

EDN: LCAVTK

УДК 691.168

**О. А. ПШЕНИЧНЫХ, Е. В. ОБОЛЕНСКАЯ, А. В. ВОЛОЩУК, Д. П. ЛУНИН, А. В. ШЕЛУДЯКОВ, А. Д. ЗОЛОТИН**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевка, г. Макеевка

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХ ВИДОВ АСБЕСТА В КАЧЕСТВЕ АРМИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ**

**Аннотация.** Данная статья посвящена сравнительному анализу свойств стандартного асфальтобетона тип Б и дисперсно-армированного асфальтобетона тип Б двумя видами асбеста. Армирование асфальтобетонных смесей с введением 1 % мас. волокон показало положительный рост физико-механических свойств материала. Сравнивались результаты армированного асфальтобетона тип Б 1 % мас. амфиболовым волокном асбеста, 1 % мас. хризотил-асбестовым волокном, а также стандартного асфальтобетона тип Б. Введение волокон асбеста значительно повышает предел прочности при сжатии асфальтобетона. Предел прочности стандартного асфальтобетона типа Б при 20 °С составил 3,1 МПа. При армировании 1 % мас. хризотил-асбестовыми волокнами предел прочности при сжатии при 20 °С равен 5,1 МПа, а значение предела прочности при сжатии при 20 °С асфальтобетона типа Б, армированного амфиболовым волокном асбеста составило 4,7 МПа. Введение асбеста в состав асфальтобетонной смеси приводит к изменению коэффициента теплостойкости  $K_t = R_0/R_{20}$ , который варьируется в пределах от 3,2 до 3,6. Это обеспечивает дополнительную термическую стойкость материала.

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, хризотил-асбест, амфиболовый асбест, дисперсные волокна.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Асфальтобетонные смеси представляют собой критически важный компонент в современном дорожном строительстве, обеспечивая не только устойчивость и долговечность дорожных покрытий, но и играя ключевую роль в обеспечении безопасности движения транспортных средств. Однако существуют определенные проблемы, связанные с деформацией и прочностью асфальтобетона, что затрагивает его общую эффективность и долговечность. Одной из основных проблем является тенденция асфальтобетона к трещинам, особенно в условиях изменяющихся температур и интенсивного движения транспортных средств. Эти трещины приводят к деградации дорожного покрытия и, в конечном итоге, снижают его срок службы. Для решения данных проблем эффективным методом является модификация органического вяжущего в составе асфальтобетонной смеси. Внедрение модифицирующих добавок, таких как полимеры, может повысить устойчивость к трещинам и обеспечить более гибкий и прочный материал.

Дополнительно, введение дисперсных армирующих волокон в асфальтобетонную смесь является эффективным методом улучшения ее деформационных характеристик. Волокна создают внутреннюю структуру, которая усиливает сцепление между частицами, предотвращает распространение трещин и повышает общую прочность материала [1].

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В результате анализа работ [1–5], отсутствует сравнительный анализ свойств стандартного асфальтобетона тип «Б» и дисперсно-армированного асфальтобетона тип «Б» двумя видами асбеста (хризотил-асбест, амфиболовый асбест).

© О. А. Пшеничных, Е. В. Оболенская, А. В. Волощук, Д. П. Лунин, А. В. Шелудяков, А. Д. Золотин, 2024



## ЦЕЛИ

Сравнительный анализ влияния дисперсных волокон хризотил-асбеста и волокон амфиболового асбеста в качестве армирующего материала в асфальтобетонной смеси.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Асбест представляет собой минерал с уникальным химическим и физическим профилем, что обуславливает его привлекательность в роли армирующего компонента в асфальтобетонных смесях [2, 3]. Он отличается высокой термостойкостью, обеспечивая устойчивость при эксплуатации в условиях температурного диапазона от 500 до 550 °С. Важным аспектом является его термическая стабильность, исключающая плавление при температуре до 1 550 °С. Структурно асбест представлен длинными волокнами с поперечно-волокнистой архитектурой, протяженностью от долей миллиметра до 5...6 см (в редких случаях до 16 см) и диаметром около 10–30 нм. Отметим, что волокна обладают внушительной прочностью при растяжении, достигая значений в пределах 2 500...3 000 МПа [4, 5]. Использование асбеста в асфальтобетоне диктуется его уникальными механическими свойствами, которые способствуют усилению структуры материала и улучшению его деформационных характеристик, делая его более устойчивым к воздействию нагрузок и температурным воздействиям в различных климатических условиях.

