

УДК 625.7/.8

Васильев Юрий Эммануилович

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

Илюхин Владислав Владимирович

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»
Россия, Москва
Студент
casual5@yandex.ru

Степанищев Антон Дмитриевич

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

Оценка свойств битума на приборе для экспресс-анализа нефтепродуктов

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

Аннотация. Рассматривается необходимость разработки методики экспресс-анализа дорожных битумов. Описаны проблемы, возникающие при контроле качества строительных материалов в течение производственного процесса. Показана невозможность оперативной оценки свойств материалов в силу требований действующих нормативов. Рассмотрены преимущества методов оперативного контроля качества дорожно-строительных материалов. Рассмотрены некоторые методы экспресс-анализа свойств строительных материалов и сферы их применения. Обоснована необходимость выполнения оперативного анализа свойств дорожных битумов в производственном процессе. Рассмотрены основные нормативные характеристики битума, обеспечивающие его надлежащую работу в составе асфальтобетона. Поставлена задача изучить зависимость показаний прибора для экспресс-анализа битумов с нормативными показателями. Описан механизм, составные части и методика работы на приборе для экспресс-анализа нефтепродуктов, рассмотрены его преимущества. Описаны материалы и условия проведения эксперимента. Выполнены испытания по оценке пенетрации, температуры размягчения битума и проведено сравнение полученных результатов с показаниями прибора экспресс-анализа. Анализ результатов показывает взаимосвязь между величинами, полученными в результате экспресс-анализа битума и значениями пенетрации и температуры размягчения. Сделаны выводы о возможности дальнейшего развития оборудования и методики для оперативного контроля битума.

Ключевые слова: автомобильные дороги; асфальтобетон; битум; качество; производство; оперативный контроль; пенетрация; температура размягчения.

На данный момент до 70 процентов производимых в РФ и странах СНГ нефтяных битумов не соответствуют по свойствам и качеству условиям, возникающим в процессе эксплуатации, и в первую очередь это касается битумов дорожного, строительного и специального назначений.

Проведено большое количество исследований по мониторингу эффективности применения и изменению свойств дорожно-строительных материалов, в том числе битумов, в зависимости от дорожных условий, показателей качества, технологии строительства, интенсивности и состава движения [1-9].

Как следствие недостаточное качество битумов ведет к возникновению ряда дефектов, преждевременному разрушению дорожных покрытий и, в итоге приводит к увеличению капитальных затрат на проведение внеплановых ремонтных работ [10]. Существенное повышение качества дорожно-строительных материалов, изделий и конструкций может быть достигнуто при условии совершенствования процесса производства и методов контроля качества на всех этапах строительства транспортных объектов.

Стандартные методики определения характеристик битума далеко не всегда могут быть успешно применены для оперативной оценки вяжущих. Разработка экспресс - методов контроля качества дорожно-строительных материалов позволяет оперативно корректировать сложный и дорогостоящий процесс многотоннажного производства асфальтобетона, что существенно снижает себестоимость смесей и дорожного строительства в целом.

Под термином «оперативный» следует понимать следующее значение: «способный быстро, вовремя исправить или направить ход дел», «непосредственно, практически осуществляющий что-нибудь» [11]. Определение «оперативное» означает, что данный вид контроля осуществляется при достаточно коротком интервале времени и связан со своевременным и быстрым реагированием на изменение и отклонения, возникающие в ходе реализации производственного процесса.

Необходимость выполнения оперативного контроля связана с динамическим характером строительного производства и подверженностью его воздействию внешних и внутренних возмущающих воздействий [12]. К внешним воздействиям можно отнести: несоблюдение сроков поставок материальных ресурсов, невыполнение плана-графика работ субподрядными организациями, невыполнение заказчиками обязательств по финансированию проекта и т. д. К внутренним воздействиям - текучесть рабочих кадров, несоблюдение технологии производства работ, технические неисправности, нарушение правил техники безопасности и охраны труда и т.д. В таких условиях зачастую невозможно осуществить заранее намеченную программу действий, что в итоге сказывается на качестве продукции.

