

УДК 625.7/.8

Васильев Юрий Эммануилович

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва¹
Доктор технических наук, профессор
vashome@yandex.ru

Субботин Игорь Валентинович

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Старший научный сотрудник
Кандидат технических наук
subbotin-iv@rambler.ru

Шелест Сергей Михайлович

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Студент
shelest.fromstarodub@yandex.ru

Степанищев Антон Дмитриевич

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Студент
leeroy2000@mail.ru

**Разработка системы и методики для численной оценки
когезионной и адгезионной прочностей битума**

¹ 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64, комната 133

Аннотация. В статье рассмотрена возможность получения численной величины когезионной и адгезионной прочностей битума. Описано влияние показателей адгезии и когезии на свойства асфальтобетонных смесей. Рассмотрены существующие методы определения адгезии битума и их недостатки. Выдвинуто предположение о необходимости оценки когезии, наряду с адгезией при контроле качества битума. Рассмотрены известные способы и оборудование для определения когезии дорожных битумов. Поставлена задача разработки нового метода для комбинированной оценки когезии и адгезии битума. На основе анализа существующего оборудования, разработана система для измерения когезии и адгезии битумов с использованием стеклянных пластин. Для определения площади пятна нанесенного битума, выполнялось сканирование пластин с машинным подсчетом площади. Предлагаемая методика и оборудование позволяют выполнять измерения свойств вяжущего на большинстве лабораторных разрывных машин. Описаны условия эксперимента. Для того чтобы изолировать адгезионную прочность от когезионной, испытания проводились при различных температурах от 25°C до - 20°C при неизменной скорости 3 мм мин. Результаты показывают, что в диапазоне от 25°C до 0°C наблюдается когезионное разрушение битума, при этом в интервале от 0°C до - 20°C нарастает адгезионная составляющая. Таким образом, экспериментальные работы показывают возможность дальнейшего развития методики и оборудования для оценки когезионной и адгезионной прочности битума.

Ключевые слова: автомобильные дороги; асфальтобетон; битум; адгезия; когезия; когезиометр; лабораторные испытания; прочность.

Практика эксплуатации автомобильных дорог в РФ показывает, что срок службы асфальтобетонных покрытий на них значительно ниже установленных нормативами.

Это подтверждено данными отраслевой автоматизированной базы дорожных данных АБДД «ДОРОГА», разработанной в Федеральном дорожном агентстве, данными многочисленных научных исследований, в т.ч. [1-9].

Одной из первоочередных причин преждевременного разрушения дорожных покрытий является ненадлежащая работа дорожного битума в составе композитного материала [10-12].

К недостаткам битума в качестве связующего асфальтобетонного покрытия следует отнести его низкую тепло- и морозостойкость, недостаточную адгезию к минеральному наполнителю, низкую устойчивость к многократным деформациям, что приводит к преждевременному разрушению дорожных покрытий. Для того чтобы оценить поведение битума в процессе его эксплуатации в составе асфальтобетона, выполняют ряд испытаний, в частности – оценку адгезии (сцепления) битума с минеральным наполнителем.

Для оценки сцепления дорожного битума с минеральным материалом используются как количественные, так и качественные методы [13-15]. Стандартные методы оценки адгезии битума к минеральному материалу основаны на оценке устойчивости пленки битума на поверхности зерен материала к отслаивающему действию воды. В частности, можно отметить методику по ГОСТ 11508-74 и схожий метод оценки адгезии битума с поверхностью стекла [14]. Оба этих метода основаны на визуальной (экспертной) оценке площади каменного материала (стекла), сохранившей битумную пленку после кипячения в соляном водном растворе.

Может также применяться метод оценки адгезии битума к каменному материалу по величине адсорбции красителя [16].

К существенному недостатку каждого из указанных методов следует отнести то, что величина адгезии битума к минеральному материалу определяется (оценивается) либо по косвенным показателям, либо используется визуальная экспертная оценка. То есть эти методы не позволяют определить значение абсолютной величины адгезии битума к минеральному материалу прямым измерением.

Для сравнения, существующая в настоящее время система прогнозирования эксплуатационных характеристик асфальтобетона в покрытии основана на учете его прочностных показателей – прочностей при 0, 20, 50 градусах Цельсия. Поскольку качество асфальтобетонных смесей преимущественным образом зависит от свойств битумных вяжущих, необходимо разработать научные и практические основы для дополнения существующих нормативных документов. В частности, нормы на вяжущие должны включать прочностной показатель. В качестве такого показателя целесообразно использовать когезию, характеризующую сопротивление слоев физического тела перемещению друг относительно друга на молекулярном уровне [17].

