

УДК 691.5

О. А. ПШЕНИЧНЫХ, Д. С. СКОРИК

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ
АСФАЛЬТОБЕТОНОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Аннотация. В статье приведены сравнительные результаты зарубежных и отечественных исследований традиционных и дисперсно-армированных асфальтобетонов с применением синтетических фиброволокон с оценкой основных физико-механических и деформационно-прочностных показателей. Также показаны основные технические характеристики различных видов волокон, применяемых в настоящее время для производства композиционных стройматериалов. Показано, что благодаря дисперсному армированию повышается сдвигоустойчивость при положительных температурах на 20 %, снижается интенсивность трещинообразования при отрицательных температурах, улучшается адгезионная связь между формирующейся в составе асфальтобетонной смеси дисперсной арматурой и пленкой битума. Введение синтетических волокон при оптимально подобранном составе асфальтобетона позволяет увеличить динамический модуль упругости и статическую пластичность материала, что приводит к увеличению срока службы асфальтобетонных покрытий.

Ключевые слова: асфальтобетон, армирование, фиброволокно, свойства армированного асфальтобетона.

ВВЕДЕНИЕ

Опыт Российской Федерации по эксплуатации автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями показывает, что реальные сроки службы дорожных конструкций нередко значительно ниже нормативных. Постоянно поднимается вопрос по поводу ухудшения эксплуатационного состояния автомобильных дорог. В настоящее время средний срок службы асфальтобетонных покрытий до капитального ремонта, как правило, не превышает 5–7 лет. Таким образом, снижение сроков службы приводит в целом к ухудшению транспортно-эксплуатационного состояния дорожной сети, требует ежегодного увеличения объемов ремонтных работ, накапливая годами «недоремонт» автомобильных дорог.

В мировой практике дорожного строительства прочно утвердилось мнение, что радикальным способом повышения качества битумов является их модификация полимерами. В этих целях используют термопласты (полиэтилен), термоэластопласты (сополимеры типа стирол – бутадиен – стирол), эластомеры (натуральный и синтетический каучуки), резину, серу, полиолефины, минеральные порошкообразные и волокнистые отходы промышленных производств и др. [1, 2].

В тоже время, введение полимерных добавок в нефтяные битумы не всегда способно обеспечить необходимые показатели асфальтобетонов по сдвигоустойчивости при высоких положительных температурах, трещиностойкости при отрицательных температурах и усталостной долговечности при воздействии длительных динамических нагрузок. Это связано с тем, что в асфальтобетонных смесях, приготовленных по традиционной технологии, связь между частицами минерального материала, а, следовательно, и прочность конгломерата, обеспечивается преимущественно деформационными свойствами адсорбционно-сольватных слоев асфальтовязущего вещества. При этом связь каждой материальной частицы осуществляется только с рядом других частиц, которые окружают ее (связь ближнего порядка). Отсутствует связь минеральной частицы с частицами, которые отделены от нее рядами других частиц (связь дальнего порядка) [4].

Следовательно, для повышения долговечности асфальтобетонных покрытий необходимо решить ряд задач: обеспечить устойчивость асфальтобетона к трещинообразованию в осенне – зимне – весенний период, повысить его сопротивляемость к сдвиговым нагрузкам в летний период наряду с повышением усталостной долговечности.

В настоящее время одним из решений повышения долговечности асфальтобетонных покрытий является применение дисперсно-армированных асфальтобетонов. В качестве дисперсной арматуры традиционно применяют стальные и полипропиленовые фибры. Такой способ армирования позволяет повысить сопротивление к динамическим нагрузкам, значительно снизить образование усталостных трещин, повысить предел прочности при изгибе и сдвиге. В то же время недостаточно изучены технологические свойства армированных асфальтобетонных смесей, а также деформационно-прочностные характеристики асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой.