Экспресс-методы контроля качества материала активно вводятся, например, в нефтяной промышленности. В частности, на основе принципа импульсного ядерного магнитного резонанса разработаны экспресс методы определения группового состава, термодинамических параметров тяжелых нефтяных остатков, а также определение температуры размягчения и хрупкости битумов [13]. Экспресс-методы активно разрабатываются и внедряются за рубежом, в частности для оценки содержания битума в асфальтобетонной смеси [14]. Также известен способ оценки адгезии битума по показателю диэлектрической проницаемости [15], востребованный в том числе для оценки эффектов, вносимых в битум механоактивацией [16, 17].

Вопросы оперативного контроля ключевых показателей материала занимают важное место в научных исследованиях, посвященных обеспечению качества цементобетона. Это вызвано тем, что основные свойства, такие как: прочность при сжатии и изгибе, а также для некоторых видов цементобетона, морозостойкость и водонепроницаемость, можно

определить только по истечении 28 суток твердения цементобетонной смеси. Поэтому объективно оценить качество материала к моменту передачи бетонной смеси потребителю не представляется возможным [17].

При рассмотрении вопроса обеспечения качества дорожного битума наблюдается аналогичная проблема – практически все нормативные характеристики вяжущего оцениваются по прохождении значительного временного интервала. Поэтому актуальной задачей является разработка и внедрение метода оперативного контроля качества битума, обладающего корреляцией с основными свойствами вяжущего. В частности, к наиболее важным эксплуатационным показателям битумных вяжущих следует отнести прочность, в частности сдвиговую и разрывную, эластичность, от которой, как известно, зависит морозостойкость и долговечность асфальтобетона, адгезию, определяющую сцепление с каменным материалом, температуру хрупкости.

Для оценки указанных свойств используют различные методы и приборы. Например, о прочностных характеристиках косвенно судят на основании температур размягчения (метод кольца и шара – КИШ) и твердости (метод пенетрации). При соответствии значений КИШ и пенетрации нормативным требованиям, предполагается, что битум будет надлежащим образом работать в составе композита. Однако, наиболее объективными и информативными являются реологические методы оценки прочностных характеристик строительных материалов. Они оперируют такими величинами как сдвиговая и разрывная прочность материала (предельное напряжение сдвига, предел текучести) в кило- или мегапаскалях (кПа и МПа) ($\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$), долговечность (усталостная прочность), и др. Эти методы устанавливают зависимость вида деформации (упругой, пластической, вязкой) от величины и вида приложенной к телу силы (напряжения). Исследования структурно-реологических характеристик композиций сводятся к описанию закономерностей их течения и являются важнейшим инструментом, позволяющим прогнозировать поведение материала в реальных условиях его эксплуатации [18].

Существующие оценки эксплуатационных характеристик битумов являются длительными и малоинформативными, или слишком дорогими и сложными. Поэтому актуальной является задача разработки простых экспрессных методов оценки основных характеристик битумов, один из вариантов такого подхода описывается ниже.