Когезия, как и адгезия, зависит от природы вещества, толщины слоя и температуры. Механизм когезии во многом зависит от вязкости и определяется межмолекулярными силами сцепления и структурой битума. К оценке когезии битумов близки испытания его на изгиб, предел прочности на разрыв и раздробление. Когезия также оказывает влияние на устойчивость композитного материала к воздействию воды [18].

На территории бывшего СССР впервые для изучения когезии битумов был использован когезиометр, разработанный в Союздорнии [13], когезионная прочность на котором определялась разрушающим усилием, необходимым для разрыва плёнки битума, находящейся в зазоре между двумя плоскопараллельными пластинами из металла или стекла.

К главным недостаткам этого прибора относится сложность в обеспечении параллельности испытательных пластин, что могло приводить к снижению точности получаемых результатов и их значительному разбросу. Кроме того, к недостаткам этого прибора может быть отнесен режим испытания с неизменной скоростью нагружения.

Среди современных когезиометров можно выделить несколько экземпляров. В частности, применяемый в ХНАДУ когезиометр КХД-1, а также производимый фирмой DuPont (США) когезиометр типа плоскость-плоскость, в котором, в качестве подложек, используются стеклянные пластины [19].

Однако известные современные приборы для измерения когезии битумов представляют собой дорогостоящие комплексы оборудования, таким образом доступность данного оборудования для рядовых дорожных лабораторий ограничена. Поэтому необходима разработка новой системы и методики для определения показателя когезионной прочности битума.

На основе изученных конструкций существующих когезиометров, в МАДИ было изготовлено оборудование и разработана методика для определения когезионной прочности битумов. При разработке данной системы были учтены основные факторы, влияющие на величину когезионной прочности - это влияние температуры, толщины плёнки и скорости испытания. Таким образом, при возможности контроля над данными параметрами, можно выполнять оценку адгезионной и когезионной прочности битумов на единой испытательной системе.

Метод заключается в нанесении пробы битума на специальные стекла с известным химическим составом для испытаний на растяжение при различных температурах, в целях выявления границы перехода когезионных разрушений в адгезионные. Для испытаний может применяться большинство известных разрывных и испытательных машин, применяемых в дорожных лабораториях.

В процессе осуществления испытаний используются закаленные стеклянные пластины размером 400x200x19 мм с различным химическим составом, отличающимся процентом содержания кварца. Капля битума наносится на поверхность горизонтально расположенной стеклянной пластины нагретой до температуры 150°C и прижимается сверху второй стеклянной пластиной, нагретой до той же температуры. В целях обеспечения точности при нанесении битума на стекла применяется специальная подготовительная платформа с графической подложкой с обозначением площадей, занимаемых пробой битума на стекле при различных типах испытаний (рисунок 1).

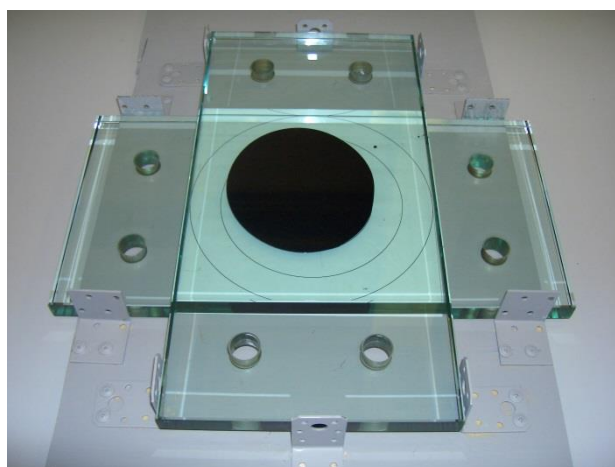


Рис. 1. Тестовые стекла с нанесенным между ними битумом

Далее на верхнее стекло устанавливается гиря массой 100г и полученная система помещается в термошкаф и выдерживается в нем при температуре 150°C в течение 20 минут для равномерного распределения прослойки вяжущего между пластинами. После этого система извлекается из термошкафа и помещается в холодильную камеру для достижения требуемой температуры. Определение температуры осуществляется пирометром, измеряемой точкой является центр пятна битума.

Для выполнения испытания на сдвиг, стекла с нанесенной пробой вяжущего закрепляются в специальной оснастке, совместимой с разрывной машиной (рисунок 2). Оснастка представляет собой направляющие, на которых закрепляются тестовые стеклянные пластины таким образом, что пластина на нижней плите неподвижна в то время, как производится параллельный сдвиг верхней плиты. Конструкция оснастки обеспечивает параллельность стекол в процессе испытания, что гарантирует расположение рабочей площади образца строго по центральной линии системы. Таким образом, разработанная система обладает преимуществами в виде простоты конструкции, универсальности и низкой стоимости по сравнению со специализированными когезиометрами.

