

И.Ю. МАРКОВА, инженер (irishka-31.90@mail.ru), В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук,
Т.В. ДМИТРИЕВА, инженер

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

Влияние зол-уноса на вязкоупругие характеристики дорожного битума*

Рассматривается влияние добавок тонкодисперсного алюмосиликатного техногенного сырья из отходов топливно-энергетических предприятий в виде зол-уноса ТЭС различных генетических типов на вязкоупругие характеристики битума. Оценивалась устойчивость модифицированного вяжущего к колееобразованию по методу Supergravel (США) в интервале температуры 46–76°C. Установлена зависимость изменения параметра устойчивости к колееобразованию от состава, свойств и концентрации в составе вяжущего, применяемых зол-уноса ТЭС. Проведено ранжирование алюмосиликатного техногенного сырья по степени эффективности использования в качестве добавок, структурирующих битум. Показано, что использование низкокальциевых и высококальциевых зол-уноса позволяет повысить температуру перехода битума из вязкого состояния в жидкое, что приводит к повышению устойчивости битума к сдвиговым нагрузкам. Полученные результаты можно использовать как прогнозную оценку сдвигоустойчивости асфальтобетона на основе модифицированного битума.

Ключевые слова: колееобразование, реологические характеристики, битум, зола-уноса, техногенное сырье.

I.Yu. MARKOVA, Engineer (irishka-31.90@mail.ru), V.V. STROKOVA, Doctor of Sciences (Engineering), T.V. DMITRIEVA, Engineer
Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov (46, Kostukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

Influence of Fly Ashes on the Viscoelastic Characteristics of the Bitumen*

The influence of the addition of fly ashes as fine-grained silica-alumina industrial raw materials of fuel and energy enterprises (power plants) of various genetic types on the visco-elastic characteristics of the bitumen was studied. Rutting resistance of the modified binder was measured by method Supergravel (USA) in the temperature range 46–76°C. The dependence of the rutting resistance on the composition, characteristics and concentration in the composition of used thermal power plants fly ashes was determined. A ranking of aluminosilicate industrial materials according to the degree of efficiency of its use as bitumen structuring additive was performed. It is shown that the use of low calcium and high calcium fly ashes allows raising the temperature of transformation of bitumen from viscous state into liquid state, that leads to increased resistance of the bitumen binder to shear stresses. The obtained results can be used as a predictive parameter of shear resistance of asphalt concrete based on modified bitumen.

Keywords: rutting, reological characteristics, bitumen, fly ash, industrial raw materials.

Образование колеи – одна из распространенных и серьезных проблем для покрытий автомобильных дорог из битумоинеральных композиций. Дорожный битум является типичным представителем вязкоупругих материалов, свойства которого зависят от температуры и времени действия нагрузок. Регулировать свойства битума позволяет использование модифицирующих добавок, воздействующих на его структуру и свойства и, как следствие, позволяющих повысить качество дорожно-строительных композитов.

Ранее была показана эффективность использования природного и техногенного алюмосиликатного сырья для производства битумоинеральных композиций с улучшенными физико-механическими характеристиками. Среди многообразия алюмосиликатного сырья, применяемого в дорожном строительстве, золы-уноса показали достаточную эффективность как компонент

асфальтобетона [1–7], но возможность и эффективность применения этих материалов в качестве добавок, структурирующих битум в зависимости от состава и свойств, недостаточно изучены.

В данной работе представлены результаты исследования влияния различных видов зол-уноса на реологические свойства органического вяжущего, применяемого в дорожном строительстве, и ранжирование их по степени эффективности.