Химический состав асбеста включает в себя силикаты, такие как магниевые и железосодержащие силикаты. Основные разновидности асбеста включают хризотил, амфиболовый асбест, кристотил и другие. Каждый вид асбеста обладает своим уникальным химическим и структурным профилем, что сказывается на его характеристиках. Хризотил представляет собой серпентиновый минерал, где листовидные структуры образуют своеобразную спираль. Амфиболовый асбест включает в себя различные разновидности, такие как антопиллит и крокидолит, и характеризуется длинными, игольчатыми кристаллами. Кристотил обычно имеет волокнистую структуру с цилиндрическими волокнами. Из-за различий в химическом составе и структуре этих видов асбеста их механические и термические свойства также различны. Эти разнообразие характеристики делают их ценными в зависимости от конкретного применения, включая использование в асфальтобетонных смесях для повышения их механических свойств и долговечности.

Химически активные группы, такие как гидроксильные (-ОН), карбоксильные (-COOH) и оксидные группы, присутствующие на поверхности волокон асбеста, обладают способностью взаимодействовать с органическими вяжущими веществами, применяемыми в дорожном строительстве. Особенно важными являются гидроксильные и карбоксильные группы, которые, при воздействии новыми веществами, такими как щелочи, образуют соли. Соли, в свою очередь, способствуют повышению адгезии органических вяжущих к поверхности хризотил-асбестовых волокон.

В процессе движения автомобильного колеса по дороге волокна асбеста эффективно распределяют давление, возникающее от приложенной нагрузки. Это способствует снижению локальных напряжений и предотвращает формирование трещин и деформаций в материале. Из-за высокой прочности и устойчивости к растяжению волокна асбеста выполняют также функцию амортизаторов, смягчая воздействие нагрузки и тем самым снижая вероятность повреждений, что, в конечном итоге, повышает общую стойкость асфальтобетонного покрытия к динамическим воздействиям.

В свете разнообразия асбеста, два из них, которые находят практическое применение в дорожном строительстве, – хризотиловый и амфиболовый асбесты (таблица 1). Хризотиловый асбест, с его термостойкими свойствами и высокой устойчивостью к растяжению, амфиболовый асбест, обладающий схожими качествами и уникальной химической структурой, представляют оптимальные выборы для

Таблица 1 – Характеристики хризотилового и амфиболового асбеста

Вид асбеста	Температура плавления	Тип волокон	Длина волокон	Диаметр волокон	Прочность при растяжении (МПа)	Плотность (г/см <sup>3</sup> )
Хризотил	Приблизительно 1 500 °С	Криволинейные волокна	До 50 мм	0,2...0,5 мкм	2 500...3 000	2,5
Амфиболовый асбест	Приблизительно 1 300 °С	Прямолинейные волокна	До 300 мм	0,2...0,5 мкм	2 500...3 000	3,0...3,4

интеграции в асфальтобетонные смеси с целью улучшения их деформационно-прочностных характеристик.

Введение асбестовых волокон в асфальтобетонные смеси оказывает существенное воздействие на их физико-механические характеристики. Например, стандартный асфальтобетон демонстрирует предел прочности при сжатии около 2,5...3,0 МПа при 20 °С. Введение 1 % массы хризотил-асбестовых волокон повышает данный показатель до 5,1 МПа. Аналогично, при модификации асфальтобетона с применением 1 % массы амфиболового асбеста, предел прочности при сжатии увеличивается до 4,7 МПа. Стоит отметить, что введение асбеста в состав асфальтобетонной смеси приводит к снижению коэффициента теплостойкости армированного асфальтобетона до значений от 3,2 до 3,6, обеспечивая тем самым дополнительную термическую стойкость материала.

В условиях повышенных температур асбестовые волокна, вводимые в асфальтобетонную смесь, проявляют структурную стабильность, основанную на их термической устойчивости. Даже при высоких положительных температурах волокна сохраняют прочность и не подвергаются деформации. Более того, их уникальная способность эффективно передавать тепловые нагрузки способствует снижению температурных напряжений в материале асфальтобетона, что предотвращает или смягчает риски возникновения деформаций и трещин.

Эффективное распределение тепловых нагрузок в матрице асфальтобетона, обеспечиваемое волокнами асбеста, играет ключевую роль в предотвращении температурных напряжений. В условиях повышенных температур материал асфальтобетона подвержен деформациям и трещинам из-за термического расширения. Увеличение числа контактов между компонентами асфальтобетонной смеси благодаря волокнам асбеста эффективно распределяет тепловые нагрузки и снижает вероятность возникновения деформаций и трещин.

