

УДК 625.855.3:677.4.001.5

*Н.Е. ЕФАНОВ, заместитель начальника республиканского управления автомобильными дорогами «Горноалтайавтодор», Горно-Алтайск,  
В.Н. ЛУКАШЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор, ТГАСУ, Томск  
И.В. ПИРЯЕВ, аспирант, ТГАСУ, Томск*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ПРОЦЕССЫ ИХ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ**

Дисперсное армирование асфальтобетонных смесей может осуществляться путем введения в смеситель дискретных отрезков химических волокон, расплава либо раствора волокнообразующего полимера. В зависимости от толщины дисперсной арматуры, армирующие волокна могут располагаться в адсорбционно-сольватных оболочках битума либо выходить за пределы оболочек. При введении волокнообразующего полимера в виде расплава или раствора повышается адгезия битума к поверхности армирующих волокон. Это позволяет получить улучшенную структуру армирующей решетки в асфальтобетоне.

Дисперсное армирование асфальтобетонных смесей может осуществляться путем введения в смеситель дискретных отрезков химических волокон, расплава либо раствора волокнообразующего полимера [1, 2].

В асфальтобетонных смесях, приготовленных по традиционной технологии, связь между частицами минерального материала, а следовательно и прочность конгломерата, обеспечивается преимущественно адсорбционно-сольватными оболочками битума, имеющимися на поверхности каждой частицы минерального материала. При этом связь каждой материальной частицы осуществляется только с тем 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).

В структуру дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей дополнительно входят отрезки дисперсной арматуры. Эти отрезки располагаются между зернами минерального материала и находятся в адсорбционно-сольватных оболочках битума. Проходя через структурированные слои битума, окружающие несколько частиц, волокна дисперсной арматуры защемляются в них и обеспечивают дополнительную связь между этими частицами. Таким образом, в дисперсно-армированных материалах связь между частицами обеспечивается в основном за счет двух видов связи: за счет структурированных слоев битума и за счет дисперсной арматуры. Каждая минеральная частица связана с окружающими ее частицами и структурированными слоями битума и волокнами дисперсной арматуры, защемленными в этих слоях. Кроме того, в дисперсно-армированных материалах каждая частица связана не только с окружающими ее частицами (связь ближнего порядка), но и с частицами, отделенными от данной частицы несколькими рядами других частиц (связь дальнего порядка). А поскольку волокна дисперсной арматуры связаны между собой вследствие нахождения в структурированном слое битума, они образуют в материале пространственную решетку, которой охвачены мине-

ральные частицы, входящие в состав конгломерата, что приводит к существенному улучшению всех его характеристик.

В асфальтобетонной смеси порядка 80–90 % суммарной поверхности минеральных материалов составляет поверхность зерен с размером 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 просходит 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. 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 с рассматриваемой нами частицей, может достигать 1700. Таким образом, коэффициент связей в случае дисперсного армирования будет в пределах 1500, тогда как в асфальтобетонных смесях, приготовленных по традиционной технологии, он равен шести. Именно увеличение количества связей между частицами, на наш взгляд, позволяет существенно улучшить характеристики дисперсно-армированных материалов. 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. Мерзликин, А.В. Акулич, Я.Н. Ковалев, И.П. Гамеляк.

При исследовании процессов структурообразования асфальтобетонов очень важным является вопрос о том, как располагаются волокна дисперсной арматуры в адсорбционно-сольватных оболочках битума. Чтобы выяснить это, необходимо сравнить толщины этих слоев с диаметром волокон дисперсной арматуры.

Определением толщины ориентированных слоев битума занимались различные исследователи. При этом преимущественно применялись косвенные методы исследований. Наиболее точно, на наш взгляд, толщина битумной пленки была определена в исследованиях, проведенных И.В. Королевым путем прямых измерений по окулярной мерной сетке микроскопа МИН-8 (табл. 1). Используя эти данные, сравним толщину битумной пленки на зернах различного размера с диаметрами волокон дисперсной арматуры, представленными в табл. 2, и выясним возможные варианты расположения дисперсной арматуры в ориентированных слоях битума.