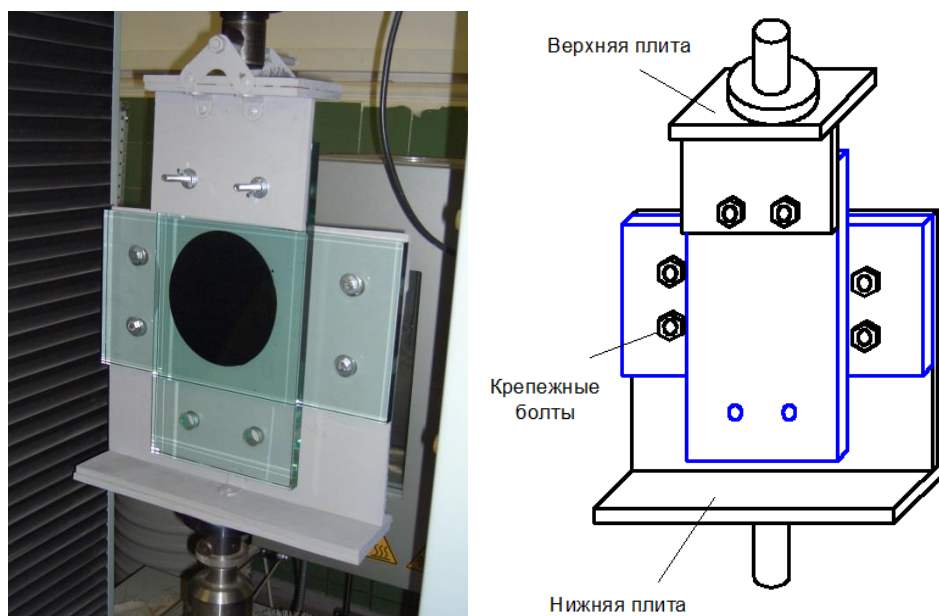


Рис. 2. Оснастка для испытания на сдвиг

Для испытаний использовался битум марки БНД 60/90 в исходном варианте, а также проба серобитумного вяжущего, полученная при замене 20% битума технической серой (по массе). Выбор для сравнения серобитумного вяжущего обусловлен актуальностью его применения в составе асфальтобетонных смесей вследствие его пониженной по сравнению с обычными битумами стоимостью [20, 21].

Выполнялись испытания при температурах 25°C, 10°C, 0°C. Для испытаний принимались навески вяжущего 6 г, 2 г и 1 г соответственно температурам. Уменьшение навески битума для испытаний при пониженных температурах обусловлен ростом вязкости вяжущего при 10°C и 0°C. Для определения площади, занимаемой распределенной навеской вяжущего, в каждом случае перед испытанием выполнялось сканирование тестовых стекол с машинным определением площади распределенного битума (рисунок 3). Таким образом, достигается наиболее объективный расчет площади образца.

