

С.С. Иноземцев, М.К. Поздняков, Е.В. Королев

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбИОННО-СОЛьВАТНОГО СЛОЯ БИТУМА НА ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА\*

В работе обосновано применение реологического метода для определения толщины слоя битума, структурирующегося на поверхности минерального компонента. Проведен анализ существующих методик оценки физико-химической активности минеральных компонентов по отношению к битумам, который показал, что в настоящий момент отсутствует универсальная методика, позволяющая обосновывать применение минерального наполнителя для асфальтобетонов. Показано, что в соответствии с предлагаемой методикой определения толщины как кинетического слоя, так и адсорбционного слоя можно проводить с применением только битума. При этом измерения вязкости дисперсных систем «битум – минеральный компонент» необходимо проводить при различных температурах. Определен диапазон степени наполнения систем, в котором выполняется уравнение А.Эйнштейна (не более 5% по объему). Установлены закономерности изменения вязкости дисперсных систем «битум – минеральный порошок» от степени наполнения и температуры. Установлен характер изменения вязкости битума и касторового масла от температуры, вычислена температура, при которой вязкость битума достигает минимального значения ( $T = 220$  °С). Показано, что на исследуемых минеральных компонентах образуется только кинетический слой, который с повышением температуры уменьшается, а адсорбционный слой экспериментально определимого реологическим методом не фиксируется. Сопоставление полученных данных с теоретическими результатами указывает на хорошую сходимость и воспроизводимость предлагаемой методики определения толщины структурированного битума и физико-химической активности минерального компонента. Представленные данные указывают также на нецелесообразность применения методики определения сцепления битума с минеральным порошком, проводимой по ГОСТ 11508-74.

**Ключевые слова:** слой, адсорбционный слой, уравнение А. Эйнштейна, реология, дисперсная система, граница взаимодействия кинетический фаз, физико-химическая активность.

Эксплуатационные свойства и долговечность асфальтобетона зависят от структуры, образуемой минеральными компонентами и битумом. Потенциал сопротивления структуры материала эксплуатационным воздействиям [1...3] зависит от активности взаимодействия на границе раздела фаз «наполнитель – битум», где на поверхности минерального компонента происходит структурирование битума, интенсивность которого определяется площадью поверхности контакта и адсорбционной способностью минерального компонента. Наибольший вклад в площадь поверхности минеральных компонентов асфальтобетона приходится на минеральный порошок. Многочисленные исследования показывают, что содержание крупного заполнителя часто не превышает объемного содержания  $v_{f,kz}$ . Содержание мелкого заполнителя и наполнителя определяет соответственно по формулам

$$v_{f,mz} = (1 - v_{f,kz})\eta_k ;$$

$$v_f = (1 - v_{f,kz} - v_{f,mz})\eta_k ,$$

где  $\eta_k$  – плотность кубической упаковки.

---

\* Печатается при поддержке гранта Президента МД–6090.2012.8.

Площадь поверхности, которая образует дисперсная фаза, определяется следующим образом:

$$S_{f,i} = S_{u,i} \rho_f V_{f,i} = 6 \frac{V_{f,i}}{d_{f,i}},$$

где  $S_{u,i}$  – удельная поверхность;  $\rho_f$  – средняя плотность дисперсной фазы;  $d_{f,i}$  – диаметр частицы.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета вклада дисперсной фазы асфальтобетона (ЩМА-5)

Вид дисперсной фазы	Диаметр частиц, мм	Объемная доля	Площадь границы раздела фаз, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	Вклад, %
Крупный заполнитель	5	0,65	7,20	0,85
Мелкий заполнитель	1,25	0,20	9,60	1,05
Минеральный порошок	0,01	0,15	900	98,1
Итого:		1,00	917,4	100

Площадь поверхности минерального порошка составляет более 90% общей площади поверхности частиц минерального компонента в асфальтобетоне. Поэтому использование минерального порошка с наибольшей физико-химической активностью на границе раздела фаз будет способствовать получению асфальтобетона с высокими показателями физико-механических свойств.

С повышением дисперсности материала увеличивается его активность, что соответствует возрастанию объема структурированного битума в граничных слоях. Известно, что вязкость структурированного битума резко возрастает по сравнению с вязкостью свободного битума [4]. Указанное можно использовать для оценки степени физико-химической активности минерального компонента и обоснования его выбора.