Несмотря на то что реологические испытания битумов не являются нормируемыми и практически не проводятся в нашей стране, изучение реологических (или вязкоупругих) свойств битумов, определяемых экспериментально при различной температуре и скорости нагружения (деформации), моделирующих условия эксплуатации покрытия автомобильной дороги, позволяет прогнозировать устойчивость асфальтобетонного по-

Таблица 1

Производитель ЗУ	Троицкая ГРЭС (РФ)	Рефтинская ГРЭС (РФ)	Новотроицкая ТЭС (РФ)	WE Energies (США)	Columbia Energy Center (США)	Назаровская ТЭС (РФ)
	1	2	3	4	5	6
Содержание СаО, мас. %	0,61	1,28	1,35	3,36	26,63	37,8
Вид применяемого топлива	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Бурый уголь	Бурый уголь
Зольность применяемого топлива, %	≈40	≈40	≈40	≈40	6–12	6–12
Способ сжигания топлива	Сухой	Сухой	Мокрый	Сухой	Сухой	Сухой
Способ удаления образовавшихся зольных отходов	Сухой	Сухой	Мокрый	Сухой	Сухой	Сухой

* Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.
* Work carried out in the framework of the Strategic Development Program BSTU named after V.G. Shukhov.

Таблица 2

№ п/п	Наименование производителя техногенного сырья	Истинная плотность, кг/м ³	Удельная поверхность по Блэйну, м ² /кг	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /кг	Пористость, %	Влажность, %
1	Троицкая ГРЭС (РФ)	2110	492	3200	43	0,27
2	Рефтинская ГРЭС (РФ)	2020	327	2900	36	0,15
3	Новотроицкая ТЭС (РФ)	2080	301	4200	42	0,59
4	WE Energies (WEE)(США)	2450	271	1200	35	0,25
5	Columbia Energy Center (CEC) (США)	3140	509	1500	36	0,1
6	Назаровская ТЭС (РФ)	3370	449	1600	47	0,4
7	Известняковый минеральный порошок	2620	418	400	27	0,4

Таблица 3

Состав	Зола						Известняк
	Низкокальциевая			Высококальциевая			
	Троицкая ГРЭС (РФ)	Рефтинская ГРЭС (РФ)	Новотроицкая ТЭС (РФ)	WE Energies (США)	Columbia Energy Center (США)	Назаровская ТЭС (РФ)	
SiO ₂	62,53	60,2	56,2	47,83	30,03	31,55	3,14
Al ₂ O ₃	28,75	30,92	27,7	28,7	20,68	8,84	1,12
CaO	0,612	1,28	1,35	3,36	26,63	37,8	51,42+41,89 CO ₂
Fe ₂ O ₃	4,1	3,35	6,18	13,16	4,67	8,99	0,534
SO ₃	0,209	0,153	0,102	1,42	2,01	4,4	0,026
MgO	1,06	0,577	4,64	1,04	7,6	6,31	1,43
Na ₂ O	1,05	0,525	1,16	0,874	3,34	0,761	0,035
K ₂ O	0,291	0,75	1,18	1,65	0,391	0,204	0,162
TiO ₂	0,588	1,17	0,684	1,07	1,29	0,261	0,026
P ₂ O ₅	0,485	0,482	0,358	0,476	2,19	–	–
RuO ₄	0,028	0,219	0,014	–	–	–	–
BaO	–	–	–	–	0,35	0,046	–
SrO	0,042	–	–	–	0,355	0,185	0,032
F	–	–	–	–	0,213	–	–
MnO	0,082	–	0,061	–	–	0,368	0,011
ППП	4,95	1,9	4,85	1,9	0,7	3,15	39,1

крытия к образованию колеи и способность асфальтобетона противостоять усталости под действием повторных нагрузок.

