД 70/100 (% свыше массы МП).

Регрессионный анализ выполнен в программе PlanExp B-D13 с построением графиков функций отклика. Предел прочности асфальтовяжущих при сжатии при 20 °C и предел прочности на растяжение при изгибе при 20 °C аппроксимированы полиномами второй степени.

Оптимальные концентрации для каждой из исследуемых систем определяли через область допустимых значений факторов X_1, X_2 . Эти области ограничены поверхностями уровня функций отклика по каждому из параметров оптимизации (таблица 1). Для определения направления ограничения для каждой функции отклика приняты значения в допустимой области, близкие к граничным. По программе исследований для указанных двух значений каждого из параметров оптимизации (Y_1, Y_2) были рассчитаны значения факторов X_1, X_2 , удовлетворяющих уравнению функций отклика для каждой из двух систем.

Факторы варьирования системы «битум БНД 70/100 — хризотил-асбестовые волокна марки А-6К-30 — известняковый минеральный порошок» приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Значение факторов варьирования, действующих на систему «битум БНД 70/100 – хризотил-асбестовые волокна марки А-6К-30 – известняковый минеральный порошок»

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10.4>

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	-1 уровень	0 уровень	+1 уровень
1	X_1	Содержание хризотила марки А-6К-30	%	0,2	0,8	1,0	1,2
2	X_2	Нефтяной дорожный битум	%	2	14	16	18

В таблице 2 приведены параметры оптимизации системы «битум БНД 70/100 — хризотил-асбестовые волокна марки А-6К-30 — известняковый минеральный порошок».

Таблица 2 - Параметры оптимизации и их предельные значения

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10.5>

№ п/п	Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Размерность	Граничное значение функции отклика
1	Y ₁	Предел прочности при сжатии при 20 °C	МПа	Не менее 2,89 МПа
2	Y ₂	Предел прочности на растяжение при изгибе при 20 °C	МПа	Не менее 0,88 МПа

Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Матрица планирования и результаты эксперимента

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10.6>

№ п/п	X ₁	X ₂	X ₁ , % хризотила марки А-6К-30	X ₂ , % битума	Y ₁ , R ²⁰ _{сж} , МПа (средние значения)	Y ₂ R ²⁰ _{изг} , МПа (средние значения)
1	0	0	1,0	16	2,73	0,88
2	+	+	1,2	18	2,72	0,75
3	–	–	0,8	14	2,55	0,32
4	0	+	1,0	18	2,71	0,74
5	0	–	1,0	14	2,67	0,52
6	+	0	1,2	16	2,75	0,64
7	–	0	0,8	16	2,68	0,82
8	+	–	1,2	14	2,34	0,31
9	–	+	0,8	18	2,59	0,52

Полученные уравнения регрессии проверены на адекватность и удовлетворяют критерию Фишера. В каждой точке плана было по четыре исследуемых образца асфальтовяжущего.

Уравнения функции отклика:

$$Y_1 = 2,883 + 0,019X_1 + 0,154X_2 - 0,036X_1^2 - 0,022X_2^2 + 0,092X_1X_2, \quad (1)$$

Дисперсия адекватности данной математической модели — 0,005; табличное значение критерия Фишера: F_{табл} = 4,35; расчетное значение критерия Фишера: F = 4.

$$Y_2 = 0,961 + 0,015X_1 + 0,152X_2 - 0,139X_1^2 - 0,271X_2^2 + 0,036X_1X_2. \quad (2)$$

Дисперсия адекватности данной математической модели – 0,004; табличное значение критерия Фишера: $F_{\text{табл}} = 4,35$; расчетное значение критерия Фишера: $F = 3$.

Графические интерпретации полученных уравнений функций отклика (1) и (2) приведены на рисунках 4 и 5.