Реологический метод является универсальным, несложным в исполнении и позволяющим провести оценку толщины слоя дисперсионной среды, образующегося в результате физико-химических процессов, протекающих на границе раздела фаз. На вязкость дисперсной системы влияние оказывает как количество дисперсной фазы, так и форма частиц. При этом на поверхности частиц образуется слой, состоящий из адсорбционного и кинетического слоев: кинетический слой характеризует влияние формы частицы и вязкости дисперсионной среды, а адсорбционный слой – только физико-химическую активность дисперсной фазы. В диапазоне объемной степени наполнения, при которой выполняется закон А.Эйнштейна, можно посредством сопоставления экспериментальных и расчетных данных определить общую толщину слоя. При образовании такого слоя формально увеличивается объемное содержание дисперсной фазы на  $\Delta\varphi$ . Запишем уравнение А.Эйнштейна в виде

$$\eta_{ek} = \eta_o [1 + \alpha_o (\varphi_o + \Delta\varphi)] \text{ или } \eta_{ek} = \eta_u + \alpha_o \eta_o \Delta\varphi,$$

где  $\eta_u = \eta_o [1 + \alpha_o \varphi_o]$  – уравнение А.Эйнштейна;  $\eta_o$  – вязкость дисперсионной среды;  $\alpha_o$  – коэффициент формы сферической частицы ( $\alpha_o = 2,5$ );  $\varphi_o$  – объемная доля наполнителя.

Приращение объемной доли дисперсной фазы равно

$$\Delta\varphi = \frac{\eta_{ek}(\varphi_o) - \eta_u}{\varphi_o \alpha_o}.$$

При замене

$$\varphi_i = N_f \frac{\pi}{6} d_f^3 \text{ и } N_f = N_{f,o}$$

получим

$$\Delta\varphi = \varphi_0 \left[ \left( \frac{d_f}{d_{f,o}} \right)^3 - 1 \right].$$

Толщину слоя определим посредством замены  $d_f = d_{f,o} + 2h$  и  $d_f = 6/S_u \rho_f$ :

$$h = \frac{3}{S_u \rho_f} \left( \sqrt[3]{\frac{\eta_{ek}(\varphi_0) - \eta_0}{\varphi_0 \alpha_0 \eta_0} + 1} - 1 \right), \quad (1)$$

где  $\rho_f$  – плотность материала дисперсной фазы;  $S_u$  – удельная поверхность дисперсной фазы.

Аналогично при учете влияния формы частицы и адсорбционного слоя на значения коэффициента  $\alpha$  ( $\alpha > \alpha_0$ ) запишем

$$\left( \frac{d_f}{d_{f,o}} \right)^3 = \frac{1}{\alpha \varphi_0} \left( \frac{\eta_{ek}(\varphi_0)}{\eta_0} - 1 \right).$$

Отсюда

$$h = \frac{3}{S_u \rho_f} \left( \sqrt[3]{\frac{1}{\alpha \varphi_0} \left( \frac{\eta_{ek}(\varphi_0)}{\eta_0} - 1 \right)} - 1 \right). \quad (2)$$

Близкая формула предложена в работе [4]:

$$h = \frac{10^4}{\rho_f S_u} \left( \frac{\alpha}{\alpha_m} - 1 \right),$$

где  $\alpha$ ,  $\alpha_m$  – коэффициенты, вычисляемые, соответственно, на основании измерения вязкости исследуемой дисперсной системы и модельной системы «наполнитель – среда», в которой среда не образует совсем или образует на поверхности частиц сольватную оболочку ничтожно малой толщины.

Недостатком представленной методики является предположение об идентичности формирования слоев в различных дисперсионных средах, то есть сопоставление в поведении системы проводится не с идеальной системой, описываемой уравнением А.Эйнштейна (в формулах (1) и (2) идеальная система характеризуется «1»), а с некоторой модельной системой. Кроме того, возникают определенные сложности в подборе модельной дисперсионной среды (в этом случае необходимо иметь среду с аналогичной зависимостью вязкости в исследуемом диапазоне температур и лиофобную к поверхности минерального компонента). Только реализация указанных требований к дисперсионной модельной среде позволяет вычислить значения толщины адсорбционного слоя дисперсионной среды.