Сравнив данные табл. 1 и 2, можно отметить, что диаметры волокон отдельных видов дисперсной арматуры превышают толщину ориентированного слоя битума на поверхности минерального материала. В связи с этим возможны различные варианты расположения волокон дисперсной арматуры между частицами минерального материала. При использовании для армирования минеральных волокон класса микроволокно толщина битумной пленки как в асфальтовом растворе, так и в асфальтовом вяжущем превышает диаметр волокон. Поэтому дисперсная арматура располагается в адсорбционных слоях битума. Более толстые волокна уже не помещаются в адсорбционных слоях на

поверхности минерального порошка. А так как минеральные волокна не смягчаются под воздействием температур во время приготовления и укладки асфальтобетонных смесей, они не сминаются, не деформируются и раздвигают частицы минерального порошка. При использовании дисперсной арматуры из минеральных волокон диаметром более 24 мкм ею начинают раздвигаться (расклиниваться) зерна минерального материала асфальтового раствора, а при диаметре более 80 мкм раздвигаются также зерна щебня.

Таблица 1

**Толщина битумной пленки на зернах известняка\***

Размер зерен известняка, мм	Толщина битумной пленки, мкм
Менее 0,14 (асфальтовое вяжущее)	Менее 6
0,14–3,0 (асфальтовый раствор)	6–24
3–10 (песок и щебень)	46–80

\* По результатам исследований [3]

Таблица 2

**Диаметры волокон в зависимости от вида материала и способа формирования\***

Вид волокна и способ формирования	Диаметр волокна, мкм
Химические волокна, при формировании:	
из раствора	40–100
из сплава	250–1000
Минеральные волокна:	
микроволокно	0,5
ультратонкое	0,5–1
супертонкое	1–3
тонкое	3–11
утолщенное	11–20
грубое	20
отходы минеральных волокон	20–150

\* По результатам исследований [4].

Таким образом, при использовании дисперсной арматуры из минеральных волокон возможно расклинивание минеральных частиц асфальтового вяжущего, 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 отри-

цательных 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.

В случае применения дисперсной арматуры диаметром до 80 мкм она располагается в ориентированном слое битума на зернах щебня без деформирования. Но в асфальтовом вяжущем и асфальтовом растворе происходит деформирование и сминание волокон из термопластов. Это возможно потому, что полимер, из которого выполнены химические волокна, под воздействием температур в диапазоне приготовления и укладки асфальтобетонной смеси становится более пластичным, легче поддается деформированию и сминается при уплотнении смеси катками. Такое защемление волокон дисперсной арматуры минеральными частицами положительно влияет на показатели физико-механических свойств асфальтобетонов.

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 приготовления 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 приготовления 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, нежели в случае введения в смеситель готовых резаных химических волокон.

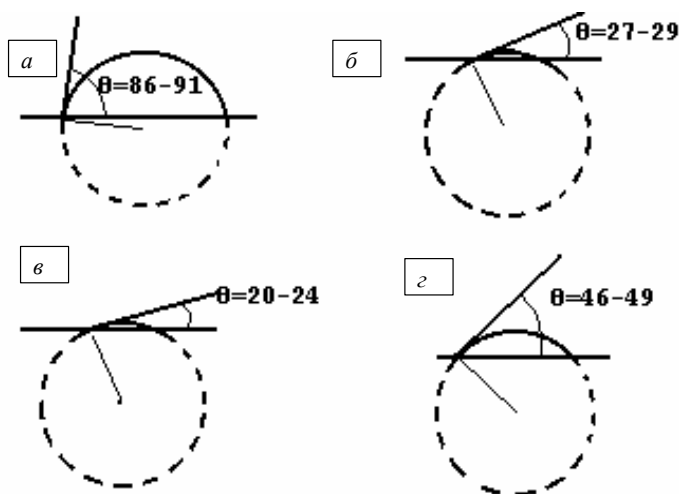
На рисунке представлены результаты исследования величины адгезии нефтяного битума к поверхностям различных полимеров, находящихся в твердом состоянии, в состоянии раствора и расплава.

На рисунке (а) изображена схема определения величины краевого угла смачивания нефтяным битумом марки БНД 90/130 поверхности изотактического полипропилена, находящегося в твердом состоянии. Эта величина находится в пределах  $90^\circ$  и свидетельствует о недостаточно хорошем смачивании нефтяным битумом поверхности полипропилена, находящегося в твердом состоянии. Следовательно, и величина адгезии битума к такой поверхности также недостаточно хорошая.