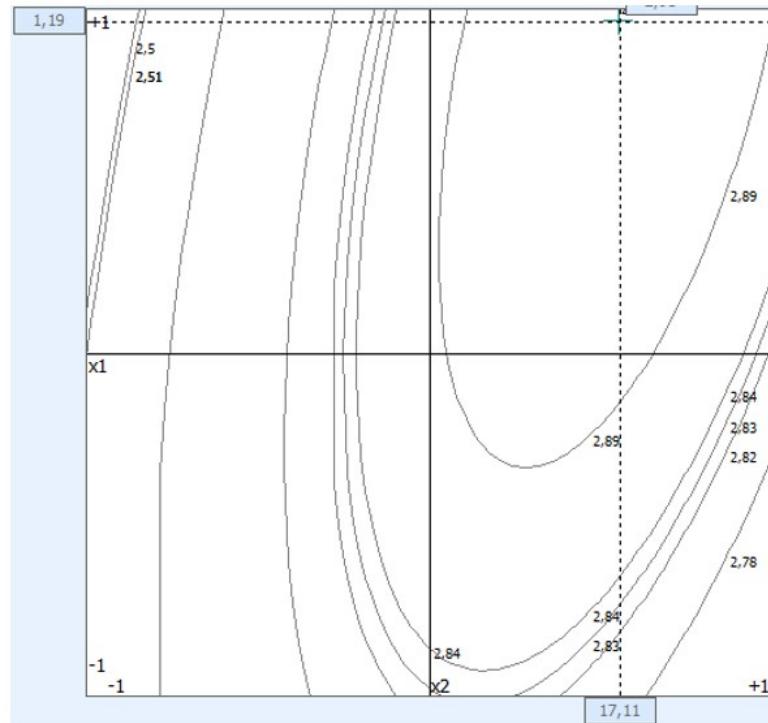


Рисунок 4 - Геометрическая интерпретация уравнения (1), характеризующего изменение предела прочности асфальтовяжущего при сжатии при 20°C ($R_{\text{сж}}^{20}$) от действующих факторов

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10.7>

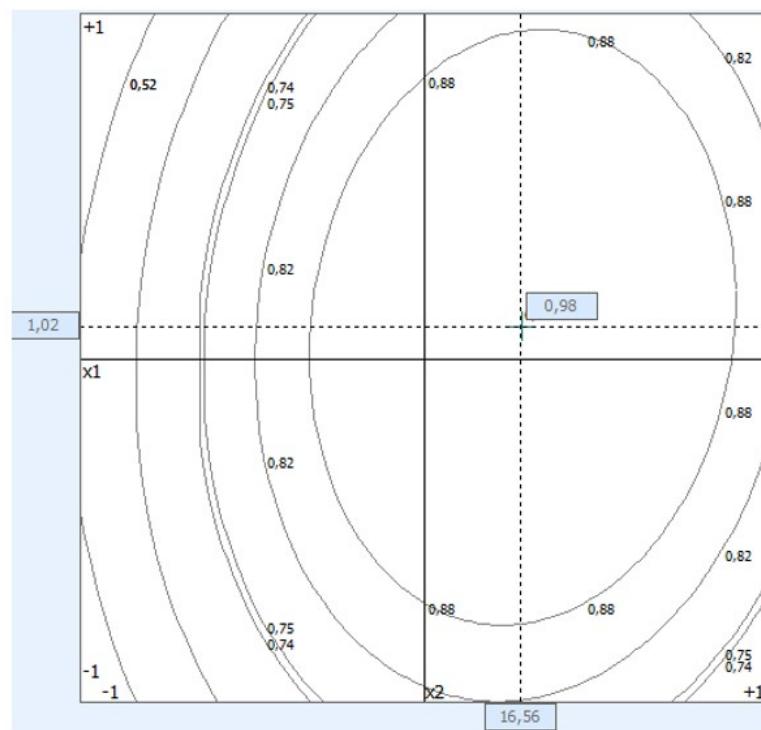


Рисунок 5 - Геометрическая интерпретация уравнения (2), характеризующего изменение предела прочности асфальтовяжущего на растяжение при изгибе при 20°C ($R_{\text{изг}}^{20}$) от действующих факторов

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.10.8>

Таким образом, в дисперсно-армированных хризотил-асбестовыми волокнами марки А-6К-30 асфальтовяжущих оптимальная массовая концентрация хризотила составляет 1...1,1%, оптимальная концентрация битума — 16,7...17,2%.