Аналогично при использовании формул (1) и (2) при очевидном предположении

$$h_a = h - h_k$$

(здесь  $h_a$  – толщина адсорбционного слоя;  $h_k$  – толщина кинетического слоя), получим:

$$h_a = \frac{3}{S_u \rho_f} \left( \sqrt[3]{\frac{\eta_{ek}(\varphi_0) - \eta_0}{\varphi_0 \alpha_0 \eta_0} + 1} - \sqrt[3]{\frac{\eta'_{ek}(\varphi_0) - \eta'_0}{\varphi_0 \alpha_0 \eta'_0} + 1} \right); \quad (3)$$

$$h_a = \frac{3}{S_u \rho_f} \left( \sqrt[3]{\frac{1}{\alpha \varphi_0} \left( \frac{\eta_{ek}(\varphi_0)}{\eta_0} - 1 \right)} - \sqrt[3]{\frac{1}{\alpha' \varphi_0} \left( \frac{\eta'_{ek}(\varphi_0)}{\eta'_0} - 1 \right)} \right), \quad (4)$$

где индексом «'» обозначена модельная система.

Устранение указанного недостатка методики [4] возможно следующим образом. Кинетический слой зависит в основном от вязкости дисперсионной среды и формы частиц дисперсной фазы. Очевидно, что с увеличением температуры вязкость

дисперсионной среды уменьшается (рис. 1). При предположении, что в модельной системе при  $\eta_o \rightarrow 0$  (или для многокомпонентной дисперсионной среды к  $\eta_o \rightarrow \eta_{o,\min}$ , где  $\eta_{o,\min}$  – вязкость высокоподвижной компоненты) толщина кинетического слоя также  $h_k \rightarrow 0$  (рис. 2).

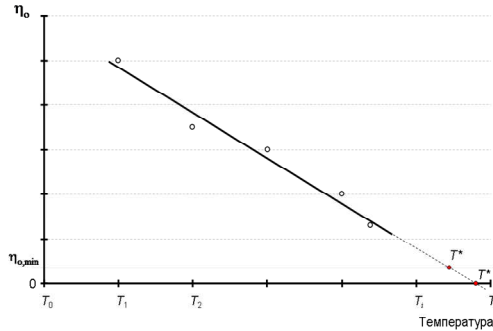


Рис. 1. График зависимости  $\eta_o = f(T)$

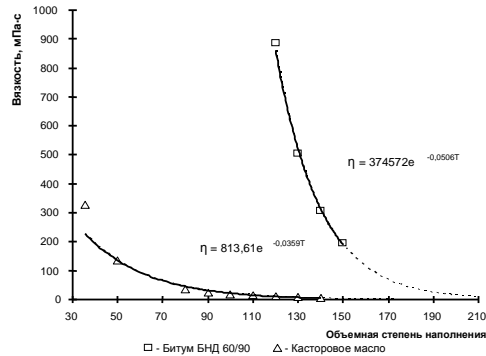


Рис. 2. Зависимость вязкости дисперсионной среды от температуры

Для определения диапазона степени наполнения, в котором выполняется уравнение А. Эйнштейна, проведены измерения вязкости битума БНД 60/90 и касторового масла, взятого в качестве модельной системы, с различной степенью наполнения 0...0,15 (рис. 3). Определение вязкости производилось на ротационном вискозиметре MCR 101, Anton Paar (Австрия) с постоянной скоростью вращения цилиндра  $20 \text{ c}^{-1}$  [5].

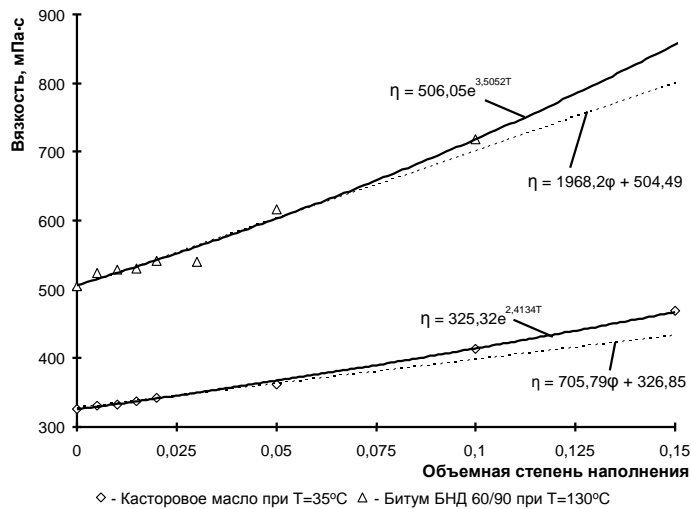


Рис. 3. Зависимость вязкости дисперсной системы от степени наполнения

Анализ данных рис. 3 показывает, что в интервале объемного содержания дисперсной фазы  $\phi \in [0; 0,05]$  выполняется уравнение А. Эйнштейна; в дальнейшем расчет толщин слоев проводился при объемной степени наполнения 2 %. Вид дисперсной фазы и температура также оказывают очевидное влияние на вязкость системы (рис.4).

