

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТОВОГО ВЯЖУЩЕГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СДВИГОВОГО РЕОМЕТРА

Инженер **В.Н. Гарманов**,

канд. техн. наук **Л.А. Горельшева**

(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Контакт. информация: labndo@rosdornii.ru

В статье представлены результаты исследования асфальтового вяжущего по показателям: сдвиговой устойчивости, устойчивости к многократным сдвиговым деформациям, усталостной устойчивости. Образцы подвергались старению по методам RTFOT и PAV. Проанализирована зависимость усталости и вязкости от наличия минерального порошка.

Ключевые слова: полимерно-битумные вяжущие, асфальтовое вяжущее, битум нефтяной дорожный, сдвиговая устойчивость, старение по методу RTFOT, старение по методу PAV, устойчивость к многократным сдвиговым деформациям, активированный кварцевый минеральный порошок.

В соответствии с ГОСТ 9128 -2009 в асфальтобетоне применяются минеральные порошки известнякового происхождения по ГОСТ Р 52129-2003 и ГОСТ 32761-2014. Однако в некоторых областях Российской Федерации, особенно в Сибирском регионе, наблюдается недостаток такого минерального порошка. При этом некарбонатные породы имеются в большем количестве (кварцевый песок, гранитные отсеvy дробления и т.п.), которые могут быть использованы в качестве минерального порошка при условии обеспечения необходимого качества. Этого можно достичь, применив активированный кварцевый минеральный порошок, который получен совместным помолом с битумом (трибоактивация).

Известно, что в составе минеральной части асфальтобетонных смесей присутствует определенное количество минерального порошка, который в сочетании с битумом образует в асфальтобетоне асфальтовое вяжущее (АВВ) [1].

Для оценки качества таких минеральных порошков были выбраны образцы полимерно-битумные вяжущих (ПБВ) разных марок и АВВ на их основе, при добавлении 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129-2003. Полученные образцы испытывались до

старения и после старения по методике RTFOT¹ (ГОСТ 33140-2014), согласно которой имитируется старение вяжущего в процессе приготовления и укладки, а также по методу PAV² (ПНСТ 84-2016), по которому имитируется старение вяжущего во время эксплуатации. Эксперименты проводились при помощи сдвигового реометра в лаборатории физико-химии высокодисперсных материалов Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН. Результаты испытаний представлены в **табл. 1**.

В 2016 г. была разработана новая система классификации битумных вяжущих и соответственно новые методики их оценки качества с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок (ПНСТ 82-2016) и температурного диапазона эксплуатации (ПНСТ 85-2016).

ПБВ разных марок, БНД 60/90 и асфальтовые вяжущие на их основе испытывались по показателям (ПНСТ 82-2016), используемым при подборе вяжущего по методу «Supergave» США [2]³, а именно:

1. сдвиговой устойчивости ($G^*/\sin\delta$) – показатель, характеризующий сопротивление сдвиговым деформациям при высоких температурах эксплуатации (метод испытания по ПНСТ 87-2016);
2. температуры, при которой комплексный модуль сдвига $G^*/\sin\delta \geq 1$ кПа исходного образца и $G^*/\sin\delta \geq 2,2$ кПа образца после старения по методу RTFOT – верхняя температурная граница для определения марки вяжущего по PG⁴ (метод испытания по ПНСТ 87-2016);
3. устойчивости к многократным сдвиговым деформациям – показатель, характеризующий устойчивость к образованию колеи при высоких температурах эксплуатации и нагрузках: 3,2 кПа и 10 кПа⁵ (метод испытания по ПНСТ 88-2016);
4. усталостной устойчивости ($G^* \cdot \sin\delta$) – показатель, характеризующий устойчивость к усталостному разрушению (трещинообразованию), нормируется после старения по методам RTFOT и PAV (метод испытания по ПНСТ 87-2016);
5. усталостной устойчивости, определяемой в ходе LAS-тестов⁶ по методу испытаний вяжущих на устойчивость к образованию

¹ RTFOT – англ. Rolling Thin Film Oven Test – испытание на укатывание тонкой пленки в печи.

