

УДК 625.855.4:691.16

*ЛУКАШЕВИЧ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
vnluc@yandex.ru*

*ЕФАНОВ ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ, аспирант,  
ein7@yandex.ru*

*ПРОКОФЬЕВА ГАЛИНА ИВАНОВНА, ст. преподаватель,  
pgi7.71941@mail.ru*

*ВАКС ИЛЬЯ ВЛАДИМИРОВИЧ, студент,  
vaks1996@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

### **ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОЛОКОН ДИСПЕРСНОЙ АРМАТУРЫ В АДсорбЦИОННО-СОЛЬВАТНЫХ ОБОЛОЧКАХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

Исследовано расположение дисперсной арматуры из минеральных и термопластичных волокон в адсорбционно-сольватных оболочках битума органо-минеральных смесей. В результате исследований установлено, что дисперсная арматура, в зависимости от диаметра волокон, может располагаться в адсорбционном слое, не влияя на положение частиц минерального материала, либо выходить за пределы адсорбционно-сольватной оболочки, раздвигая (расклиная) частицы минерального материала. В случае использования дисперсной арматуры из минеральных волокон диаметром более 24 мкм необходимо учитывать эффект расклинивания минеральных частиц и корректировать зерновой состав смеси при его проектировании.

**Ключевые слова:** органо-минеральная смесь; дисперсная арматура; минеральные волокна; адсорбционные слои нефтяного битума; структурообразование.

*VIKTOR N. LUKASHEVICH, DSc, Professor,  
lukvin@tsuab.ru*

*IGOR N. EFANOV, Research Assistant,  
ein7@yandex.ru*

*GALINA I. PROKOFIEVA, Senior Lecturer,  
pgi7.71941@mail.ru*

*ILIA V. VAKS, Student,  
vaks1996@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,  
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

### **FIBER ARRANGEMENT IN ADSORPTION-SOLVATION SHELLS OF MINERAL MIXES**

The paper presents the study of the fiber arrangement in dispersion mineral and thermoplastic reinforcement of the adsorption-solvation bitumen shells of organo-mineral mixes. Research results show that depending on the fiber diameter, the dispersion reinforcement can be disposed in the adsorption layer without affecting the position of the mineral material particles

or extend beyond the adsorption-solvation shell, thereby separating (propping) particles of the mineral material. In case the fiber has the diameter over 24  $\mu\text{m}$ , the propping effect of mineral particles should be taken into account and the mix grain composition should be controlled during its design.

**Keywords:** organo-mineral mix; dispersion reinforcement; mineral fibers; oil bitumen; structure formation.

Все основные свойства органоминерального материала определяются типом его структуры. В связи с этим основное влияние на весь комплекс свойств материала оказывают процессы его структурообразования. Воздействуя на процессы структурообразования органоминерального материала, можно влиять на весь комплекс либо на отдельные его свойства.

В соответствии с представлениями о пространственных структурах, развитых П.А. Ребиндером, асфальтобетон следует отнести к органоминеральным системам с коагуляционной структурой, вязко-пластические свойства которой определяются преимущественно особенностями асфальтового вяжущего, в роли которого выступает дисперсная система «битум – минеральный порошок». Коагуляционные структуры характерны тем, что сцепление структурных элементов обеспечивается тонкими прослойками жидкой среды (битума). Сравнительно слабые молекулярные силы сцепления определяют прочность коагуляционных структур. В этой связи профессор Л.Б. Гензцевой отмечал [1], что проблема дальнейшего улучшения свойств асфальтобетона связана с существенным изменением его структуры. В настоящей работе рассмотрен один из путей улучшения структуры асфальтобетона – его дисперсное армирование и конкретно рассмотрен вопрос размещения отрезков дисперсной арматуры из различных волокнообразующих материалов в адсорбционно-сольватных оболочках битума.

Дисперсное армирование асфальтобетонов дискретными отрезками химических волокон позволяет улучшить реологические, физико-механические свойства, тем самым снизив вероятность возникновения деформаций асфальтобетонных покрытий. Исследования, проведенные во Франции, Швейцарии, Нидерландах, Польше, США, а также исследования белорусских и российских ученых показали, что введение в асфальтобетонную смесь дисперсной арматуры создает в материале пространственную армирующую решетку и повышает прочность асфальтобетона при сдвиге при температуре 50 °С на 25–30 %, прочность при растяжении при отрицательных температурах – на 40–80 %. Улучшение деформативности при температурах ниже нуля достигает 90–200 %, а наибольшее влияние оно оказывает на усталостную прочность (улучшение достигает 200–500 %) [2–4].

Представляет интерес, как именно располагаются волокна дисперсной арматуры в адсорбционно-сольватных оболочках битума, которые, как показали многие исследования [1, 5], имеют сложную структуру и состоят из твердообразной, структурированной и диффузной зон. Диффузная зона является переходной между адсорбционно-сольватным слоем (ориентированным слоем) и объемным битумом [6].

Для того чтобы выяснить, как располагаются волокна дисперсной арматуры в ориентированных слоях, 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. Действительная толщина битумной пленки была определена в исследованиях, проведенных И.В. Королевым [6]. Были проведены прямые измерения толщины битумной пленки на поверхности минеральных материалов. Измерения осуществляли по окулярной мерной сетке микроскопа МИН-8 (табл. 1).

Таблица 1

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

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

\*По результатам исследований [7].

В экспериментальных работах, результаты которых представлены в табл. 1, был использован битум БНД 60/90.