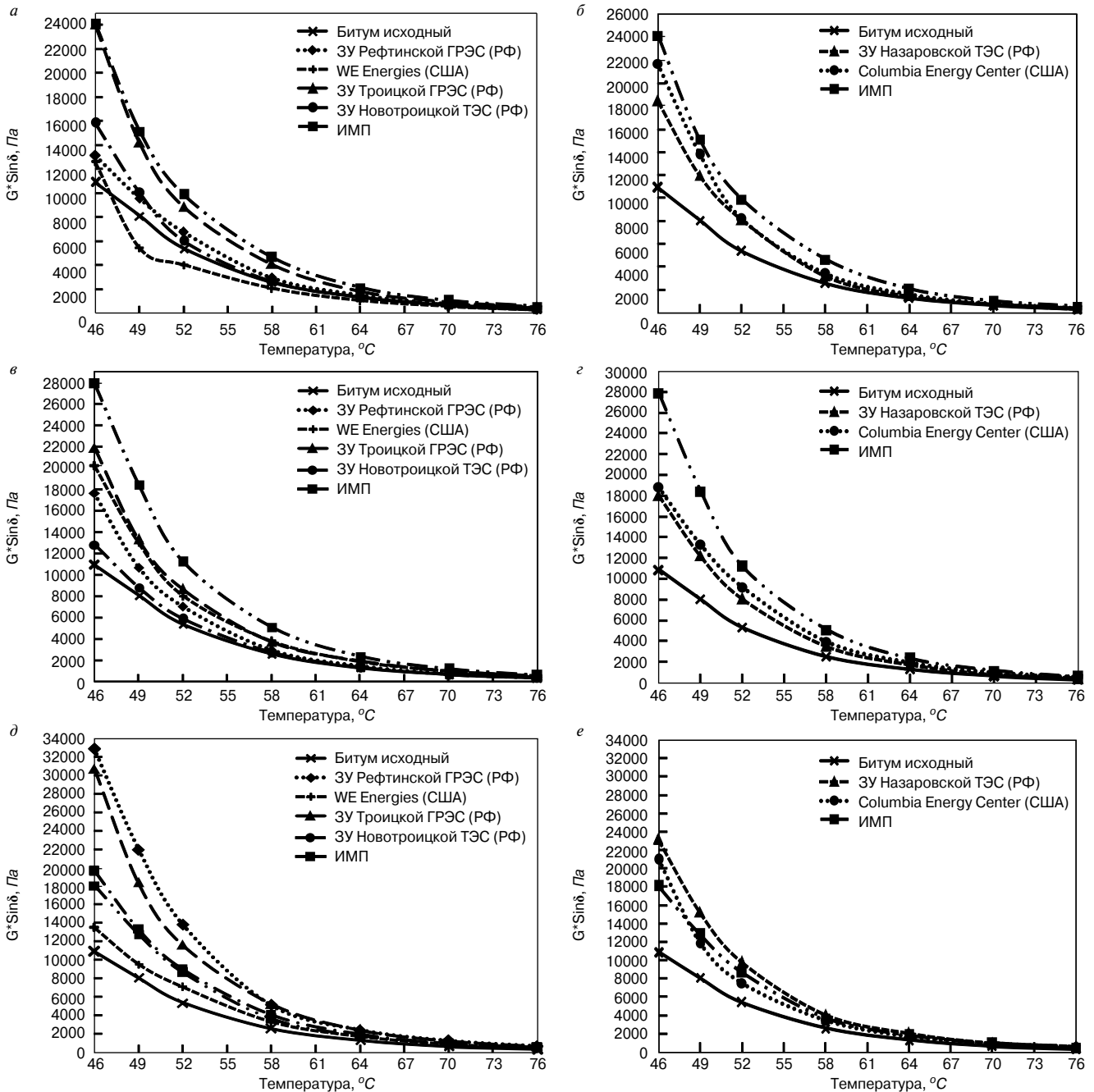
В качестве вяжущего в работе использовался битум нефтяной дорожный марки БНД 60/90 (ООО «Газпромнефть – Московский НПЗ»), который соответствовал требованиям ГОСТ 22245–90.

Для модификации битума в качестве структурирующих добавок использовалось шесть представителей зол-уноса (четыре отечественных и два зарубежных), четыре из которых низкокальциевые и два высококальциевые. Критериями выбора сырьевых компонентов явился комплекс факторов, оказывающий важнейшее значение на состав и свойства зол-уноса: вид исходного топлива; способы сжигания топлива и золоудаления (мокрый или сухой); содержание CaO в составе золы-уноса (низкокальциевые – <10% CaO, высококальциевые – >10% CaO) (табл. 1). Основные свойства зол-уноса ТЭС приведены в табл. 2.

Для сравнения качества исследуемых отходов топливно-энергетической промышленности использовался известняковый минеральный порошок (ИМП), традиционно применяемый для производства дорожно-строительных материалов и соответствующий требованиям ГОСТ Р 52129–2003. Химический состав ИМП и алюмосиликатных наполнителей из отходов от сжигания твердого топлива приведен в табл. 3.