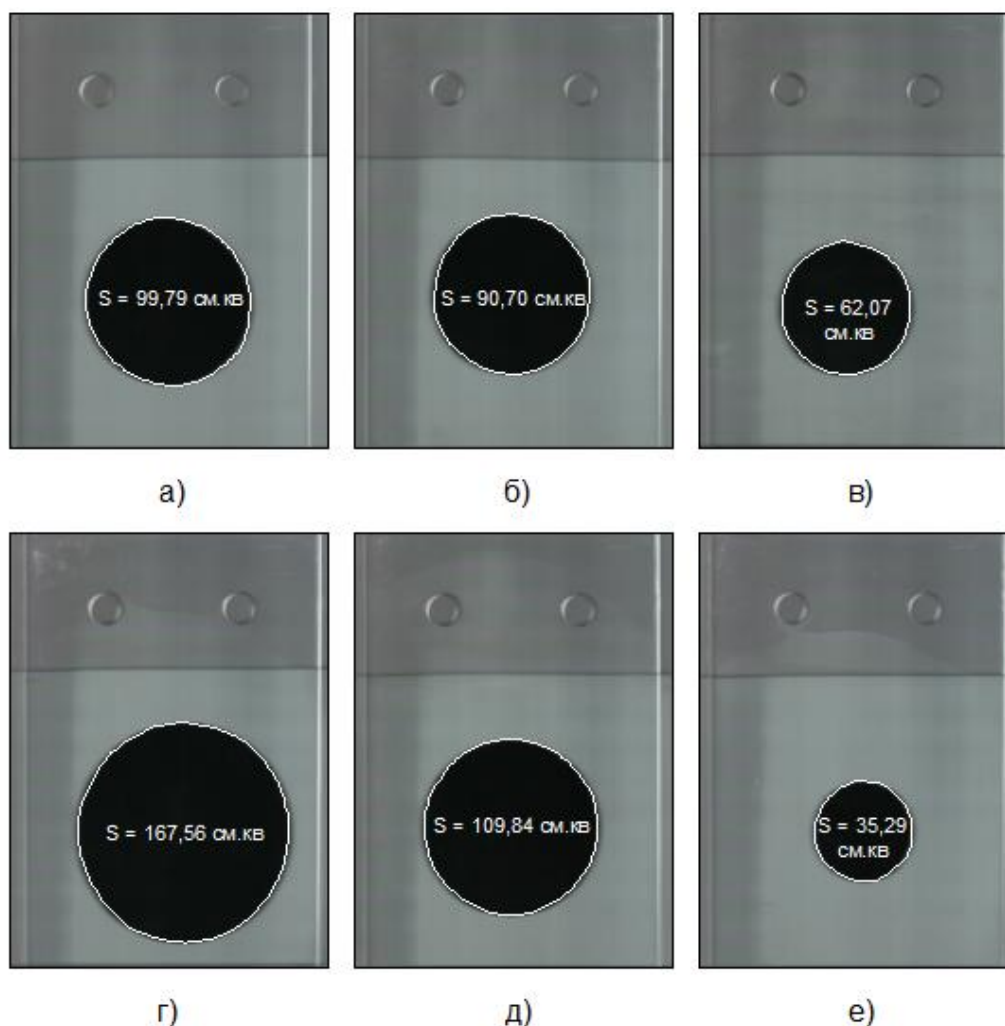


Рис. 3. Изображения стеклянных пластин с пробой битума

Обозначения: а) битум 25°C; б) битум 10°C; в) битум 0°C; г) серобитумное вяжущее 25°C; д) серобитумное вяжущее 10°C е) серобитумное вяжущее 0°C

Известно, что величина адгезионной прочности имеет четко выраженную скоростную зависимость [16]. Когезионное разрушение адгезива наблюдается обычно при небольшой скорости, повышение скорости приводит к смешанному разрушению, а при высоких скоростях разрыв имеет преимущественно адгезионный характер. В проводимых экспериментах отделение адгезионной составляющей прочности битума от когезионной достигается путём снижения температуры, поэтому в ходе испытаний в диапазоне от 25°C до 0°C задавалась одинаковая скорость равная 3 мм/мин. Предположительно, при такой скорости испытания при температуре 25°C можно получить значения когезионной прочности битума, а при понижении температуры получить смешанный тип разрушения. Адгезионное разрушение может быть достигнуто при понижении температуры до такой отметки, когда когезионная прочность превысит адгезионную. Таким образом, применение скорости 3 мм/мин позволит отследить и когезионное и адгезионное разрушение битума при различных температурах, при этом одинаковая скорость для всех испытания обеспечит возможность сопоставления данных.

В ходе испытания фиксировалась диаграмма «нагрузка-деформация». За разрушающую нагрузку принималось максимальное усилие, достигаемое в процессе сдвига образца вяжущего.

Результаты испытаний представлены на рисунке 4. Прочность на растяжение вычислялась как отношение максимального разрушающего усилия к площади распределенного битума.