Опираясь на данные, представленные в табл. 1, сравним толщину битумной пленки на зернах различного размера с диаметром волокон дисперсной арматуры, проанализируем эти величины и выясним, как располагается дисперсная арматура в ориентированном слое битума.

Толщина волокна дисперсной арматуры зависит от вида материала, из которого оно изготовлено, и от способа формования. Диаметры химических и минеральных волокон представлены в табл. 2 [8].

Сравнив данные табл. 1 и 2, можно заметить, 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, ультратонкое и супертонкое волокно 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 размягчаются под воздействием температур в диапазоне 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 2

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

Вид волокна и способ формования	Диаметр волокна, мкм
Химические волокна, при формовании:	
из раствора	40–100
из расплава	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 [8].

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 отрицательных температурах. Это может играть и положительную роль, т. к. наличие некоторого избытка объемного битума уменьшает интенсивность старения асфальтобетонного покрытия.

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.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что дисперсная арматура, в зависимости от диаметра волокон, может располагаться в адсорбционном слое, не влияя на положение частиц минерального материала, либо выходить за пределы адсорбционно-сольватной оболочки, раздвигая (расклинивая) частицы минерального материала. В случае использования дисперсной арматуры из минеральных волокон диаметром более 24 мкм необходимо учитывать эффект расклинивания минеральных частиц и корректировать зерновой состав смеси при его проектировании. При использовании дисперсной арматуры, выполненной из термопластичных полимеров, проис-

ходит деформирование и сминание волокон, затрудняющее их выдергивание из адсорбционного слоя битума, что положительно влияет на показатели физико-механических свойств асфальтобетонов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дорожный асфальтобетон* / Л.Б. Гезенцев, Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В. Королев ; под ред. Л.Б. Гезенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
2. *Гамеляк, И.П.* Разработка методики конструирования дорожных одежд со слоями из дисперсно армированных асфальтобетонов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М. : Госдорнии, 1992. – 23 с.
3. *Мерзликин, А.Е.* Испытания конструкций дорожных одежд для оценки эффективности применения дисперсно армированного асфальтобетона / А.Е. Мерзликин, И.П. Гамеляк // Конструирование, расчет и испытание дорожных одежд: Тр. Союздорнии, 1990. – С. 17–25.
4. *Лукашевич, В.Н.* Применение теории перколяции для исследования процессов структурообразования дисперсно армированных асфальтобетонов / В.Н. Лукашевич, И.Н. Ефанов // Техника и технология дорожного хозяйства. – 2014. – № 2(28). – С. 29–39.
5. *Королев, И.В.* Модель строения битумной пленки на минеральных зернах в асфальтобетоне / И.В. Королев // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – № 8. – С. 63–67.
6. *Дорожный теплый асфальтобетон* / И.В. Королев, Е.Н. Агеева, В.А. Головкин, Г.Р. Фоменко. – 2-е изд., испр. и доп. – Киев : Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 200 с.
7. *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.
8. *Зазулина, З.А.* Основы технологии химических волокон / З.А. Зазулина, Т.В. Дружинина, А.А. Конкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1985. – 304 с.

#### REFERENCES

1. *Gezencvei L.B., Gorelishev N.V., Boguslavski A.M., Korolev I.V.* Dorozhni asfaltobeton [Road asphalt]. Moscow : Transport Publ., 1985. 350 p. (rus)
2. *Gameliak I.P.* Razrabotka metodiki konstruirovaniia dorozhnykh odejzd so sloiami iz dispersno armirovannykh asfaltobetonov: Avtoreferat diss. ... kand. ... tekhn. nauk [Development of methodology for pavement design with dispersion layers. PhD thesis]. Moscow: Gosdornii Publ., 1992. 23 p. (rus)
3. *Merzlikin A.E., Gameliak I.P.* Ispytaniya konstruksii dorozhnykh odezhd dlya otsenki effektivnosti primeneniya dispersno armirovannogo asfal'tobetona [Pavement structural test for efficiency assessment of fiber-reinforced asphalt concrete]. In: Konstruirovaniye, raschet i ispytaniye dorozhnykh odezhd. Moscow: Soyuzdornii Publ., 1990. Pp. 17–25. (rus)
4. *Lukashevich V.N., Efanov I.N.* Primeneniye teorii perkolyatsii dlya issledovaniya protsessov strukturoobrazovaniya dispersno armirovannykh asfal'tobetonov [Application of percolation theory to structure formation processes of fiber-reinforced asphalt concrete]. *Tekhnika i tekhnologiya dorozhnogo khozyaistva*. 2014. No. 2. Pp. 29–39 (rus).
5. *Korolev I.V.* Model stroeniya bitumnoi plenki na mineralnykh zernakh v asfaltobetone [Model of bitumen film structure based on mineral grains]. *News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture*, 1981. No. 8. Pp. 63–67. (rus)
6. *Korolev I.V., Ageeva E.N., Golovko V.A., Fomenko G.R.* Dorozhnyi teplyi asfal'tobeton [Warm mix asphalt]. Kiev: Vihcha shkola Publ., 1984. 200 p. (rus)
7. *Korolev I.V.* O tolshchine bitumnoi plenki v asfaltobetone [Bitumen film thickness in asphalt concrete]. In: Issledovaniye svoystv bitumov, primenyaemykh v dorozhnom stroitel'stve. Moscow : Soyuzdornii Publ., 1990. No. 46. Pp. 20–26. (rus)
8. *Zazulina Z.A., Druzhinina T.V., Konkin A.A.* Osnovi tekhnologii khimicheskikh volokon [Basic technology of chemical fibers. Textbook]. Moscow : Khimiya Publ., 1985. 304 p. (rus)