Заключение

Экспериментально доказано, что введение в асфальтовяжущие хризотил-асбестовых волокон марок А-6К-30 и А-4-40 до 1,5% позволило повысить прочность образцов асфальтовяжущих при сжатии на 8–10% и на растяжении при изгибе более чем в 1,5 раза.

Показано, что использование хризотил-асбестовых волокон повышенной длины (марка А-4-40) не снижает прочность на растяжение при изгибе, однако показатели прочности при сжатии падают на 4%.

Выполнен расчёт оптимизации системы «битум БНД 70/100 — хризотил-асбестовые волокна марки А-6К-30 — известняковый минеральный порошок». Установлено, что оптимальная концентрация хризотил-асбестовых волокон составила 1...1,1%, оптимальная концентрация битума — 16,7...17,2%.

Выполненные исследования показывают «чувствительность» микроструктуры асфальтобетона к длине волокон и их концентрации. Комки и не распределившиеся пучки с диаметром более 30 мкм волокон хризотила марки А-4-40 раздвигают зерна минерального порошка, тем самым ослабляя или разрушая ориентированный слой битума на поверхности минерального порошка и хризотил-асбестовых волокон, что приводит к снижению прочности при сжатии. Данный отрицательный эффект наиболее заметен при армировании асфальтовяжущего волокнами длиной более 10 мм. Возможно, данный эффект не так выражается в традиционной асфальтобетонной смеси, где волокна перенаправляются не только на микро-, но и на мезо- и макроструктуры, что создаёт основу для наших дальнейших исследований.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Underwood S. Microstructural investigation of asphalt concrete for performing multiscale experimental studies / S. Underwood, Y. Richard Kim // International Journal of Pavement Engineering. — 2013. — № 5. — P. 498–516. — DOI: 10.1080/10298436.2012.746689
2. Ефанов Н.Е. Влияние технологии дисперсного армирования асфальтобетонных смесей на процессы их структурообразования / Н.Е. Ефанов, В.Н. Лукашевич, И.В. Пиряев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2007. — № 1. — С. 204–209.
3. Ala Abbas A. Linear and Nonlinear Viscoelastic Analysis of the Microstructure of Asphalt Concretes / A. Ala Abbas, A.T. Papagiannakis, E. Masad // Journal of Materials in Civil Engineering. — 2004. — № 16. — P. 133–139. — DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:2(133)
4. Haichuan J. Study of the improvement of aramid fiber dispersion and its effect on the fatigue properties of asphalt mixture / J. Haichuan, S. Underwood, Sheng Yanping et al. // Construction and Building Materials. — 2025. — № 494. — P. 343–404. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2025.143404
5. Андронов С.Ю. Сравнение результатов получения дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей / С.Ю. Андронов // Технические науки. Фундаментальные исследования. — 2016. — № 12. — С. 14–18.
6. Agathon Honest M. M. Performance of Glass Wool Fibers in Asphalt Concrete Mixtures / M. Agathon Honest M., Noh Si Hyeon, K. Oh-Sun et al. // Materials. — 2020. — 21. — P. 46–99. — DOI: 10.3390/ma13214699
7. Кистойчева К.И. Композитные материалы в строительстве / К.И. Кистойчева // Тенденции развития науки и образования.. — 2024. — № 115-16. — С. 99–101.
8. Пшеничных О.А. Комплексно-модифицированные дорожные асфальтобетоны, микроармированные волокнами хризотил-асбеста dis.. ...Candidate of Sciences: 2.1.5 Строительные материалы и изделия : защищена 2024-10-10 : утв. 2025-02-05 / О.А. Пшеничных. — Макеевка: 2024. — 147 с. — URL: https://donnasa.ru/?page_id=105389&lang=ru.
9. Калгин Ю.И. Структурно-механические свойства модифицированного горячего и теплого дорожного асфальтобетона / Ю.И. Калгин, А. Алшахван, Н.И. Паневин // Научный журнал строительства и архитектуры. — 2022. — № 3 (67). — С. 124–129. — DOI: 10.36622/vstu.2022.67.3.012
10. Алшахван А. Улучшение структурно-механических свойств теплого асфальтобетона методом полимерно-дисперсного армирования / А. Алшахван, Ю.И. Калгин // Научный журнал строительства и архитектуры. — 2021. — № 1 (61). — С. 33–61. — DOI: 10.36622/vstu.2021.61.1.005