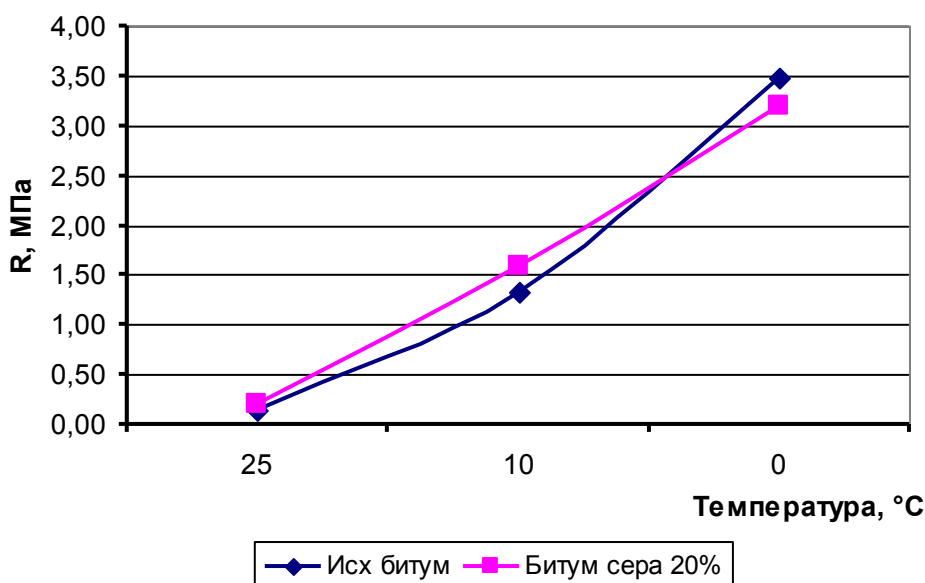


Рис. 4. Зависимость прочности на сдвиг от температуры в диапазоне от 25°C до 0°C

Из графика на рисунке 4 видно, что при уменьшении температуры происходит значительное увеличение когезионной прочности вяжущих, что обусловлено увеличением вязкости. О когезионном характере разрушения битума и серобитумного вяжущего свидетельствует разрыв по объёмному вяжущему, находящемуся в прослойке между пластинами, при этом площадь пятна изменяется следующим образом: при температуре 25°C после испытания сохраняется 100% площади пятна, при 10°C - 95%, а при 0°C – 85%. При этом, с уменьшением остаточной площади пятна, а следовательно, при увеличении процента адгезионного разрушения, наблюдается снижение величины прочности серобитумного вяжущего, что может быть объяснено его более низкой адгезией при достоянстве в виде более низкой стоимости.

Эти результаты подтверждают гипотезу о том, что при неизменной для всех испытаний скорости 3 мм/мин можно изучить как когезионное разрушение, так и адгезионное за счет варьирования температуры. По результатам также сделан вывод о том, что для получения адгезионного разрушения требуется снижение температуры ниже 0°C.

Для дальнейших испытаний по определению адгезионной прочности битума была принята одинаковая навеска битума, равная 1 г, скорость испытания составляет 3 мм/мин. Площадь пятна вяжущего для битума составляет 61,2 см², для серобитумного вяжущего 35 см². Приняты температуры испытаний: -10°C, -15°C, -20°C.

Результаты испытаний представлены на рисунке 5.

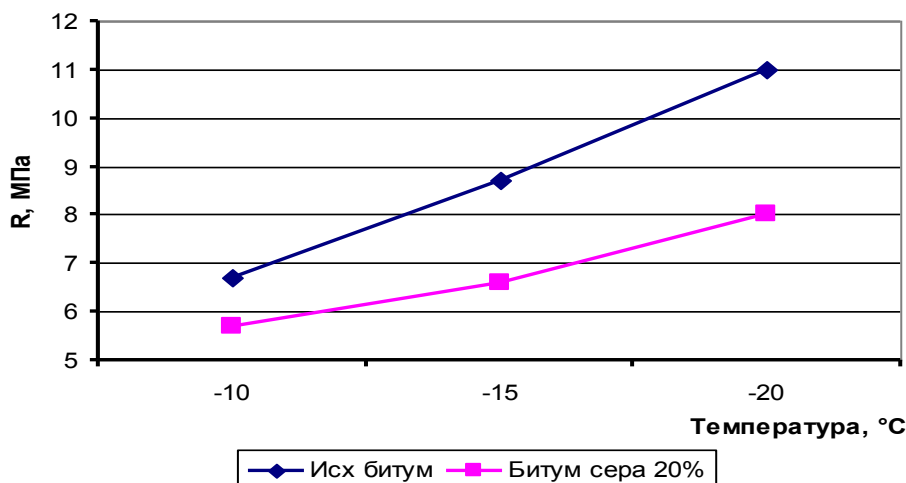


Рис. 5. Зависимость прочности на сдвиг от температуры в диапазоне от -10°С до -20°С

Во второй серии экспериментов изменения пятна битума после испытания распределялось следующим образом: при температуре -10°С сохранилось 45% площади пятна, при -15°С – 25%, при -20°С – 5%. Следовательно, при температуре -20°С наблюдается на 95% адгезионное разрушение. Результаты показывают, что при увеличении процента адгезионного разрушения, наблюдается снижение прочности серобитумного вяжущего, что согласуется с известными данными, по которым серобитумное вяжущее, как правило, вводится в смесь в количествах, больших, чем при использовании стандартного битума, для достижения аналогичной адгезии.

Таким образом, разработанная методика и оборудование позволяют выполнять численное сравнение когезии и адгезии вяжущих. В дальнейших испытаниях будут оценены зависимости когезионной и адгезионной прочности от скорости испытаний и химического состава стекол, что необходимо для разработки нормативной документации для этого метода [19].