На рисунке (б) изображена схема определения величины краевого угла смачивания нефтяным битумом марки БНД 90/130 поверхности изотактическо-

го полипропилена, находящегося в состоянии расплава. Эта величина находится в пределах  $27\text{--}29^\circ$ . Такой краевой угол смачивания свидетельствует о том, что смачивание нефтяным битумом поверхности расплава полипропилена существенно лучше, нежели смачивание поверхности твердого полипропилена. Это говорит о том, что адгезия битума к поверхности расплава пропилен также существенно выше, нежели к поверхности твердого полипропилена.

На рисунке (в) изображена схема определения величины краевого угла смачивания нефтяным битумом марки БНД 90/130 поверхности поликарбоната, находящегося в состоянии раствора. Эта величина находится в пределах  $20\text{--}24^\circ$ . Такой краевой угол свидетельствует о том, что смачивание нефтяным битумом поверхности раствора поликарбоната также существенно лучше, нежели к поверхности твердого полимера. Схема определения величины краевого угла смачивания нефтяным битумом поверхности наполненного поликарбоната, находящегося в состоянии расплава представлена на рисунке (г). Он изменяется в пределах  $46\text{--}49^\circ$ . По установленной величине краевого угла смачивания можно заключить, что адгезия нефтяного битума к поверхности наполненного поликарбоната также выше, нежели к поверхности твердого полимера. Сравнивая адгезию битума к поверхностям раствора наполненного и чистого поликарбоната, следует отметить, что наполнение поликарбоната снижает величину адгезии. Вероятно, это связано с особенностями наполнителя, характеристики которого неизвестны.



Схемы определения величины краевого угла смачивания нефтяным битумом поверхностей волокнообразующих полимеров:

*a* – полипропилен в твердом состоянии; *б* – полипропилен в состоянии расплава;  
*в* – поликарбонат в растворенном состоянии; *г* – наполненный поликарбонат в растворенном состоянии

Дисперсное армирование асфальтобетонных смесей путем введения расплава или раствора полимера, 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. Вследствие того, что в смеситель дисперсная арматура вводится в виде раствора или расплава, 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. Прочностные характеристики пространственной решетки при этом зависят 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, будут увеличиваться 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 формирования волокон.

Вышесказанное позволяет заключить, что введение волокнообразующего полимера в виде расплава или раствора непосредственно в смесительную установку в процессе приготовления асфальтобетонной смеси обеспечивает повышение адгезии нефтяного битума к поверхности дисперсной арматуры и позволяет получить улучшенную структуру армирующей решетки в асфальтобетоне.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2135426 Российская Федерация, МКИ С 04 В 26/26//С 04 В 111:20, E01С 19/10. Способ армирования асфальтобетонной смеси и устройство его осуществления / Лукашевич В.Н. // Открытия. Изобретения, 1999. – № 24.
2. Пат. 2102353 Российская Федерация, МКИ С 04 В 26/26//С 04 В 111:20. Способ армирования асфальтобетонной смеси / Лукашевич В.Н. [и др.] // Открытия. Изобретения, 1998. – № 2.
3. Королев, И.В. О толщине битумной пленки в асфальтобетоне / И.В. Королев // Исследование свойств битумов, применяемых в дорожном строительстве: тр. Союздорнии. – 1970. – Вып. 46. – С. 20–26.
4. Зазулина, З.А. Основы технологии химических волокон: учебник для вузов / З.А. Зазулина, Т.В. Дружинина, А.А. Конкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1985 – 304 с.

*N.E. EFANOV, V.N. LUKASHEVICH, I.V. PIRJAEV*

#### **THE INFLUENCE OF DISPERSIBLE REINFORCING TECHNOLOGY OF BITUMINOUS CONCRETE MIXES ON THE PROCESSES OF THEIR STRUCTURE FORMATION**

Additive of fiber-forming polymer in the way of melt or solution in bituminous concrete mixes increases adhesion of oil asphalt with the surface of reinforcing fibers. Different location of discrete fiber fragments depending on their diameter and being used as dispersible reinforcements is considered.