Для проведения испытаний были подготовлены образцы из смеси битума с золой – золобитумное вяжущее (ЗБВ). Навески битума массой 0,5 кг разогревались до температуры 160°C и смешивались с 5, 10 и 15% (от массы смеси) каждого из наполнителей. В качестве контрольных образцов использовали составы битума без наполнителя и с наполнителем в виде ИМП. Гомогенизация наполнителей с битумом проводилась с применением смесителя с низкой скоростью (140±5 об/мин) в течение 5 мин до получения однородной массы. После смешивания изготавливались образцы битума, модифицированного золами-уноса диаметром 36 мм и высотой 1,5–2 мм; после остывания до комнатной температуры образцы испытывали.

Реологические свойства модифицированного битума определяли в соответствии со спецификацией TP538 SHRP [8] и AASHTO T315 [9] по методу Supergrape (США). Измерения проводились в диапазоне температуры 46–76°C с использованием ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1 (Германия) и измерительной системы пластина/пластина. Эти исследования относятся к группе колебательных измерений, в которых задают напряжение сдвига в виде функции времени гармонических колебаний синусоидальной формы и измеряют получаемое в результате изменение деформации во времени. В данной работе измерения проводили при постоянных колебаниях. В ходе эксперимента задавали постоянную



Параметр устойчивости покрытия к колееобразованию с применением вяжущего, модифицированного: *a* – 5% низкокальциевых зол-уноса; *b* – 5% высококальциевых зол-уноса; *в* – 10% низкокальциевых зол-уноса; *г* – 10% высококальциевых зол-уноса; *д* – 15% низкокальциевых зол-уноса; *е* – 15% высококальциевых зол-уноса

амплитуду и частоту и измеряли вязкоупругие свойства как функцию времени. Среди задаваемых параметров устанавливали не менее 10 циклов колебаний с радианной частотой $\omega = 10 \text{ рад/с}$ (с^{-1}) с использованием соответствующей амплитуды. Для испытания с контролируемой деформацией сдвига выбирали амплитуду деформации в интервале $\gamma = 9\text{--}15\%$ (предпочтительно 12%).

На основании полученных данных построены диаграммы (рисунок *a, б, в, г, д, е*). В общем виде кривые имеют следующий характер: повышение температуры снижает способность вяжущего сопротивляться напряжению сдвига. Однако состав, свойства зол-уноса и их концентрация в битуме влияют на величину параметра устойчивости покрытия к колееобразованию ($G^* \sin \delta$) в заданном диапазоне температуры.

При концентрации золы-уноса 5% среди низкокальциевых представителей значительно выделяется ЗУ № 1

(РФ). Ее использование позволяет повысить $G^* \sin \delta$ при $t=64^\circ\text{C}$ (рисунок *a*) на 39% по сравнению с исходным битумом и сопоставим с битумом, модифицированным ИМП. Применение ЗУ № 4 (США) в количестве 5% от массы вяжущего (рисунок *a*) нецелесообразно, так как $G^* \sin \delta$ увеличивается только при $t=46^\circ\text{C}$ на 15%. Повышение температуры приводит к снижению $G^* \sin \delta$ и значения исследуемого параметра ниже, чем у исходного битума.

С увеличением концентрации низкокальциевых зол-уноса до 10% (рисунок *в*) вяжущее, структурированное ЗУ № 4 (США) и ЗУ № 1 (РФ), лучше сопротивляется напряжениям сдвига при $t=64^\circ\text{C}$ в сравнении с золой-уноса ЗУ № 2 (РФ) и ЗУ № 3 (РФ).

Концентрация низкокальциевых зол в количестве 15% в составе ЗБВ приводит к следующим изменениям (рисунок *д*): отмечается скачок $G^* \sin \delta$ при $t=46\text{--}58^\circ\text{C}$

у ЗБВ с использованием ЗУ № 2 (РФ) и ЗУ № 1 (РФ), на 46 и 29% соответственно в сравнении с 10%-й концентрацией. При температуре 64°C данные материалы показывают результаты в среднем на 55% лучше, чем ИМП. ЗУ № 4 (США) в количестве 15% практически не влияет на $G^* \sin \delta$ ЗБВ в сравнении с 5 и 10%-й концентрацией.