а)

б)

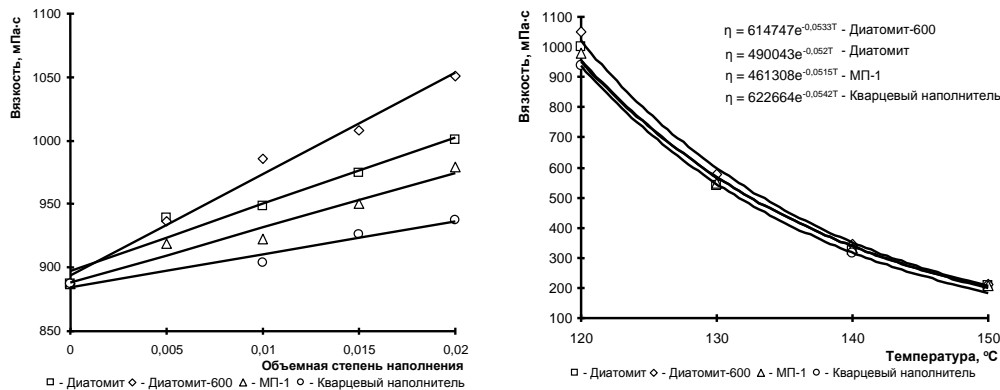


Рис 4. Зависимость вязкости дисперсной системы:  
а – от степени наполнения (при  $T = 120^{\circ}\text{C}$ ); б – от температуры (при  $\phi = 0,02$ );  
«Диатомит-600» – диатомит, обработанный при температуре  $600^{\circ}\text{C}$

Уравнение зависимости вязкости от степени наполнения при проведении аппроксимации имеет вид:  $y = kx + b$  или в соответствии с уравнением А.Эйнштейна  $\eta = \alpha\eta_0\phi + \eta_0$ , где  $k = \alpha\eta_0$  и  $b = \eta_0$ , следовательно, угловой коэффициент, характеризующий влияние дисперсной фазы, равен  $\alpha = k/b$ . Значения коэффициентов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов уравнения зависимости вязкости от степени наполнения

Коэффициент	Температура	Наполнитель			
		Кварцевый наполнитель	МП-1	Диатомит	Диатомит-600
$k$	120°C	2595,4	4319,7	5252,9	7989,6
$b$		884,6	888,3	897,56	893,89
$\alpha$		2,93	4,86	5,85	8,94
$k$	130°C	1294,1	2109,2	1585,3	3439,1
$b$		504,62	506,2	510,15	509,25
$\alpha$		2,56	4,17	3,11	6,75
$k$	140°C	588,5	1222,2	867,95	1732,3
$b$		305,9	307,0	308,39	308,63
$\alpha$		1,92	3,98	2,81	5,61
$k$	150°C	305,94	687,6	775,5	936,1
$b$		193,88	194,5	195,36	194,80
$\alpha$		1,58	3,54	3,97	4,81

По полученным экспериментальным зависимостям вязкостам дисперсной системы «битум – минеральный компонент» произведены расчеты толщин слоев: по формулам (1) и (2) – общей толщины, а по формулам (3) и (4) – адсорбционного слоя (при проведении эксперимента с дисперсной системой «касторовое масло – минеральный компонент» подбиралась температура, при которой вязкость касторового масла будет соответствовать вязкости битума) (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Толщина слоев битума на поверхности минерального компонента (при  $\alpha_0=2,5$ )

Наименование наполнителя	Общая толщина слоя по формуле (1)			
	120°C	130°C	140°C	150°C
Кварцевый наполнитель	0,777	-0,037	-0,847	-1,661
<b>Диатомит</b>	<b>0,595</b>	<b>-1,708</b>	<b>-2,127</b>	<b>-1,342</b>