Цель работы состоит в рассмотрении и анализе зарубежного и отечественного опыта применения полимерных армирующих волокон для асфальтобетонных смесей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ СТАТЬИ

В асфальтобетонной смеси порядка 80...90 % суммарной поверхности минеральных материалов составляет поверхность зерен с размером частиц менее 0,071 мм. Расчет количества частиц различных фракций показывает, что в таких же пределах находится и количество частиц менее 0,071 мм. Следовательно, 80...90 % всех контактов происходит между частицами с размером менее 0,071 мм. При длине волокна дисперсной арматуры 20 мм частица размером 0,071 мм за счет наличия дисперсной арматуры будет связана с 282 частицами [4]. Учитывая то, что вдоль волокна расположены два и более ряда частиц, одним отрезком волокна будут соединены как минимум 564 частицы. А поскольку каждый отрезок армирующего волокна может контактировать с двумя – тремя другими отрезками волокон, общее количество частиц, связанных этими волокнами, может достигать 1 700. Таким образом, коэффициент связей в случае дисперсного армирования будет в пределах 1 500. В тоже время в асфальтобетонах, полученных по традиционной технологии, он равен шести. Именно увеличение количества связей между частицами, на наш взгляд, позволяет существенно повысить деформационно-прочностные характеристики дисперсно-армированных асфальтобетонов. Приведенные теоретические соображения дополнительно объясняют причины повышения прочностных характеристик дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей, которые установили многие зарубежные и отечественные исследователи, в том числе А. Е. Мерзлякин, А. В. Акулич, Я. Н. Ковалев, И. П. Гамеляк [3].

Таким образом, при использовании дисперсной арматуры из минеральных волокон возможно расклинивание минеральных частиц асфальтобетонного вещества, асфальтового раствора и даже зерен щебня, когда диаметр волокон дисперсной арматуры превосходит толщину ориентированного слоя битума на поверхности этих минеральных частиц. Данный факт приводит к тому, что частицы минерального материала контактируют между собой не через ориентированный слой битума, а через слой объемного битума, что обуславливает снижение прочностных характеристик битумо-минеральных смесей при положительных температурах. Это может играть и положительную роль, так как наличие некоторого избытка объемного битума уменьшает интенсивность старения асфальтобетонного покрытия. Указанные особенности структурообразования дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей необходимо учитывать при проектировании их состава.

Очень важным фактором, влияющим на процессы структурообразования асфальтобетонов, является адгезия вяжущего к компонентам асфальтобетонной смеси. При введении в асфальтобетонную смесь отрезков химических волокон не всегда обеспечивается необходимая адгезия нефтяного битума к поверхности дисперсной арматуры. Для повышения адгезии волокна дисперсной арматуры обрабатывают поверхностно-активными веществами, что существенно усложняет технологию производства асфальтобетонных смесей. Повышение адгезии нефтяного битума к поверхности арматуры может быть достигнуто при формировании волокон дисперсной арматуры непосредственно в составе асфальтобетонной смеси. Для этого необходимо в асфальтобетонную смесь в процессе ее производства ввести через фильтры волокнообразующий полимер в виде расплава или раствора. При этом формирование армирующих волокон и создание пространственной армирующей решетки происходит непосредственно в смесителе. Такая технология дисперсного армирования позволяет увеличить длину дисперсной арматуры без возникновения комков. Часть волокон в процессе перемешивания волокнообразующего полимера с минеральным материалом, обработанным битумом, будет рваться. Однако образующиеся отрезки армирующего химического волокна будут иметь большую длину, чем в случае введения в смеситель готовых резаных химических волокон.

Известно большое количество видов волокон: минеральные, базальтовые, диабазовые, металлические, целлюлозные, стекловолокна, синтетические. Все эти виды волокон различаются по своей природе, размерам, особенностям применения и эффекту воздействия на свойства материала.

Основные технические характеристики различных видов волокон, применяемых в настоящее время для производства композиционных стройматериалов, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики применяемых видов волокон

Волокно	Плотность, г/см ³	Модуль упругости, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Удлинение при разрыве, %
Полипропиленовое	0,9	3 500–8 000	400–700	10–25
Полиамидное	0,9	1 900–2 000	720–750	24–25
Полиэтиленовое	0,95	1 400–4 200	600–720	10–12
Акриловое	1,1	2 100–2 150	210–420	25–45
Нейлоновое	1,1	4 200–4 500	770–840	16–20
Вискозное сверхпрочное	1,2	5 600–5 800	660–700	14–16
Полиэфирное	1,4	8 400–8 600	730–780	11–13
Хлопковое	1,5	4 900–5 100	420–700	3–10
Карбоновое	1,63	280 000–380 000	1 200–4 000	2,0–2,2
Углеродное	2,0	200 000–250 000	2 000–3 500	1,0–1,6
Стеклоанное	2,6	7 000–8 000	1 800–3 850	1,5–3,5
Асбестовое	2,6	68 000–70 000	910–3 100	0,6–0,7
Базальтовое	2,60–2,7	7 000–11 000	1 600–3 200	1,4–3,6
Стальное	7,8	190 000–210 000	600–3150	3–4