Выполненные аналитические и экспериментальные работы позволяют сделать следующие выводы:

- существующие методики оценки адгезии битумов обладают важным недостатком, выраженном в невозможности получения численной величины адгезии;
- помимо адгезии, важным параметром органического вяжущего является когезия, которая может быть определена с помощью когезиометров;
- на основе анализа конструкций, принципа действия, преимуществ и недостатков существующих когезиометров разработана система и методика для комплексной оценки когезионной и адгезионной прочности битумов;
- сконструированное оборудование обладает рядом преимуществ – простой конструкцией и возможностью применения с большинством разрывных машин;
- выполненные испытания подтверждают возможность оценки когезии и адгезии вяжущих на разработанном оборудовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормативно-методическое обеспечение развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве / Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В. // Инновации. 2011. № 7. С. 82-85.
2. Формирование научно-инновационной политики дорожного хозяйства / Сухов А.А., Карпеев С.В., Кочетков А.В., Аржанухина С.П. // Инновационная деятельность. 2010. № 3. С. 41.
3. Состояние нормативного обеспечения инновационной деятельности дорожного хозяйства / Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В., Карпеев С.В. // Качество. Инновации. Образование. 2010. № 9. С. 40.
4. Состояние современного методического обеспечения расчета и конструирования дорожных одежд / Кочетков А.В., Кокодеева Н.Е., Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Шашков И.Г. // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2011. № 1. С. 65-74.
5. Методологические основы оценки технических рисков в дорожном хозяйстве / Кокодеева Н.Е., Талалай В.В., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Аржанухина С.П. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2011. № 3. С. 38-49.
6. Шероховатые поверхности: нормирование, проектирование и устройство / Кочетков А.В., Суслиганов П.С. // Автомобильные дороги. 2005. № 1. С. 54.
7. Совершенствование структуры отраслевой диагностики федеральных автомобильных дорог / Аржанухина С.П., Кочетков А.В., Козин А.С., Стрижевский Д.А. // Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 4 (13). С. 70.
8. Прямой метод оценки взаимодействия колеса транспортного средства и неровностей дорожного покрытия / Кочетков А.В., Беляев Д.С., Шашков И.Г. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 4 (17). С. 38.
9. Диагностика и паспортизация элементов улично-дорожной сети системой видеокomпьютерного сканирования / Васильев Ю.Э., Беляков А.Б., Кочетков А.В., Беляев Д.С. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 55.
10. Бадикова А.Д., Мусина А.М., Хайруллина Р.Н., Кудашева Ф.Х., Гимаев Р.Н. Получение высокоэффективных адгезионных модификаторов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. №4. С.128-132. URL: http://ogbus.ru/authors/Badikova/Badikova_2.pdf.
11. Васильев Ю.Э. Качество битума. Чем оно определяется? Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 2. С. 27-28.
12. Васильев Ю.Э. Особенности и проблемы обращения битума / Васильев Ю.Э., Кочетков А.В., Сарычев И.Ю., Андронов С.Ю. //Строительные материалы. 2013. № 10. С. 32-35.
13. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М., 1973. – 264 с.
14. Золотарев В.А., Ткачук Ю.П., Агеева А.Н., Кудрявцева С.В. "Оценка водостойчивости пленки битумного вяжущего по показателю сцепления со стеклом" Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Конференция БГТУ им. В.Г. Шухова. Международная научно-практическая

- Интернет-конференция «Современные методы строительства автомобильных дорог и обеспечение безопасности движения». [Электронный ресурс]. 2007.– Режим доступа:<http://www.conf.bstu.ru/conf/docs/0047/2112.doc/> -свободный. – Загл. с экрана.
15. Huang, SC, Turner. TF, Pauli, AT, Miknis, FP, Branthaver, JF & Robertson, RE 2005, 'Evaluation of different techniques for adhesive properties of asphalt-filler systems at interfacial region: in D Damico (ed.), Adhesives. Adhesion Science and Testing: ASTM Special Technical Publication No. 1463, Washington DC, October 4, 2004, American Society for Testing and Materials: Philadelphia, pp. 114-128.
 16. Колбановская А.С. Метод красителей для определения сцепления битума с минеральными материалами. – М.: Автотрансиздат.– 1959. С.32-35
 17. Пыриг Я. И., Галкин А. В., Золотарев В. А. Определение когезии битумных вяжущих на когезиометре кхд-1 - Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, випуск 2013 1(99).
 18. Canestrari, F., Cardone, F., Graziani, A., Santagata, F., Bahia, H. U. Adhesive and Cohesive Properties of Asphalt-Aggregate Systems Subjected to Moisture Damage. In Road Materials and Pavement Design, Vol. 11, 2010, pp. 11-32.
 19. Babcock, Gregg B. Study of Asphalt Binders using Lap Shear Bonds [Текст] / Gregg B. Babcock, Robert J. Statz, Diug S. Larson // Proceedings of the 43rd Annual Conference of Canadian Technical Asphalt Association / Canadian Technical Asphalt Association. – Vancouver, Canada 1998. – Volume XLIII. – P. 1–15.
 20. Алехина М.Н. Сероасфальтобетонные смеси /Алехина М.Н., Васильев Ю.Э., Мотин Н.В., Сарычев И.Ю. Строительные материалы. 2011. № 10. С. 12-13.
 21. Васильев Ю.Э. Физико-химические основы применения серы как материала в качестве вяжущего для сероасфальтобетона и сероцементобетона / Васильев Ю.Э., Мотин Н.В., Сарычев И.Ю., Кочетков А.В. // В сборнике: Строительство, дизайн, архитектура: разработка научных основ создания здоровой среды обитания. Сборник материалов международной научной конференции, Россия, г. Киров, 24-25 июня 2013 г.. под редакцией А.В.Кочеткова. Киров, 2013. С. 64-71.