² PAV – англ. Pressure Aging Vessel – метод старения под действием давления и температуры.

³ Является основой отечественной системы проектирования асфальтобетонных смесей – СПАС.

⁴ PG – англ. Performance Grade – марка вяжущего, определяемая по его эксплуатационным качествам.

⁵ Согласно ПНСТ 82-2016 имеются следующие типы нагрузок: S – стандартный уровень нагрузки; H – высокий уровень нагрузки; V – очень высокий уровень нагрузки; E – экстремально высокий уровень нагрузки.

⁶ LAS – англ. Linear Amplitude Sweep – колебание с линейной амплитудой.

- усталостных трещин при средних температурах эксплуатации и заданном значении деформаций (2,5 или 5 %); нормируется после старения по методам RTFOT и PAV (метод испытания по ПНСТ 81-2016 [4]);
6. средней температурной границы работы вяжущего – T intermediate при $|G^*| \cdot \sin \delta = 5000$ кПа (метод испытания по ПНСТ 87-2016).

Анализ показателей ПБВ и АВВ позволяет отметить следующее:

1. При добавлении 10 % неактивированного минерального порошка (по ГОСТ Р 52129-2003) в ПБВ 130:
 - снижается сдвиговая устойчивость (до и после старения по методу RTFOT) и устойчивость к многократным сдвиговым деформациям;
 - усталостная устойчивость (после старения по методу PAV) практически не изменяется, а усталостная устойчивость по методу LAS-тест возрастает.
2. При добавлении 10 % неактивированного минерального порошка (по ГОСТ Р 52129-2003) в ПБВ 60:
 - сдвиговая устойчивость до старения практически не изменяется, а после старения по методу RTFOT снижается на 1,5 градуса;
 - устойчивость к многократным сдвиговым деформациям до старения повышается в два раза, а после старения по методу RTFOT практически не изменяется;
 - усталостная устойчивость ($G^* \cdot \sin \delta$) и по методу LAS-тест возрастает.

В качестве эталона испытывался битум нефтяной дорожный БНД 60/90 МНПЗ и АВВ на его основе. В битум добавлялся неактивированный минеральный порошок по ГОСТ Р 52129-2003, гранитная пыль (частицы меньше 0,071 мм) и активированный кварцевый минеральный порошок (АКМ), взятых в разных пропорциях до старения и после старения по методике RTFOT. Результаты представлены в **табл. 2**.

АКМ был получен на пилотной установке (лабораторная мельница оригинальной конструкции) путем помола кварцевого песка с добавлением битума. АКМ по своим показателям соответствовал требованиям ГОСТ 32761-2014 и ГОСТ Р 52129-2003.

Подробное описание испытания минерального порошка и асфальтобетона на его основе (тип Б и ЩМА-15) приведено в [3].

Таблица 1

Результаты испытаний исходных ПБВ разных марок и АВВ на их основе

Наименование показателя, ед. изм.	ПНСТ 82-2016	Фактическое значение						Метод испытания
		ПБВ 40	ПБВ 60	ПБВ 90	ПБВ 130	ПБВ 130 + 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	ПБВ 60 + 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	
Температура при $G^*/\sin\delta = 1$ кПа, °С	Не нормируется	83,5	88	69,3	69,5	66,1	87,9	ПНСТ 87-2016
Сдвиговая устойчивость $G^*/\sin\delta$ при 10 рад/с при температуре 64 °С, кПа	Не менее 1	7,3	6,6	1,4	1,6	1,17	6,69	
Устойчивость к многократным сдвиговым деформациям при уровне нагрузки типа E: $J_{3,2}$, кПа ⁻¹ , при температуре 64 °С	Нормируется после старения RTFOT	0,92	0,1	3,49	3,22	4,5	0,02	ПНСТ 88-2016
Устойчивость к многократным сдвиговым деформациям при уровне нагрузки типа E: J_{10} , кПа ⁻¹ , при температуре 64 °С	Нормируется после старения RTFOT	2,8	0,43	13,76	7,72	14,32	0,15	