Дисперсное армирование асфальтобетонных смесей синтетическими волокнами позволяет создать в асфальтобетоне пространственную решетку дисперсной арматуры, улучшить распределение в асфальтобетоне напряжений от подвижной нагрузки за счет более совершенной пространственной решетки дисперсной арматуры и тем самым повысить долговечность асфальтобетонного покрытия. При этом следует отметить, что одним из основных определяющих факторов, позволяющих повысить физико-механические показатели асфальтобетона, является оптимально подобранный состав асфальтобетонной смеси.

По результатам исследований основной проблемой использования фибры из различных волокон в асфальтобетонных смесях является отсутствие технологии (способа) введения фибры в состав смеси. В России широкого опыта производства на асфальтобетонных смесях, армированных фиброй, в настоящее время нет. Также отсутствует опыт производства асфальтобетонных смесей с добавками фибры на серийно выпускаемых смесителях асфальтобетонных заводов.

В России дисперсное армирование асфальтобетонных смесей широкого применения не получило. Так как основной проблемой является равномерное распределение волокон в смеси, а также отсутствие отработанной технологии по производству микроармированного асфальтобетона. Но некоторый опыт по использованию этой технологии есть и в нашей стране.

Так, в качестве эксперимента, укладка асфальтобетона, имеющего в своем составе фибру, была выполнена на внегородских асфальтобетонных дорогах Саратовской, Краснодарской и Ульяновской областей. Внешний вид дорожного покрытия из фиброасфальтобетона в сравнении с традиционным покрытием, спустя год эксплуатации после укладки смеси, показан на рисунке 1.

Наибольший эффект от применения высокомодульных волокон по данным разных источников варьируется достаточно в широких пределах от 0,4 до 20 % фибры мас. от асфальто вяжущего [4].

Несмотря на трудности, связанные с отсутствием опыта применения фибры в дорожных покрытиях, очевидно, что данное направление необходимо всецело развивать и со временем прийти к повсеместному использованию микроармированного дорожного покрытия. Для автодорожных мостов эта технология может оказаться наиболее востребованной, так как в результате неровностей, образующихся на проезжей части, возникают динамические воздействия, которые отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики искусственных сооружений.

В США выполнены обширные многолетние испытания дисперсно-армированного асфальтобетона с добавкой FORTA для выявления оптимального состава добавки, ее длины и расхода. Проведены



Рисунок 1 – Сравнение состояния участка автомобильной дороги с фиброасфальтобетоном и традиционным асфальтобетонным покрытием.

испытания по сравнению асфальтобетона с применением добавки FORTA и асфальтобетоном без микроармирования. Получены результаты, которые показывают повышение способности асфальтобетона с добавкой FORTA противостоять колееобразованию и трещинообразованию.

А также в Европе выполнены сравнительные испытания смесей на полимербитумном вяжущем и с добавкой FORTA на колееобразование по EN12967 – 22:2003 (на приборе «колесо») и получены результаты, которые приведены на рис. 2.

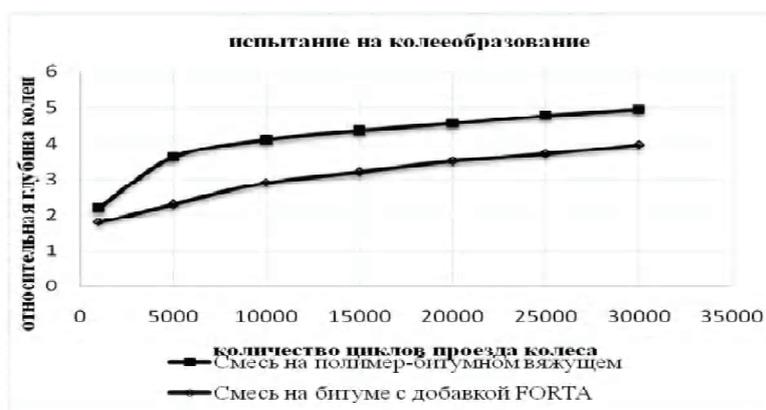


Рисунок 2 – Результаты испытаний асфальтобетонов на колеемере.