Рецензент: Кокодеева Наталия Евсегнеевна, д.т.н., профессор кафедры, «Транспортное строительство» Саратовского государственного, технического университета имени Гагарина Ю.А., академик транспорта; Ермолаева Вероника Викторовна, к.т.н., доцент СГТУ, секретарь Поволжского отделения Российской академии транспорта.

Yuri Vasiliev

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI)
Russia, Moscow
vashome@yandex.ru

Igor Subbotin

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI)
Russia, Moscow
subbotin-iv@rambler.ru

Sergey Shelest

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI)
Russia, Moscow
shelest.fromstarodub@yandex.ru

Anton Stepanishev

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI)
Russia, Moscow
leeroy2000@mail.ru

Bitumen cohesion and adhesion strength quantitative assessment method and system research

Abstract. In article bitumen cohesion and adhesion strength quantitative assessment is considered. Cohesion and adhesion influence on asphalt concrete properties is described. Present methods of bitumen adhesion determination and their disadvantages are considered. Cohesion along with adhesion measuring during bitumen quality control necessity assumption is made. Bitumen cohesion and adhesion testing system with use of glass plates is developed based on present equipment analysis. For spreaded bitumen patch area determination scanning of plates was used with machine area calculation. Proposed method and equipment are able to perform binder properties determination with use of most laboratory tension meter systems. Experiment conditions are described. For adhesion strength isolation from cohesion strength the experiments were performed with different temperatures in range from 25°C to - 20°C with 3 mm/min speed. Results indicate that in range from 25°C to 0°C cohesive break is observed while in range from 0°C to – 20°C adhesive component of break is rising. In this way experimental researches show bitumen cohesion and adhesion determination method and equipment further development possibility

Keywords: automobile roads; asphalt concrete; bitumen; adhesion; cohesion; cohesion meter; laboratory tests; strength.