Диатомит-600	1,970	0,074	-1,483	-3,309
МП-1	2,690	1,510	1,080	0,192
	Толщина адсорбционного слоя по формуле (3)			
	120°C	130°C	140°C	150°C
Кварцевый наполнитель	0,790	-0,025	-0,834	-1,649
Диатомит	0,732	-1,572	-1,991	-1,205
Диатомит-600	2,308	0,412	-1,145	-2,971
МП-1	2,690	1,510	1,080	0,192

Таблица 4

Толщина слоя битума на поверхности минерального компонента (фактор формы частиц  $\alpha$ )

Наименование наполнителя	Общая толщина слоя по формуле (2)			
	120°C	130°C	140°C	150°C
Кварцевый наполнитель	-0,185	-0,285	-0,385	-0,485
<b>Диатомит</b>	<b>0,387</b>	<b>0,656</b>	<b>0,525</b>	<b>0,041</b>
Диатомит-600	0,219	0,578	0,17	-0,405
МП-1	0,488	0,413	0,272	0,106
	Толщина адсорбционного слоя по формуле (4)			
	120°C	130°C	140°C	150°C
Кварцевый наполнитель	-0,145	-0,245	-0,345	-0,445
Диатомит	0,656	0,925	0,794	0,309
Диатомит-600	0,723	1,082	0,920	0,345
МП-1	0,522	0,447	0,306	0,140

Анализ результатов расчетов толщин слоев битума как по сравнению с идеальной системой (уравнение А.Эйнштейна) так и с модельной системой показывает, что для некоторых наполнителей толщины имеют отрицательные значения. Указанный факт физически абсурден, так как это возможно только при растворении наполнителя. Отсюда очевидно, что отрицательные значения толщин фактически указывают на отсутствие слоя битума на поверхности минерального компонента (причем как адсорбционного, так и кинетического слоя).

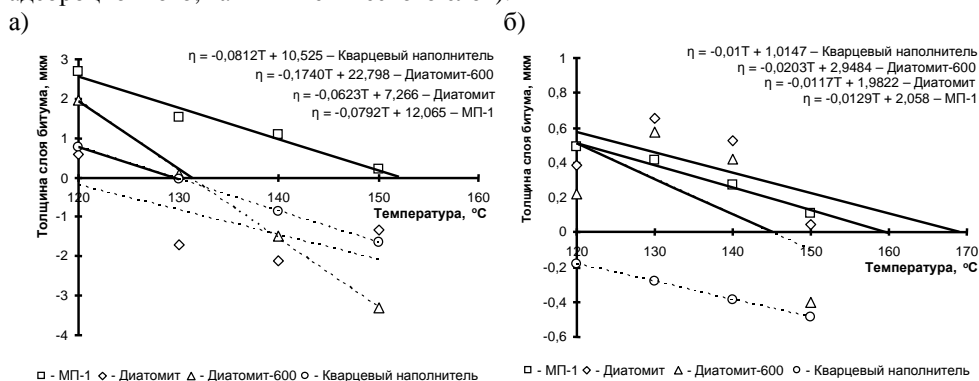


Рис. 5. Зависимость толщины оболочки битума от температуры:

а – при  $\alpha = \alpha_0$ ; б – при  $\alpha = \alpha$  (табл. 2)

Для определения толщины слоя битума важно определить температуру, при которой толщина кинетического слоя мала ( $h_k \rightarrow 0$ ). Для этого необходимо определить минимальную вязкость битума; при условии многокомпонентности битума примем, что минимальную вязкость битума обеспечивает маловязкие масла. В данном случае в качестве модели масла примем вязкость касторового масла (рис. 2).

Минимальная вязкость касторового масла наблюдается при температуре 140 °С:  $\eta_{o,\min} = 5,34$  мПа·с. Температура, при которой битум имеет  $\eta_{o,\min}$ , равна  $T^* = 220$  °С (расчет производили по формуле:  $T^* = \ln(a/\eta_{o,\min})/b$ , где  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты зависимости  $\eta_o = f(T)$  рис. 2).

Анализ данных рис. 5 показывает, что при температуре  $T^*$  толщины слоев битума на минеральном компоненте имеет отрицательные значения. Указанное означает, что на поверхности исследуемых минеральных компонентов не образуется адсорбционного слоя битума значимой (определимой реологическим методом) толщины.