Итогом испытаний стало масштабное применение армирующей добавки FORTA при строительстве особо важных объектов в США и Европе, таких как аэродромные покрытия, стоянки тяжеловесного транспорта, морские порты и т. д.

Результаты испытаний американской добавки Forta FI показали, что при введении 0,05 % мас. дисперсно-армирующей полимерной добавки Forta FI предел прочности при сжатии при 20 °С армированного асфальтобетона возрастает от 4,48 до 4,90 МПа.

Показатель предела прочности смесей при сжатии при 50 °С с увеличением концентрации добавки «FORTE» также показывает рост от 5,9 до 6,3 МПа.

Показатель водонасыщения смесей находится в пределах 3,0–3,7, что отвечает нормативным требованиям. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели физико-механических свойств горячей смеси плотного мелкозернистого асфальтобетона (тип Б марка I) с применением дисперсно-армирующей полимерной добавки Forta FI

Асфальтобетон	Средняя плотность, г/см ³	Водонасыщение, %	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре			Предел прочности при расколе при 0 °С, МПа,	Сцепление при сдвиге при 50 °С, МПа
			0 °С R0	20 °С R20	50 °С R50		
Контрольная смесь	2,37	3,7	2,6	1,4	5,9	4,0	0,38
Опытная смесь	2,38	3,0	4,3	2,0	6,3	4,2	0,55
Требования СТ РК 1225 тип Б марка I		1,5–4,0	Не более 13	Не менее 2,5	Не менее 1,3	4,0–6,5	Не менее 0,38

Проведены также исследования щебеночно-мастичного асфальтобетона и модифицированного дисперсно-армирующей полимерной добавкой Forta FI.

Состав минеральной части ЩМА – 10: гранитный щебень фр. 5...10 мм 66 %; отсев дробления гранитного щебня фр. 0...5 мм – 21 %; активированный минеральный порошок – 13 %. В качестве вяжущего материала в работе использовался битум БНД 60/90. В таблице 3 приведены физико-механические показатели дисперсно-армированного ЩМА-10.

Таблица 3 – Физико-механические показатели ЩМА – 10 с добавкой FORTA

Состав смеси	Плотность, г/см ³	Водонасыщение, %	Предел прочности при сжатии, МПа		Коэффициент длительной водостойкости	Трещиностойкость, МПа
			R ₂₀	R ₅₀		
Требования ГОСТ 31015-2002		1,5–4,0	Не менее 2,5	Не менее 0,7	Не менее 0,75	Не менее 3,0 Не более 6,5
ЩМА+0,05 % Forta	2,353	2,6	4,48	1,76	0,94	2,69
ЩМА+0,1 % Forta	2,347	2,66	4,79	1,80	0,96	3,36
ЩМА+0,2 % Forta	2,349	2,78	4,90	1,93	0,93	3,67

Дисперсное армирование асфальтобетонных смесей приводит к следующим преимуществам структурообразования. За счет дисперсного армирования повышаются характеристики асфальтобетонов, в том числе и сдвигустойчивость при положительных температурах, снижается интенсивность трещинообразования при отрицательных температурах, что приводит к увеличению срока службы асфальтобетонных покрытий [7].