REFERENCES

1. Normativno-metodicheskoe obespechenie razvitija innovacionnoj dejatel'nosti v dorozhnom hozjajstve / Arzhanuhina S.P., Suhov A.A., Kochetkov A.V. // Innovacii. 2011. № 7. S. 82-85.
2. Formirovanie nauchno-innovacionnoj politiki dorozhnogo hozjajstva / Suhov A.A., Karpeev S.V., Kochetkov A.V., Arzhanuhina S.P. // Innovacionnaja dejatel'nost'. 2010. № 3. S. 41.
3. Sostojanie normativnogo obespechenija innovacionnoj dejatel'nosti dorozhnogo hozjajstva / Arzhanuhina S.P., Suhov A.A., Kochetkov A.V., Karpeev S.V. // Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie. 2010. № 9. S. 40.
4. Sostojanie sovremennogo metodicheskogo obespechenija rascheta i konstruirovaniya dorozhnyh odezhd / Kochetkov A.V., Kokodeeva N.E., Rapoport P.B., Rapoport N.V., Shashkov I.G. // Transport. Transportnye sooruzhenija. Jekologija. 2011. № 1. S. 65-74.
5. Metodologicheskie osnovy ocenki tehniceskikh riskov v dorozhnom hozjajstve / Kokodeeva N.E., Talalaj V.V., Kochetkov A.V., Jankovskij L.V., Arzhanuhina S.P. // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika. 2011. № 3. S. 38-49.
6. Sherohovatye poverhnosti: normirovanie, proektirovanie i ustrojstvo / Kochetkov A.V., Susliganov P.S. // Avtomobil'nye dorogi. 2005. № 1. S. 54.
7. Sovershenstvovanie struktury otraslevoj diagnostiki federal'nyh avtomobil'nyh dorog / Arzhanuhina S.P., Kochetkov A.V., Kozin A.S., Strizhevskij D.A. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2012. № 4 (13). S. 70.
8. Prjamoj metod ocenki vzaimodejstviya koleasa transportnogo sredstva i nerovnostej dorozhnogo pokrytija / Kochetkov A.V., Beljaev D.S., Shashkov I.G. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 4 (17). S. 38.
9. Diagnostika i pasportizacija jelementov ulichno-dorozhnoj seti sistemoj videokomp'yuternogo skanirovanija / Vasil'ev Ju.Je., Beljakov A.B., Kochetkov A.V., Beljaev D.S. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 3 (16). S. 55.
10. Badikova A.D., Musina A.M., Hajrullina R.N., Kudasheva F.H., Gimaev R.N. Poluchenie vysokoeffektivnyh adgezionnyh modifikatorov // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». 2011. №4. S.128-132. URL: http://ogbus.ru/authors/Badikova/Badikova_2.pdf.
11. Vasiliev Y.E Quality bitumen. How is it determined? // Science and technology in the road sector. 2011. No. 2. C. 27-28.
12. Vasiliev Y.E., Kochetkov A.V., Sarychev I.Y., Andronov S.Y. Features and problems of the treatment of bitumen.//Building materials. 2013. No. 10. S. 32-35.
13. Kolbanovskaja A.S., Mihajlov V.V. Dorozhnye bitумы. - M., 1973. – 264 s.
14. Zolotarev V.A., Tkachuk Ju.P., Ageeva A.N., Kudrjavceva S.V. "Ocenka vodoustojchivosti plenki bitumnogo vjazhushhego po pokazatelju scepnenija so steklom" Har'kovskij nacional'nyj avtomobil'no-dorozhnyj universitet. Konferencija BGTU im. V.G. Shuhova. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja Internet-konferencija «Sovremennye metody stroitel'stva avtomobil'nyh dorog i obespechenie

- bezopasnosti dvizhenija». [Elektronnyj resurs].2007.–Rezhim dostupa:<http://www.conf.bstu.ru/conf/docs/0047/2112.doc/> -svobodnyj. – Zagl. s jekrana.
15. Huang, SC, Turner. TF, Pauli, AT, Miknis, FP, Branthaver, JF & Robertson, RE 2005, 'Evaluation of different techniques for adhesive properties of asphalt-filler systems at interfacial region: in D Damico (ed.), Adhesives. Adhesion Science and Testing: ASTM Special Technical Publication No. 1463, Washington DC, October 4, 2004, American Society for Testing and Materials: Philadelphia, pp. 114-128.
 16. Kolbanovskaja A.S. Metod krasitelej dlja opredelenija sceplenija bituma s mineral'nymi materialami. – M.: Avtotransizdat.– 1959. S.32-35
 17. Pyrig Ja. I., Galkin A. V., Zolotarev V. A. Opredelenie kogezi bitumnyh vjzhashhih na kogeziometre khd-1 - Visnik Donbas'koï nacional'noï akademii budivnictva i arhitekturi, vipusk 2013 1(99).
 18. Canestrari, F., Cardone, F., Graziani, A., Santagata, F., Bahia, H. U. Adhesive and Cohesive Properties of Asphalt-Aggregate Systems Subjected to Moisture Damage. In Road Materials and Pavement Design, Vol. 11, 2010, pp. 11-32.
 19. Babcock, Gregg B. Study of Asphalt Binders using Lap Shear Bonds [Tekst] / Gregg B. Babcock, Robert J. Statz, Diug S. Larson // Proceedings of the 43rd Annual Conference of Canadian Technical Asphalt Association / Canadian Technical Asphalt Association. – Vancouver, Canada 1998. – Volume XLIII. – P. 1–15.
 20. Alekhine M.N. Seroasfaltobetonnye mixture / Alekhine M.N., Vasiliev J.E., Motin N.V., Sarychev I.Y. Building Materials. 2011. № 10. S. 12-13.
 21. Vasiliev Y.E. Physico-chemical basis for the use of sulfur as a material as a binder for seroasfaltobetona and serotsementobetona / Vasiliev J.E., Motin N.V., Sarychev I.Y., Kochetkov A.V. // In: Construction, Design and architecture: the development of scientific basis to create a healthy environment Proceedings of the international scientific conference, Russia, Kirov, June 24-25, 2013 .. edited A.V..Kochetkova. Kirov, 2013 S. 64-71.