Наименование показателя, ед. изм.	ПНСТ 82-2016	Фактическое значение						Метод испытания
		ПБВ 40	ПБВ 60	ПБВ 90	ПБВ 130	ПБВ 130 + 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	ПБВ 60 + 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	
<i>После старения по методу RTFOT (ГОСТ 33140-2014)</i>								
<i>Температура при $G^*/\sin\delta = 2,2$ кПа, °С</i>	Не нормируется	85,5	86,1	67,4	71,8	63,1	84,5	ПНСТ 87-2016
<i>Сдвиговая устойчивость $G^*/\sin\delta$ при 10 рад/с при температуре 64 °С, кПа</i>	Не менее 2,2	15,7	11,8	2,5	4,4	2,02	10,8	
<i>Устойчивость к многократным сдвиговым деформациям при уровне нагрузки типа E: $J_{3,2}$, кПа⁻¹, при температуре 64 °С</i>	Не более 0,5	0,16	-0,04	0,77	1,08	1,19	-0,03	ПНСТ 88-2016
<i>Устойчивость к многократным сдвиговым деформациям при уровне нагрузки типа E: J_{10}, кПа⁻¹, при температуре 64 °С</i>	Не более 0,5	0,43	0,0003	2	2,05	3,12	0,01	
<i>Усталостная устойчивость (LAS-тест) при 16 °С, N_f при деформации 2,5%</i>	Нормируется после старения PAV	-	2 210 373	664 505	934 065	1 463 430	1 730 235	ПНСТ 81-2016

Наименование показателя, ед. изм.	ПНСТ 82-2016	Фактическое значение						Метод испытания
		ПБВ 40	ПБВ 60	ПБВ 90	ПБВ 130	ПБВ 130 + 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	ПБВ 60 + 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	
Усталостная устойчивость (LAS-тест) при 16 °С, N_f при деформации 5 %	Нормируется после старения PAV	-	82 442	35 606	40 124	76 810	74 300	
<i>После старения по методу PAV (ПНСТ 84-2016)</i>								
Усталостная устойчивость, $G^* \cdot \sin \delta$, при 10 рад/с, при температуре 16 °С, кПа	Не более 5 000	3 610	2 220	1 910	1 100	1 060	2 590	ПНСТ 87-2016
Усталостная устойчивость (LAS-тест) при 16 °С, N_f при деформации 2,5%	Не нормируется	274 060	1 148 322	1 092 134	1 220 243	1 494 908	1 657 091	ПНСТ 81-2016
Усталостная устойчивость (LAS-тест) при 16 °С, N_f при деформации 5 %	Не нормируется	3 070	35 513	29 194	58 059	72 101	59 073	
$T_{intermediate}$ при $ G^* \cdot \sin \delta = 5000$ кПа, °С	Не нормируется	12,3	8,3	3,0	4,5	4,1	6,0	ПНСТ 87-2016

Примечание: * норма для экстремально высокого уровня нагрузки по ПНСТ 82-2016.