Использование высококальциевых зол-уноса в качестве структурирующей добавки к битуму даже в небольших количествах (5%) позволяет добиться более заметного результата в улучшении реологических свойств битума (рисунок б), но при $t=64^\circ\text{C}$ ЗБВ с их использованием переходит в жидкое состояние и сопротивление напряжениям сдвига стремится к нулю.

Повышение концентрации высококальциевого техногенного сырья до 10% (рисунок з) несколько снижает вязкоупругие свойства ЗБВ при $t=46^\circ\text{C}$: с ЗУ № 5 (США) – на 13%, с ЗУ № 6 (РФ) – на 2%. Однако при $t=64^\circ\text{C}$ $G^* \sin \delta$ с использованием обеих зол повышается в среднем на 15%.

При 15%-й концентрации высококальциевых ЗУ в битуме (рисунок е) происходит повышение сопротивления напряжениям сдвига в сравнении с битумом, модифицированным ИМП, при этом наиболее высокие результаты показывает ЗУ № 6.

Список литературы

1. Sobolev K., Ismael F., Saha R., Wasiuddin N., Saltibus N. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous material // *Fuel*. January 2014. Vol. 116, pp. 471–477.
2. Sobolev K., Florens I., Bohler J., Faheem A., Covi A. Application of fly ash in asphalt concrete: from challenges to opportunities. <http://www.flyash.info/2013/012-Sobolev-2013.pdf> (Дата обращения 11.02.2015).
3. Маркова И.Ю., Дмитриева Т.В., Кожухова Н.И., Марков А.Ю. Состав и свойства зол-уноса как модификаторов битумного вяжущего. *Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: Сборник трудов IX межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов*. Апатиты, 2015. С. 77–79.
4. Лебедев М.С., Строкова В.В., Потапова И.Ю., Котлярский Э.В. Влияние добавок низкокальциевой золы-уноса ТЭС на характеристики дорожного битумного вяжущего // *Строительные материалы*. 2014. № 11. С. 8–11.
5. Ярмолинская Н.И., Цупикова Л.С. Повышение коррозионной стойкости асфальтобетонов на основе отходов ТЭС // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 46–47.
6. Путилин Е.И., Цветков Л.С. Применение зол-уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог: обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения золошлаков от сжигания твердого вида топлива на ТЭС. М.: СоюздорНИИ, 2003. 58 с.
7. Nagesh Tatoba Suryawanshi, Samitinjay S. Bansode, Pravin D. Nemade Use of Eco-Friendly Material like Fly Ash in Rigid Pavement Construction & It's Cost Benefit Analysis // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2012. Vol. 2. № 12. pp. 795–800.
8. Standard Test Method for Determining Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR), AASHTO Designation: TP5, based on SHRP Product 1007, September 1993.
9. AASHTO T315-10, Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, American Association of State Highway and Transportation Officials. 2010. 32 p.

Таким образом, исследование реологических характеристик битума с использованием зол-уноса различных генетических типов с различной концентрацией их в составе вяжущего (5, 10 и 15%) позволяет сделать вывод, что рассматриваемые добавки являются эффективными модификаторами. Их применение позволяет увеличить вязкость битума и тем самым повысить устойчивость вяжущего к деформациям при температуре, моделирующей условия работы дорожного покрытия. Наибольший эффект наблюдается при использовании низкокальциевых зол-уноса в количестве 15%, а высококальциевых – 10%. Введение зол-уноса в битум позволяет повысить устойчивость вяжущего к напряжениям сдвига в диапазоне температуры 46–76°C. Это, в свою очередь, обеспечивает повышение деформативной устойчивости дорожного покрытия и увеличение сроков его службы.

По степени повышения устойчивости золобитумного вяжущего к напряжениям сдвига при рациональных концентрациях исследуемые материалы проранжированы в следующей последовательности: ЗУ № 4 (США) → ЗУ № 3 (РФ) → ЗУ № 1 (РФ) → ЗУ № 2 (РФ) → ИМП → ЗУ № 5 (США) → ЗУ № 6 (РФ).