ВЫВОДЫ

Дисперсное армирование асфальтобетонных смесей кроме обозначенных выше преимуществ, характерных для процесса армирования дискретными отрезками, приводит к следующим преимуществам структурообразования. В результате увеличения длины отрезка дисперсной арматуры обеспечивается рост количества частиц, связанных одним ее отрезком. Улучшается адгезионная связь между формирующейся в составе асфальтобетонной смеси дисперсной арматурой и пленкой битума. Узлы пространственной армирующей решетки оказываются не из отдельных дискретных отрезков химических волокон, а представляют собой химическое волокно, расходящееся в разные стороны из одной точки. Прочность пространственной решетки при этом не от прочности адгезионной связи адсорбционного слоя битума и волокна, а от прочности самого химического волокна. Вследствие того, что прочностные характеристики химических волокон очень высокие, повышаются и прочностные характеристики получаемого композита. По такой технологии могут быть переработаны в дисперсную арматуру любые полимерные отходы из термопластов и даже растворимых в органических растворителях полимеров с последующей их конденсацией после формования волокон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gao, S. L. Nanostructured coatings of glass fibers: Improvement of alkali resistance and mechanical properties [Текст] / S. L. Gao, E. Mäder, R. Plonka // Acta Materialia. – 2007. – V. 55. – № 3. – P. 1043–1052.
2. Модифицированная щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь дисперсно-армирующей добавкой «Forta» [Текст] / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, С. А. Чернов, П. О. Дармодехин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2012. – № 3(12). – С. 55–64.
3. Ефанов, Н. Е. Влияние технологии дисперсного армирования асфальтобетонных смесей на процессы их структурообразования [Текст] / Н. Е. Ефанов, В. Н. Лукашевич, И. В. Пиряев // Вестник ТГАСУ. – 2007. – № 1. – С. 204–209.
4. Kevin, D. Validation of Asphalt binder and mixture tests that measure rutting susceptibility [Текст] / Kevin D. Stuart, Wala S. Mogawer and Pedro Romero // FHWARD-99-204. – 2000. – P. 17–19.
5. Зимин, Д. Е. Армирование цементных бетонов дисперстными материалами из базальта [Текст] / Д. Е. Зимин // Материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с Международным участием (22–24 мая 2010 г., Г. Бийск). – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-т, 2010. – В 2 ч. : ч. 1. – С. 12–15.
6. Акулич, А. В. Структура и свойства дисперсно армированных асфальтобетонов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : : 05.23.05 / Акулич Александр Викторович. – Мн., 1987. – 17 с.
7. Григорьев, Д. А. Применение фиброасфальтобетона для верхних слоев покрытия проезжей части автомобильных дорог [Текст] / Д. А. Григорьев, А. С. Баранов // Перспективы развития науки в современном мире : сборник статей по материалам XVI международной научно-практической конференции (5 апреля 2019 г., Уфа). – Уфа : Издательство: ООО Дендра, 2019. – С. 40–44.

Получена 24.12.2019

О. О. ПШЕНИЧНЫХ, Д. С. СКОРИК
ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНОГО
АСФАЛЬТОБЕТОНУ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті наведено порівняльні результати зарубіжних і вітчизняних досліджень традиційних і дисперсно-армованих асфальтобетонів із застосуванням синтетичних фіброволокон з оцінкою основних фізико-механічних і деформаційно-міцнісних показників. Так само подано основні технічні характеристики різних видів волокон, що застосовуються на даний час для виробництва композиційних будматеріалів. Показано, що завдяки дисперсному армуванню підвищується зсувостійкість при позитивних температурах на 20 %, знижується інтенсивність утворення тріщин при негативних температурах, поліпшується адгезійний зв'язок між дисперсною арматурою, що формується в складі асфальтобетонної суміші, і плівкою бітуму. Введення синтетичних волокон при оптимально підбраному складі асфальтобетону дозволяє збільшити динамічний модуль пружності і статичну пластичність матеріалу, що приводить до збільшення терміну служби асфальтобетонних покриттів.

Ключові слова: асфальтобетон, армування, фіброволокно, властивості армованого асфальтобетону.

OLEG PSHENICHNYH, DMITRIY SKORIK
EXPERIENCE OF APPLICATION OF DISPERSED-REINFORCED ASPHALT
CONCRETE IN ROAD CONSTRUCTION
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article gives comparative results of foreign and domestic studies of traditional and dispersively reinforced asphalt concrete using synthetic fiber fibers with an assessment of the main physical, mechanical and deformation-strength indicators. The basic technical characteristics of various types of fibers used at present for the production of composite building materials are also shown. It is shown that due to dispersed reinforcement, the shear resistance at positive temperatures is increased by 20 %, the rate of crack formation at negative temperatures is reduced, the adhesive bond between the dispersed reinforcement formed in the composition of the asphalt mix and the bitumen film is improved. The introduction of synthetic fibers with an optimally selected composition of asphalt concrete allows to increase the dynamic modulus of elasticity and static plasticity of the material, which leads to an increase in the service life of asphalt concrete pavements.

Key words: asphalt concrete, reinforcement, fiberglass, properties of reinforced asphalt concrete.

Пшеничных Олег Александрович – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

Скорик Дмитрий Сергеевич – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

Пшеничних Олег Олександрович – асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, що армовані полімерними волокнами.

Скорик Дмитро Сергійович – студент ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, що армовані полімерними волокнами.

Pshenichnyh Oleg – assistant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex-modified asphalt-polymer concrete reinforced with polymer fibers.

Skorik Dmitriy – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex-modified asphalt-polymer concrete reinforced with polymer fibers.