Результаты испытаний битума БНД 60/90 и АВВ на его основе

Наименование показателя, ед. изм.	ПНСТ 82-2016	Фактическое значение							Метод испытания
		БНД 60/90	90 % БНД 60/90 + 10% активированного кварцевого минер. порошка	90% БНД 60/90 + 10 % гранитной пыли	90% БНД 60/90 + 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	40 % БНД 60/90 + 60 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	40 % БНД 60/90 + 60 % активированного кварцевого минерального порошка	40% БНД 60/90 + 60 % гранитной пыли	
Температура при $G^{\circ}/\sin\delta = 1$ кПа, °С	Не нормируется	64,7	64,9	65,7	64,8	76	74,9	75,5	ПНСТ 87-2016
Сдвиговая устойчивость $G^{\circ}/\sin\delta$ при 10 рад/с при температуре 64 °С, кПа	Не менее 1	1,102	1,1	1,26	0,89	3,77	3,33	3,34	
Устойчивость к многократным сдвиговым деформациям при уровне нагрузки типа E: $J_{3,2}$, кПа ⁻¹ , при температуре 64 °С	Нормируется после старения RTFOT	10,51	9,8	8,3	9,59	1,72	1,55	1,62	ПНСТ 88-2016
Устойчивость к многократным сдвиговым деформациям при уровне нагрузки типа E: J_{10} , кПа ⁻¹ , при температуре 64 °С	Нормируется после старения RTFOT	1387	495	505	491	2,28	2,68	3,45	ПНСТ 88-2016

Наименование показателя, ед. изм.	ПНСТ 82-2016	Фактическое значение							Метод испытания
		БНД 60/90	90 % БНД 60/90 + 10% активированного кварцевого минер. порошка	90% БНД 60/90 + 10 % гранитной пыли	90% БНД 60/90 + 10 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	40 % БНД 60/90 + 60 % неактивированного минерального порошка по ГОСТ Р 52129	40 % БНД 60/90 + 60 % активированного кварцевого минерального порошка	40% БНД 60/90 + 60 % гранитной пыли	
После старения по методу RTFOT (ГОСТ 33140-2014)									
Температура при $G^*/\sin\delta = 2,2$ кПа, °С	Не нормируется	65,2	65,4	65,6	64	70	70	74,1	ПНСТ 87-2016
Сдвиговая устойчивость $G^*/\sin\delta$ при 10 рад/с при температуре 64 °С, кПа	Не менее 2,2	2,4	2,54	2,59	2,208	7,4	7,9	7,03	ПНСТ 88-2016
Устойчивость к многократным сдвиговым деформациям при уровне нагрузки типа S: $J_{3,2}$, кПа ⁻¹ , при температуре 64 °С	Не более 4,0*	3,89	4,01	3,69	4,4	0,73	0,5	0,65	
Устойчивость к многократным сдвиговым деформациям при уровне нагрузки типа S: J_{10} , кПа ⁻¹ , при температуре 64 °С	Не более 4,0*	389	788	470	679	0,98	0,69	0,914	ПНСТ 88-2016
Усталостная устойчивость (LAS-test) при 16 °С, N_f при деформации 2,5%	Нормируется после старения PAV	343 709	-	-	-	68 538	63 385	2 105	ПНСТ 81-2016

Примечание: * норма для стандартного уровня нагрузки по ПНСТ 82-2016

На основе анализа показателей БНД 60/90 и АВВ можно отметить, что:

1. При наличии 10 % неактивированного минерального порошка (по ГОСТ Р 52129-2003) или гранитной пыли, или АКМ показатели АВВ относительно БНД 60/90 следующие:
 - сдвиговая устойчивость (до и после старения по методу RTFOT) практически не меняется;
 - устойчивость к многократным сдвиговым деформациям до старения незначительно увеличивается при средних нагрузках, при высоких нагрузках повышается в 2 раза, после старения методом RTFOT при средних нагрузках практически не изменяется, а при высоких увеличивается в 1,5-2 раза.
2. При наличии 60 % неактивированного минерального порошка (по ГОСТ Р 52129-2003) или гранитной пыли, или АКМ показатели АВВ относительно БНД 60/90 следующие:
 - сдвиговая устойчивость (до и после старения по методу RTFOT) резко увеличивается (но разница между температурами, при которых определяется сдвиговая устойчивость до и после старения тоже увеличивается на 5 градусов, тогда как у битума практически не меняется);
 - устойчивость к многократным сдвиговым деформациям, при средних и высоких нагрузках, резко увеличивается и соответствует нормам, даже для очень высокого уровня нагрузки по ПНСТ 82-2016.