Список литературы на английском языке / References in English

1. Underwood S. Microstructural investigation of asphalt concrete for performing multiscale experimental studies / S. Underwood, Y. Richard Kim // International Journal of Pavement Engineering. — 2013. — № 5. — P. 498–516. — DOI: 10.1080/10298436.2012.746689
2. Efanov N.E. Vliyanie tekhnologii dispersnogo armirovaniya asfal'tobetonn'x smesej na processy' ix strukturoobrazovaniya [The influence of the technology of dispersed reinforcement of asphalt concrete mixtures on the processes of their structure formation] / N.E. Efanov, V.N. Lukashevich, I.V. Piryaev // Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. — 2007. — № 1. — P. 204–209. [in Russian]
3. Ala Abbas A. Linear and Nonlinear Viscoelastic Analysis of the Microstructure of Asphalt Concretes / A. Ala Abbas, A.T. Papagiannakis, E. Masad // Journal of Materials in Civil Engineering. — 2004. — № 16. — P. 133–139. — DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:2(133)
4. Haichuan J. Study of the improvement of aramid fiber dispersion and its effect on the fatigue properties of asphalt mixture / J. Haichuan, S. Underwood, Sheng Yanping et al. // Construction and Building Materials. — 2025. — № 494. — P. 343–404. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2025.143404
5. Andronov S.Yu. Sravnenie rezul'tatov polucheniya dispersno-armirovann'x asfal'tobetonn'x smesej [Comparison of the results of obtaining dispersion-reinforced asphalt concrete mixtures] / S.Yu. Andronov // Technical Sciences. Fundamental Research. — 2016. — № 12. — P. 14–18. [in Russian]
6. Agathon Honest M. M. Performance of Glass Wool Fibers in Asphalt Concrete Mixtures / M. Agathon Honest M., Noh Si Hyeon, K. Oh-Sun et al. // Materials. — 2020. — 21. — P. 46–99. — DOI: 10.3390/ma13214699
7. Kistojcheva K.I. Kompozitny'e materialy' v stroitel'stve [Composite materials in construction] / K.I. Kistojcheva // Trends in the development of science and education. — 2024. — № 115-16. — P. 99–101. [in Russian]
8. Pshenichny'x O.A. Kompleksno-modificirovann'ye dorozhny'e asfal'tobetony', mikroarmirovann'ye voloknami xrizotil-asbesta [Complex-modified road asphalt concretes micro-reinforced with chrysotile asbestos fibers] dis....of PhD in : 2.1.5 Строительные материалы и изделия : defense of the thesis 2024-10-10 : approved 2025-02-05 / O.A. Пшеничных. — Makeevka: 2024. — 147 p. — URL: https://donnasa.ru/?page_id=105389&lang=ru. [in Russian]
9. Kalgin Yu.I. Strukturno-mekhanicheskie svojstva modificirovannogo goryachego i teplogo dorozhnogo asfal'tobetona [Structural and mechanical properties of modified hot and warm asphalt concrete] / Yu.I. Kalgin, A. Alshaxvan, N.I. Panevin // Scientific Journal of Construction and Architecture. — 2022. — № 3 (67). — P. 124–129. — DOI: 10.36622/vstu.2022.67.3.012 [in Russian]
10. Alshaxvan A. Uluchshenie strukturno-mekhanicheskix svojstv teplogo asfal'tobetona metodom polimerno-dispersnogo armirovaniya [Improving the structural and mechanical properties of warm asphalt concrete using polymer-dispersed reinforcement] / A. Alshaxvan, Yu.I. Kalgin // Scientific Journal of Construction and Architecture. — 2021. — № 1 (61). — P. 33–61. — DOI: 10.36622/vstu.2021.61.1.005 [in Russian]