Сопоставление полученных данных с теоретическими результатами [6, 9...11] указывает на хорошую сходимость и воспроизводимость предлагаемой методики определения толщины структурированного битума и физико-химической активности минерального компонента. Кроме того, представленные данные указывают на нецелесообразность применения методики определения сцепления битума с минеральным порошком, проводимой по ГОСТ 11508-74\*.

#### Библиографический список

1. *Королев Е.В.* Модель деструкции и методика прогнозирования долговесности строительных композитов / Е.В. Королев, В.А. Береговой, А.Н. Бормотов, А.И. Еремкин // Труды международной конференции «Concrete durability: achievement and enhancement» - Англия, Шотландия, университет Данди. - С. 345-356.
2. *Прошин А.П.* Выбор кинетической модели деструкции композиционных материалов. Параметры процесса / Прошин А.П., Королев Е.В., Болтышев С.А., Королева О.В. // Журнал «Известия вузов. Строительство». – 2005. – №3. – С. 32–36.
3. *Гарькина А.И.* Выбор кинетической модели деструкции композиционных материалов. Параметры процесса / Гарькина А.И., Данилов А.М., Королев Е.В. // Журнал «Обзорные прикладной и промышленной математики». – Т.15. – вып. 3. – 2008. – С. 459-460.
4. *Бахрах Г.С.* К оценке толщины адсорбционно-сольватного слоя битумов на поверхности частиц // Коллоидный журнал – 1969, – Т.39, №1, С. 8-12.
5. Ротационный вискозиметр MCR 101 // НОЦ «Нанотехнологии», URL: <http://www.nocnt.ru/index.php/ru/oborudovanie/laboratoriya-fiziko-himicheskikh-svoistv/17-viskozimetr-mcr101> (дата обращения: 25.09.2012).
6. *Покидько Б.В.* Адсорбционное модифицирование слоистых силикатов для получения полимер Покидько Б.В. - силикатных нанокомпозитов [Текст]: автореферат дис... канд. техн. Наук / Б.В. Покидько – Москва: 2004.
7. *Куколев Г.В.* Химия кремния и физическая химия силикатов [Текст]: Г.В. Куколев // М.: Высшая школа, 1966. – 232 с.
8. *Баженов Ю.М.* Наномодифицированные коррозионно-стойкие серные строительные материалы [Текст]: монография/ Ю.М. Баженов [и др.]. – М.: РГАУ-МСХА, 2008 – 167 с.
9. *Грушко И.М.* Дорожно-строительные материалы: Учеб. Для вузов/ И.М. Грушко, И.В. Королев, И.М. Борщ, Г.М. Мищенко – М.: Транспорт, 1991. – 357 с.
10. *Гезенцевей Л.Б.* Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов – Стройиздат, 1971 – 255 с.
11. *Гридчин А.М.* Особенности свойств поверхности кислых минеральных материалов для асфальтобетонов/ Строительные материалы № 8 – 2007. С. 56-57.
12. *Шлегель И.Ф.* Использование легкого пористого заполнителя в составе асфальтобетонов/ Автомобильные дороги № 6 – 2008. С. 115-116.
13. *Злотарев В.А.* Об оценке адгезии битума у поверхности минерального материала/ Автомобильные дороги № 12 – 1995. С. 13-15.
14. *Богусловский А.М.* Основы реологии асфальтобетона – М.: Высшая школа, 1972. – 200 с.
15. Повышение эффективности строительства и эксплуатации, автомобильных дорог в РФ: аналитическая записка // Конференции Общественного совета при Федеральном дорожном агентстве Министерства транспорта РФ, Общественной палаты РФ – Москва: 2011.

Об авторах: *Иноземцев Сергей Сергеевич, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет», ФГБОУ ВПО «МГСУ» НИУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, тел. 8-499-188-04-00, inozemtcevss@mgsu.ru;*

*Поздняков Михаил Константинович, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет», ФГБОУ ВПО «МГСУ» НИУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, тел. 8-499-188-04-00;*

*Королев Евгений Валерьевич, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, директор научно-образовательного центра по направлению «нанотехнологии», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет», ФГБОУ ВПО «МГСУ» НИУ, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, тел. 8-495-287-49-14, korolev@nocnt.ru.*

**S.S. Inozemtsev, M.K. Pozdnyakov, E.V. Korolev**

*National Research University Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)*