Поэтому структура асфальтобетона, модифицированная волокнами асбеста, демонстрирует повышенную устойчивость к высоким температурам и обладает меньшей склонностью к деформациям и трещинам по сравнению со стандартным асфальтобетоном. Данный фактор в целом способствует повышению термической устойчивости и долговечности материала.

Армирование асфальтобетона волокнами асбеста эффективно снижает термические напряжения, смягчая воздействие высоких температур на материал. Волокна асбеста активно взаимодействуют с компонентами смеси, обеспечивая равномерное распределение тепловых нагрузок и, следовательно, минимизацию рисков появления деформаций и трещин. Это является ключевым фактором в повышении термической стойкости и долговечности асфальтобетонных конструкций (табл. 2).

## ВЫВОДЫ

В результате анализа воздействия двух разновидностей асбеста на свойства асфальтобетона можно отметить несколько ключевых моментов. Во-первых, как показывают исследования, оба типа асбеста – хризотил и амфиболовый – проявляют потенциал для улучшения физико-механических характеристик асфальтобетона, таких как предел прочности при сжатии. Например, интеграция 1 % масс. хризотил-асбестовых волокон в состав асфальтобетонной смеси приводит к увеличению предела прочности при сжатии при 20 °С до 5,1 МПа. Аналогичная модификация с применением 1 % масс. амфиболового асбеста приводит к повышению предела прочности при сжатии до 4,7 МПа.

Во-вторых, введение асбеста в асфальтобетон может существенно повысить теплостойкость материала. Например, коэффициент теплостойкости асфальтобетона после модификации асбестом увеличивается до значений от 3,2 до 3,6.

Тем не менее, для успешного введения волокон в асфальтобетонную смесь требуется дополнительное исследование. Более глубокое изучение воздействия асбестовых волокон на долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях различных эксплуатационных нагрузок и климатических условий. Кроме того, следует оценить влияние данного материала на другие свойства асфальтобетона, такие как водонасыщение, устойчивость к агрессивным средам, адгезия, и износостойкости. Данные аспекты могут существенно повлиять на общую эффективность и долговечность асфальтобетонных покрытий.

**Таблица 2** – Физико-механические свойства асфальтобетона типа Б с содержанием двух видов асбестовых волокон

№ п/п	Показатели	Битум БНД 40/60 (P <sub>25</sub> = 59·0,1 мм), МП известняковый не активирован (Б = 5 %)	Битум БНД 40/60 (P <sub>25</sub> = 59·0,1 мм) асфальтобетонная смесь микроармирована 1 % мас. хризотил-асбестовым волокном (Б = 5,5 %)	Битум БНД 40/60 (P <sub>25</sub> = 59·0,1 мм) асфальтобетонная смесь микроармирована 1 % мас. амфиболовым волокном (Б = 5,5 %)
1	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2 400	2 415	2 350
2	Водонасыщение, W, % от объема	2,9	1,4	1,1
3	Предел прочности при сжатии, МПа, при 0 °С 20 °С 50 °С	5,8 3,1 1,2	7,0 5,1 2,2	6,5 4,7 2,0
4	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, K <sub>вд</sub>	0,85	0,95	0,92
5	Коэффициент теплостойкости, K <sub>t</sub> =R <sub>0</sub> /R <sub>50</sub>	6,5	3,6	3,2