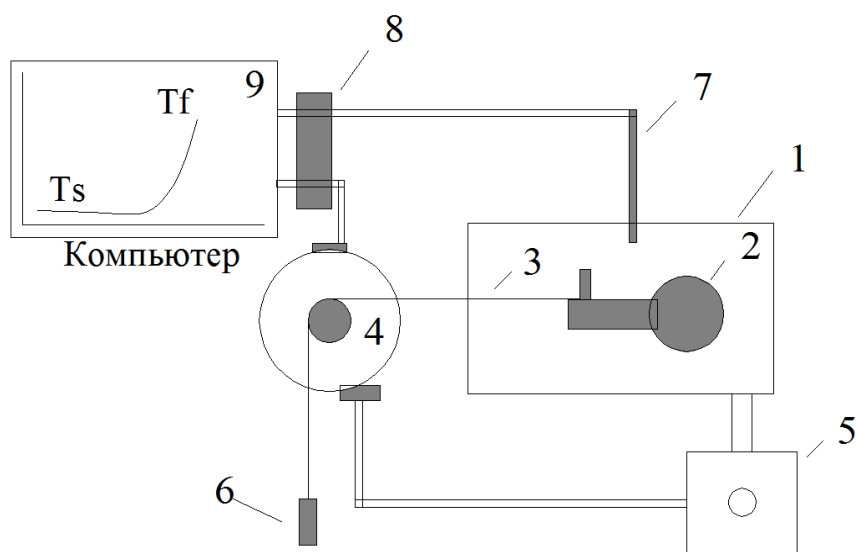


Рис. 1. Прибор экспресс-анализа нефтепродуктов

Для проведения испытаний битумов ускоренным методом был использован экспериментальный приборный комплекс «Термоскан М1» [19, 20]. Реологический узел прибора основан на термоэлектрическом модуле (элемент Пельтье) 1, стикере (ползунок) 2, тянущей нити 3, реохорде (потенциометр) 4, источнике питания элемента Пельтье и реохорда 5, груза 6, термопары 7, а также 2-х канального цифрового термометра (логгер) 8 и компьютера 9. Элемент Пельтье позволяет выполнять как нагрев, так и охлаждение образца с высокой скоростью с помощью электрического тока. Переход от одного режима к другому осуществляется переменной полярности питания элемента. При одной полярности одна сторона элемента охлаждается, а другая нагревается. При изменении полярности – поверхности меняются ролями. Отводя тепло от нагретой поверхности с помощью радиатора (кулера) можно усилить степень охлаждения противоположной поверхности до -20°C . При другой полярности питания образец можно нагреть до 120°C . Температура поверхности элемента Пельтье (образца) измеряется термопарой 7. Термо-ЭДС термопары поступает на один из входов цифрового термометра (логгера) 8, преобразуется в цифровой код термометром и далее отображается на экране монитора в виде кривой $T(t)$. На второй вход логгера поступает сигнал от реохорда, который преобразует перемещение ползунка (стикера) в напряжение. Последнее отображается на экране монитора в виде кривой $V(t)$ – сдвиговой кривой. По этим двум кривым можно установить температуру начала движения T_s стикера по поверхности элемента Пельтье (начальную температуру размягчения образца) и температуру отрыва стикера от поверхности – температуру текучести образца (при заданной нагрузке на стикер).

Последовательность испытания следующая. Заполняют стикер образцом с небольшим избытком, помещают на элемент Пельтье, быстро повышают температуру поверхности элемента Пельтье до расплавления образца. Для приклеивания образца плотно прижимают стикер к поверхности, выдавливая избыток образца, и охлаждают до $0-5^{\circ}\text{C}$. К тянущей нити подвешивают груз (20, 50 или 100 г), после чего повышают температуру поверхности с заданной скоростью ($5-10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) с помощью переключателя источника питания 5 вплоть до отрыва стикера от элемента Пельтье.

Для проведения испытаний по определению возможности применения прибора «Термоскан М1», были использованы 8 образцов битума БНД 60/90. Цель эксперимента – определение зависимости показателей прибора от величин нормативных показателей.



Рис. 2. Оборудование для оценки пенетрации и температуры размягчения

Сначала были оценены величины пенетрации и температуры размягчения по КИШ (рисунок 2). Были использованы ручной прибор КИШ и автоматический пенетрометр ПН-20. Результаты измерений представлены на рисунке 3.