#### **RESEARCH OF THE ADSORPTION-SOLVATE LAYER OF BITUMEN ON THE SURFACE OF MINERAL FILLER**

We justify the use of the rheological method for determining the thickness of the layer of bitumen, structures on the surface of the mineral component. The analysis of existing methodologies for assessing physical and chemical activity of mineral components to the bitumen, which showed that at the moment there is no universal method that allows to justify the use of mineral filler for asphalt. It is shown that, to determine the thickness of the layer as a kinetic and adsorption can be carried out using only the bitumen. The measured viscosity of disperse systems "bitumen - mineral components" should be carried out at different temperatures. The range of the degree of filling systems, in which the Einstein equation (no more than 5% by volume). The laws of the viscosity of disperse systems "bitumen - mineral powder" from the filling level and temperature. The nature of the viscosity of bitumen and castor oil temperature, calculated the temperature at which the viscosity of the bitumen reaches a minimum value ( $T = 220^{\circ} \text{C}$ ). It is shown that the study of mineral components produced only kinetic layer, which decreases with increasing temperature, and the adsorption layer experimentally definable rheological method is not fixed. A comparison of the data with the theoretical results indicates good repeatability and reproducibility of the proposed method of determining the thickness of structured bitumen and physical and chemical activity of the mineral component. The data presented also indicate inappropriate use of methods for determining adhesion of bitumen with mineral powder, conducted in accordance with standard GOST 11508-74.

**Keywords:** kinetic layer, adsorption layer, the equation of Einstein, rheology, dispersion system, the boundary of phase interaction, physical and chemical activity.

#### **References**

1. Korolev E.V., Coast V.A., Bormotov A.N., Eremkin A.I. *Degradation model and method for predicting durability of composites* : Proceedings of the International Conference «Concrete durability: achievement and enhancement». England, Scotland, University of Dundee. - p. 345-356.
2. Proshin A.P., Korolev E.V., Boltyshev S.A. *The choice of a kinetic model of degradation of composite materials. Process parameters*, Magazine "Izvestiya vuzov. Stroitelstvo". - 2005. - № 3. - p. 32-36.
3. Garkin A.I. Daniel A., Korolev E.V. *The choice of a kinetic model of degradation of composite materials. Process parameters*. Journal "Review of Industrial and Applied Mathematics." - V.15. - No. 3. - 2008. - p. 459-460.
4. Bachrach G.S. *To estimate the thickness of the adsorption-solvate layer of bitumen on the surface of the particles*. Kolloidnyy zhurnal - 1969 - v.39, № 1, pp. 8-12.
5. Rotational viscometer MCR 101. REC «Nanotechnology», URL: <http://www.nocnt.ru/index.php/ru/oborudovanie/laboratoriya-fiziko-himicheskikh-svoistv/17-viskozimetr-mcr101> (Date of access: 09.25.2012).
6. Pokydko B.V. *Adsorptive modification of layered silicates for polymer Pokydko BV - Silicate nanocomposites: summary of dis ...* Moscow, 2004.



7. Kukolev G.V. *Silicon chemistry and physical chemistry of silicates*, Vysshaya shkola, 1966. - 232.
8. Bazhenov Yu.M. *Nanomodifitsirovannykh sulfur corrosion-resistant construction materials*: monograph. Moscow: RGAU-MSHA 2008 - 167 p.
9. Grushko I.M., Korolev I.V., Borsch I.M., Mishchenko G.M. *Road construction materials*: Manual. For schools. Moscow 1991. - 357 p.
10. Gezentsvey L.B. *Asphaltic concrete of activated mineral materials*. Stroyizdat, 1971 - 255 p.
11. Gridchin A.M. Features of *the surface properties of acidic mineral materials for asphalt*. *Stroitelnye materialy* № 8 - 2007. p. 56-57.
12. Schlegel I.F. *The use of lightweight porous filler in asphalt concrete*, *Dorogi* № 6 - 2008. p. 115-116.
13. Zlotarev V.A. *An estimate of the adhesion of bitumen at the surface of the mineral materia*. *Dorogi* № 12 - 1995. p. 13-15.
14. Boguslovsky A.M. *Basics of rheology asphalt*. Moscow, Vysshaya shkola, 1972. - 200 p.
15. Improving the efficiency of construction and operation of highways in Russia: Analytical Report. Conference of the Public Council under the Federal Road Agency of the Ministry of Transport, Public Chamber of Russia. Moscow: 2011.