References

1. Sobolev K., Ismael F., Saha R., Wasiuddin N., Saltibus N. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous material. *Fuel*. January 2014. Vol. 116, pp. 471–477.
2. Sobolev K., Florens I., Bohler J., Faheem A., Covi A. Application of fly ash in ASHPHalt concrete: from Challenges to Opportunities. <http://www.flyash.info/2013/012-Sobolev-2013.pdf> (date of access 11.02.2015).
3. Markova I.Yu., Dmitrieva T.V., Kozhuhova N.I., Markov A.Yu. The composition and properties of fly ashes as modifiers of bitumen. *Scientific and practical problems in the field of chemistry and chemical technology: Proceedings of the IX inter-regional scientific-technical conference of young scientists, professionals and university students*. Apatity. 2015, pp. 77–79. (In Russian).
4. Lebedev M.S., Strokov V.V., Potapova I.Yu., Kotlyarskii E.V. Effect of additives of CHP low-calcium fly ash on characteristics of a road bitumen binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 11, pp. 8–11. (In Russian).
5. Jarmolinskaya N.I., Cupikova L.S. Improving of resistance to corrosive attack for asphalt concrete based on power station wastes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2007. No. 9, pp. 46–47. (In Russian).
6. Putilin E.I., Cvetkov V.S., Primenenie zol unosa i zoloshlakovyh smesey pri stroitel'stve avtomobil'nyh dorog: obzornaja informacija otechestvennogo i zarubezhnogo opyta primeneniya othodov ot szhiganiya tverdogo topliva na TJeS. [Application of fly ash and bottom-ash mixture when road construction: review information of domestic and abroad experience of application of solid fuel combustion wastes]. Moscow: Sojuzdornii. 2003. 60 p.
7. Nagesh Tatoba Suryawanshi, Samitinjay S. Bansode, Pravin D. Nemade Use of Eco-Friendly Material like Fly Ash in Rigid Pavement Construction & It's Cost Benefit Analysis. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2012. Vol. 2. No. 12, pp. 795–800.
8. Standard Test Method for Determining Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR), AASHTO Designation: TP5, based on SHRP Product 1007, September 1993.
9. AASHTO T315-10, Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, American Association of State Highway and Transportation Officials. 2010. 32 p.

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СКБ СТРОЙПРИБОР
ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



тел/факс в Челябинске:
 (351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14
 в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58
 e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
 www.stroypribor.ru

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03
 ударно-импульсный

автоматическая обработка измерений



диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
 ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание



частота 60...70 кГц
 диапазон 10...2000 мкс

ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д /
ПОС-50МГ4 "Скол"

отрыв со скалыванием и скалывание ребра



предельное усилие 60 кН
 диапазон 5...100 МПа

ПОС-2МГ4 П

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ

ПДУ-МГ4 "Удар"
 и ПДУ-МГ4 "Импульс"

определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа,

диапазон: 5...370 МН/м² ("Удар")
 5...300 МН/м² ("Импульс")



Прессы испытательные малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4

с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича

■ предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН

■ масса 70 / 120 / 180 кг



ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 / ПМ-3МГ4 / ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4

с ручным / электрическим приводом для испытания утеплителей на изгиб и сжатие при 10% линейной деформации

■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН

■ масса 20 / 25 кг

ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности сцепления в каменной кладке



предельное усилие отрыва 15 кН

АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности сцепления покрытия с основанием



предельная нагрузка 1 / 2,5 / 5 / 10 кН

ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01
 анемометр-термометр

диапазон 0,1...20 (1...30) м/с
 -30...+100 °С



ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
 термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"

3...5, 10 и 100-канальные регистраторы



диапазон 10...999 Вт/м²
 -40...+70 °С

ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

для измерения влажности бетона, сыпучих, древесины
 диапазон 1...45 %



ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4

диаметр контролируемой арматуры 3...40 мм
 диапазон измерения защитного слоя 3...140 мм



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

модульные регистрирующие для зимнего бетонирования и пропарочных камер (до 20 модулей в комплекте)
 зондовые / контактные
 1...2-канальные
 диапазон -40...+100 / 250 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых усилий 2...120 кН

диаметр арматуры 3...12 мм



ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.

Реклама