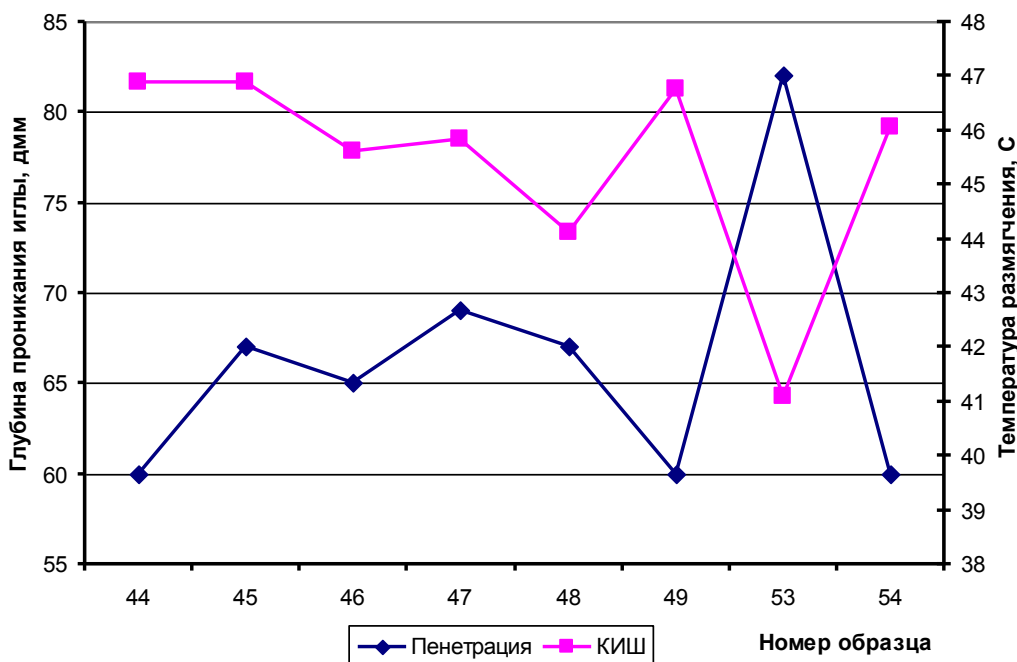


Рис. 3. Показатели глубины проникания и глы и температуры размягчения по КИШ

Как видно из графиков, большинство образцов находятся в диапазоне пенетрации от 60 до 70 единиц. При этом битум с большей пенетрацией обладают более низкими значениями температуры размягчения. Это вызвано тем, что за оба изучаемых параметра отвечает надмолекулярная структура битума, влияющая на реологические свойства вяжущего. Чем больше концентрация надмолекулярных образований, тем ниже пенетрация и выше температура размягчения.

Далее была выполнена экспресс-оценка битумов. Во всех случаях применялся груз одинаковой массы равной 50 г. В процессе измерений на приборе экспресс-анализа фиксировались два значения – температуры начала размягчения T_s и температуры завершения размягчения T_f . Полученные результаты сравнивались с величинами глубины проникания иглы и температурой размягчения по КИШ. Результаты показаны на рисунках 4 и 5.