ВЫВОДЫ

1. Если в составе АВВ присутствует 10 % минерального порошка, то показатели (сдвиговая устойчивость, устойчивость к многократным сдвиговым деформациям, усталостная устойчивость) практически не изменяются относительно ПБВ или БНД 60/90, которые были основой АВВ.
2. Если в составе АВВ присутствует 60 % минерального порошка, то его показатели (сдвиговая устойчивость, устойчивость к многократным сдвиговым деформациям) увеличиваются за счет повышения вязкости относительно БНД 60/90, использованного в качестве основы АВВ.
3. Увеличение вязкости АВВ (60 % минерального порошка) на основе БНД 60/90 не зависит от типа минерального порошка (неактивированный минеральный порошок по ГОСТ Р 52129-2003, гранитная пыль или АКМ).

4. Изучение качества АВВ с применением некарбонатных минеральных порошков показывает, что они могут быть использованы для получения асфальтобетонов, но при этом требуются дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 1978. – 309 с.
2. Гарманов В.Н. Анализ методов проектирования асфальтобетона / В.Н. Гарманов // Ассоциация исследователей асфальтобетона: сборник статей и докладов Ежегодной научной сессии / МАДИ. – М., 2016. – С. 15-21.
3. Гарманов В.Н. Асфальтобетон с применением активированного кварцевого минерального порошка / В.Н. Гарманов, А.А. Нурисламов, Л.А. Горелышева // Ассоциация исследователей асфальтобетона: сборник статей и докладов Ежегодной научной сессии / МАДИ. – М., 2017. – С. 124-130.
4. Исследование реологических свойств и структурных особенностей дорожных битумов и вяжущих на основе композиционных материалов «полиэпор», предназначенных для модификации битумов и асфальтобетонных смесей: научно-технический отчет. – М.: Восход-А, 2016. – 168 с.

L I T E R A T U R A

1. Ryb'ev I.A. Stroitel'nye materialy na osnove vjazhushhih veshhestv / I.A. Ryb'ev. – М.: Vysshaja shkola, 1978. – 309 s.
2. Garmanov V.N. Analiz metodov proektirovanija asfal'tobetona / V.N. Garmanov // Associacija issledovatelej asfal'tobetona: sbornik statej i dokladov Ezhegodnoj nauchnoj sessii / MADI. – М., 2016. – S. 15-21.
3. Garmanov V.N. Asfal'tobeton s primeneniem aktivirovannogo kvarcevogo mineral'nogo poroshka / V.N. Garmanov, A.A. Nurislamov, L.A. Gorelysheva // Associacija issledovatelej asfal'tobetona: sbornik statej i dokladov Ezhegodnoj nauchnoj sessii / MADI. – М., 2017. – S. 124-130.
4. Issledovanie reologicheskikh svojstv i strukturnyh osobennostej dorozhnyh bitumov i vjazhushhih na osnove kompozicionnyh materialov «polijepor», prednaznachennyh dlja modifikacii bitumov i asfal'tobetonnyh smesej: nauchno-tehnicheskij otchet. – М.: Voshod-A, 2016. – 168 s.

**RESULTATS OF RESEARCH ON THE INFLUENCE OF MINERAL
FILLER ON ASPHALT BINDER PROPERTIES
USING SHEAR RHEOMETER**

*Engineer V.N. Garmanov,
Ph. D. (Tech.) L.A. Gorelysheva
(FAI «ROSDORNII»)*

Contact information: labndo@rosdornii.ru

The article concerns the results of research of asphalt binder in terms of: shear stability, resistance to multiple shear deformations, fatigue resistance. The samples were aged according to the RTFOT and PAV methods. The dependence of fatigue and viscosity on the presence of mineral filler is analyzed.

Key words: *polymer-bitumen binder, asphalt binder, road petroleum bitumen, shear stability, RTFOT aging, PAV aging, resistance to multiple shear deformations, activated quartz mineral filler.*

Рецензент: д-р техн. наук А.В. Руденский (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 19.09.2018 г.