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sayyed Mahdi Abtahi. Fiber-reinforced asphalt-concrete / Sayyed Mahdi Abtahi, Mohammad Sheikhzadeh, Sayyed Mahdi Hejazi. – Текст : непосредственный // A review Construction and Building Materials. – June 2010. – Issue 6. – P. 871–877.
2. Булдаков, С. И. Перспективы и проблемы использования отходов производства асбеста для дорожного строительства / С. И. Булдаков, А. Ю. Дедюхин. – Текст : непосредственный // Вестник московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2008. – № 3. – С. 115–117.
3. Пшеничных, О. А. Опыт применения дисперсно-армированных асфальтобетонов в дорожном строительстве / О. А. Пшеничных, Д. С. Скорик. – Текст: электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-1(141) Современные строительные материалы. – С. 121–127. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2020/2020-1\(141\)/st\\_18\\_pshenichnyh\\_skorik.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-1(141)/st_18_pshenichnyh_skorik.pdf) (дата публикации: 17.02.2020).
4. Джаманбалин, К. К. Структура и свойства нанотрубок хризотил-асбеста / К. К. Джаманбалин. – Текст : непосредственный // Гылыми хабаршысы вестник науки. – 2005. – № 3. – С. 66–76.
5. О формировании структуры адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего вещества на поверхности минеральных материалов дорожного асфальтобетона / В. И. Братчун, О. А. Пшеничных, Е. А. Ромасюк [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – Выпуск 2022-1(153) Современные строительные материалы. – С. 114–121. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2022/2022-1\(153\)/st\\_16\\_bratchun\\_pshenichnih\\_romasyuk\\_ponomarenko\\_vasilyeva\\_koval\\_prisyagnyuk\\_kaminskiy.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-1(153)/st_16_bratchun_pshenichnih_romasyuk_ponomarenko_vasilyeva_koval_prisyagnyuk_kaminskiy.pdf) (дата публикации: 23.03.2018).

Получена 28.12.2023

Принята 26.01.2024

OLEG PSHENICHNYKH, EKATERINA BOLENSKAYA,  
ALEXANDER VOLOSHCHUK, DANIL LUNIN, ALEXANDER SHELDYAKOV,  
ALEXANDER ZOLOTIN  
COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF TWO TYPES OF ASBESTOS AS A REINFORCING MATERIAL FOR ASPHALT  
CONCRETE MIXTURE

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Donetsk People's Republic, Makeevka

**Abstract.** This article is devoted to the comparative analysis of standard asphalt concrete type B and dispersed reinforced asphalt concrete type B with two types of asbestos and their influence on the physical and mechanical properties of asphalt concrete mixture. Reinforcement of asphalt concrete mixtures with the introduction of 1 % fibers showed a positive increase in the physical and mechanical properties of the material. The results of reinforced asphalt concrete type B with 1 % amphibole asbestos fiber, 1 % chrysotile asbestos fiber, and standard asphalt concrete type B were compared. The introduction of asbestos fibers significantly increases the compressive strength of asphalt concrete. The tensile strength of standard asphalt concrete type B at 20 °C was 3.1 MPa, reinforced with 1 % chrysotile-asbestos fibers, the values of the compressive strength at 20 °C were 5.1 MPa, and the value of the compressive strength at 20 °C of the asphalt concrete mixture type B reinforced with amphibious asbestos fiber was 4.7 MPa. The introduction of asbestos in the composition of the asphalt concrete mixture leads to a change in the heat resistance coefficient  $K_t = R_0/R_{20}$ , which varies from 3.2 to 3.6. This provides additional thermal resistance of the material.

**Keywords:** asphalt concrete mix, asphalt concrete, chrysotile asbestos, amphibole asbestos, dispersed fibers.

**Пшеничных Олег Александрович** – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимерсеробетоны, армированные хризотил-асбестовыми волокнами.

**Оболенская Екатерина Васильевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оптимальные конструкции нежестких дорожных одежд с устройством основания из органо-минеральных смесей по технологии холодного ресайклинга.

**Шелудяков Александр Валентинович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оптимальные конструкции нежестких дорожных одежд с устройством основания из золошлаковых материалов, укрепленных цементом.

**Волощук Александр Вадимович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: битумополимерные вяжущие для производства асфальтополимербетонных смесей повышенного качества.

**Лунин Данил Павлович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: повышение физико-механических свойств модифицированных органических вяжущих для дорожного строительства.

**Золотин Александр Дмитриевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: применение зологрунтовых смесей, укрепленных вяжущими материалами в строительстве дорог.

**Pshenichnykh Oleg** – assistant, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: complex modified asphalt-polymer sulfur concrete reinforced with chrysotile-asbestos fibers.

**Obolenskaya Ekaterina** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: optimal designs of non-rigid road pavements with a base made of organic-mineral mixtures using cold recycling technology.

**Voloshchuk Alexander** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: bitumen-polymer binders for the production of asphalt-polymer concrete mixtures of improved quality.

**Lunin Danil** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: improving the physical and mechanical properties of modified organic binders for road construction.

**Sheludyakov Alexander** – master’s student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: optimal designs of flexible road pavements with a base made of ash and slag materials reinforced with cement.

**Zolotin Alexander** – master’s student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: the use of ash-soil mixtures reinforced with binding materials in road construction.