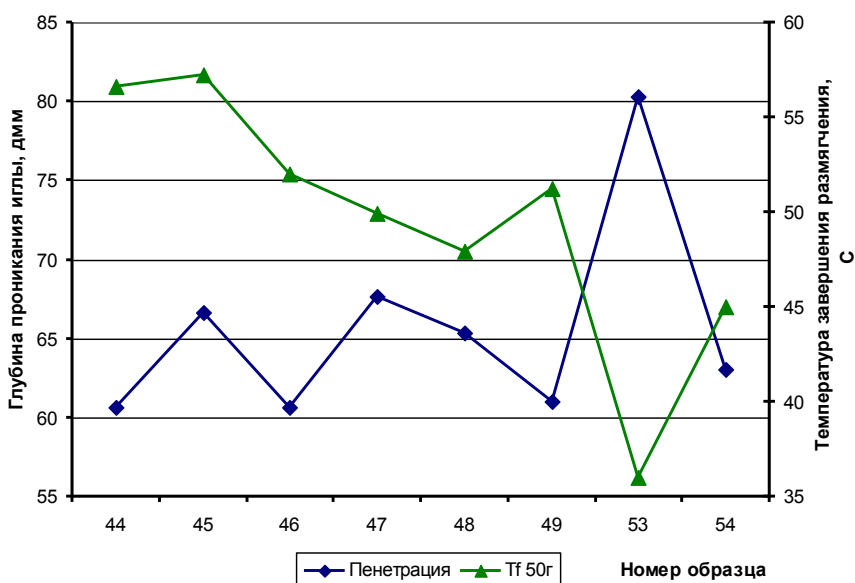


Рис. 4. Значения пенетрации и температуры завершения размягчения по

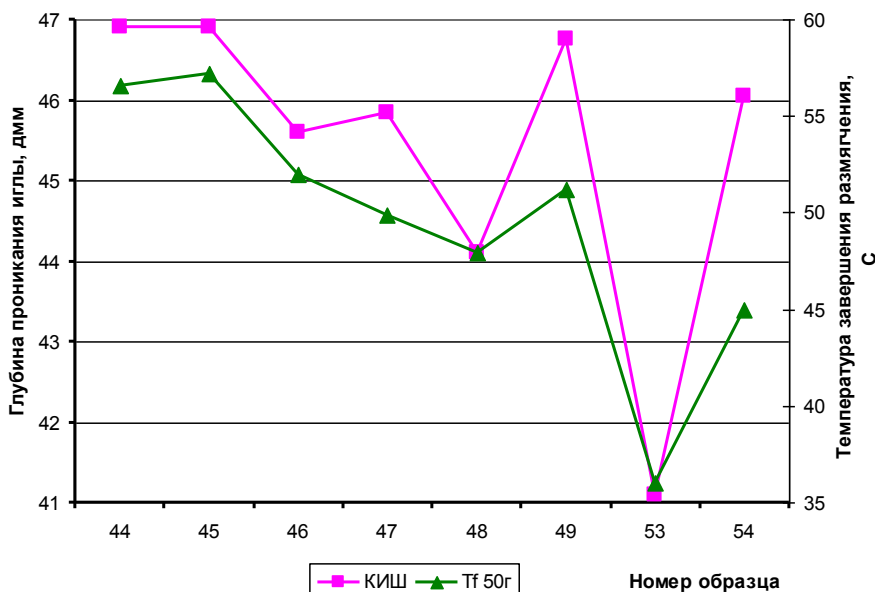


Рис. 5. Значения температуры размягчения по КИШ и температуры завершения размягчения

Из графиков видно, что посредством экспресс-анализа можно получить результаты, близкие к температуре размягчения по КИШ, при этом скорость выполнения экспресс-анализа в 5 раз выше.

Также в процессе испытаний вычислялась величина $\Delta T = T_f - T_s$, отражающая температурный интервал пластичности от начала размягчения до завершения размягчения. Распределение величины ΔT по образцам представлено на рисунках 6 и 7.

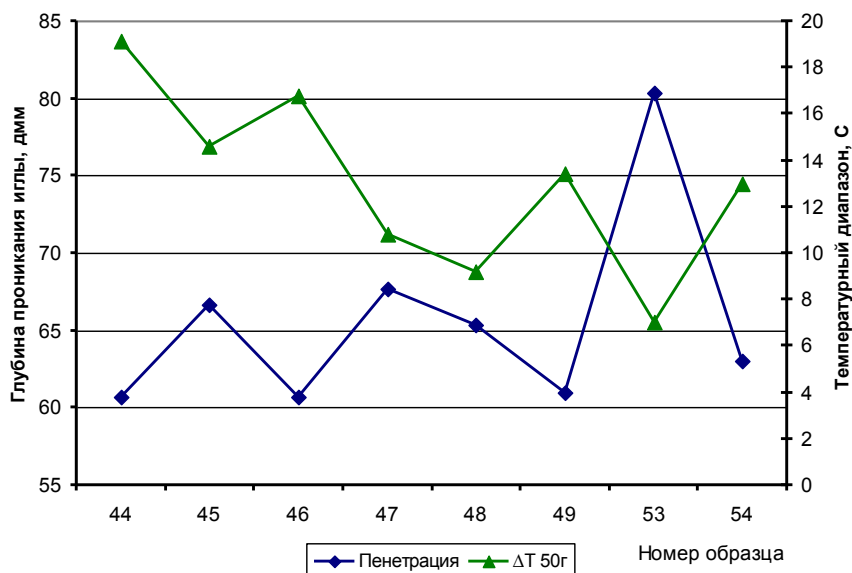


Рис. 6. Значения пенетрации и температуры завершения размягчения температурного интервала ΔT

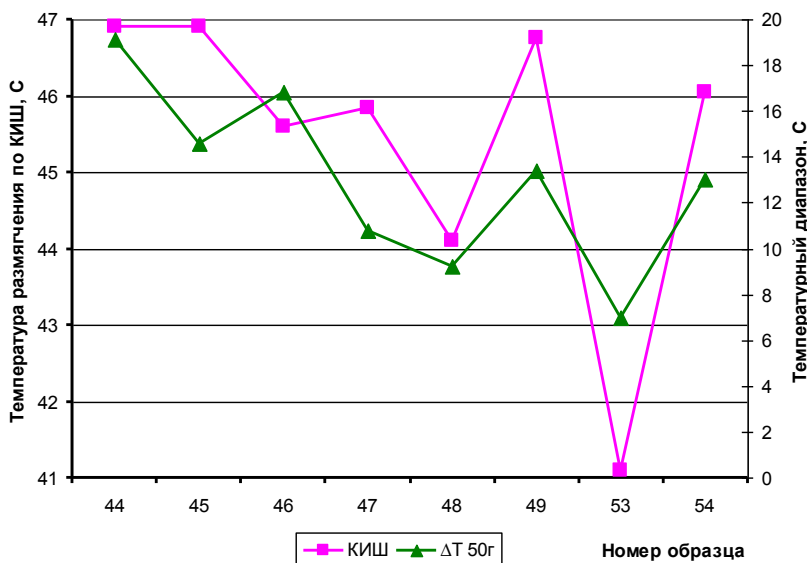


Рис. 7. Значения пенетрации и температуры завершения размягчения температурного интервала ΔT

Данный показатель позволяет получить расширенную температурную характеристику вяжущему. Например, при сравнении графиков на рисунках 4 и 6, а также 5 и 7, видно, что если температуры размягчения по КИШ и T_f расположены близко и отражают точку, при достижении которой вяжущее не способно сопротивляться внешним физическим воздействиям (металлическому шару в случае КИШ и грузу массой 50 г в случае экспресс-анализа), то показатель ΔT характеризует вяжущее как в состоянии до размягчения (граница T_s) так и в вязко-пластическом состоянии (граница T_f). Как видно из графика на рисунке 6, величина ΔT имеет обратную зависимость от пенетрации.

Таким образом, прибор для экспресс-анализа нефтепродуктов может быть эффективно использован для оценки комплексного показателя температурных свойств вяжущих. За одно измерения прибор позволяет получить две величины, посредством которых можно оценить как минимум две базовые характеристики битума, отвечающие за его работу в составе асфальтобетонных смесей. В отличие от сроков испытаний на величину проникания иглы (60-90 минут подготовки) и температуру размягчения по КИШ (30 минут подготовки и 15 минут термостатирования пробы), прибор «Термоскан М1» позволяет провести испытания за 15 минут. При такой скорости испытания, данное оборудование может эффективно применяться при оперативном контроле вяжущих на асфальтобетонных заводах, что также важно при общем росте инновационных решений в дорожной отрасли [21].

По экспериментам сделаны следующие выводы:

- свойства битума оказывают значительное влияние на качество асфальтобетонных смесей;
- одним из решающих факторов обеспечения качества является оперативный контроль вяжущего;
- применяемые на данный момент методики определения основных свойств битума занимают значительные временные отрезки;
- для оперативного контроля битумов может быть применен прибор «Термоскан М1», оценивающий температурный диапазон от начала до завершения

размягчения вяжущего под воздействием температуры с приложением груза заданной массы;

- результаты экспериментов показывают, что посредством прибора для экспресс-анализа можно за 15 минут оценить два показателя, сравнимых с величиной температуры размягчения по КИШ и глубиной проникания иглы;
- в дальнейших экспериментах поставлена цель сравнения показателей, получаемых при экспресс-анализе с величиной растяжимости битума и температурой хрупкости по Фраасу.

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. Васильев Ю.Э. Качество битума. Чем оно определяется? Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 2. С. 27-28.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М., 1973. - 264 с.
13. Ожегов С.И., Словарь русского языка: Ок. 57000 слов / Под ред. Н.Ю. Шведовой. - 18-е изд., стереотип. - Москва: Рус. яз., 1986. - 797 с.
14. Бузырев В.В., Планирование на строительном предприятии: учебник / В.В. Бузырев [и др.]; под общ. ред. В.В. Бузырева. - Москва : КНОРУС, 2010. - 536 с.
15. Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А., Петров С.М. Муллахметов Н.Р., Фаттахов Д.Ф., Галиев А.А., Идрисов М.Р. Бадретдинов Р.Ш., Файзрахманов А.Т. Разработка

- полифункционального модификатора для дорожных битумов // Научный электронный архив. URL: <http://econfr.ae.ru/article/4544>
16. Lorio, R & Van der Merwe, CP 2002, 'A rapid method for checking the bitumen content of asphalt', Paper presented to the 21st Annual South African Transport Conference, South Africa, 15 - 18 July.
 17. Кортянович К.В., Евдокимова Н.Г., Жирнов Б.С. Диэлектрическая проницаемость как показатель, характеризующий адгезионные свойства битума. Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал. Выпуск.2/2006.[Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.ogbus.ru/authors/Kortyanovich/Kortyanovich_1.pdf – свободный. - Загл. с экрана.
 18. Субботин И. В. Применение ультразвуковой активации битума на асфальтобетонных заводах //Интернет-журнал «Науковедение». 2012 №4 (13) [Электронный ресурс].-М. 2012- Ид. номер ФГУП НТЦ "Информрегистр" 0421100136008. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/27tvn412.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
 19. Васильев Ю.Э., Калачев Ю.Н., Субботин Оценка изменения адгезии битума под воздействием ультразвука по показателю диэлектрической проницаемости // Мир дорог #66/февраль 2013 г.
 20. Васильев Ю. Э. Статистические методы организации контроля качества при производстве дорожно-строительных материалов / Ю. Э. Васильев // Качество. Инновации. Образование. – 2011. - № 5. – С. 46 – 50
 21. Урьев Н. Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. — М.: Химия, 1988. — 255 с.
 22. Шишкин Ю. Л. Экспресс-оценка сдвиговой прочности битумных вяжущих с помощью прибора "Термоскан М1" [Текст] / Ю. Л. Шишкин ; рубрику ведет Э. В. Котлярский // Автомобильные дороги. - 2012. - № 8. - С. 79-82.
 23. Устройство для определения сдвиговых характеристик клеевых и вяжущих материалов [Текст]: пат. 141866 Рос. Федерация: МПК G01N 19/04 (2006/01) / Шишкин Ю.Л., Приходько В.М., Васильев Ю.Э., Беляков А.Б., Дмитриева А.М.; заявитель и патентообладатель МАДИ. № 2013140118/28, заявл. 30.08.2013; опубл. 20.06.2014. Бюл. № 17.

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

Vladislav Ilyuchin

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI)
Russia, Moscow
casual5@yandex.ru

Anton Stepanishev

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

Bitumen properties determination with use of petrochemical rapid-test device

Abstract. Bitumen rapid-test method development necessity is considered. Road building materials quality control during production process problems are described. Material properties operative determination impossibility due to present standards requirements is shown. Road building materials operative quality control methods advantages are considered. Few of building materials rapid-test methods and field of its usage are considered. Road bitumen rapid-tests during production process necessity is justified. Bitumen properties effecting its proper work in composite are described. The task is to study relationship between rapid-test results and standard values. Rapid-test device mechanism, parts, method and advantages are described. Experiment conditions and materials are described. Penetration, softening point test were conducted and comparison with rapid-test results was done. Result analysis shows relationship between rapid-test and standard values. The conclusion is of bitumen rapid-test equipment and method further development.

Keywords: automobile roads; asphalt concrete; bitumen; quality; production process; operational control; penetration; softening point.

REFERENCES

1. Normativno-metodicheskoe obespechenie razvitiya 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. Vasiliev Y.E. Quality bitumen. How is it determined? // *Science and technology in the road sector*. 2011. No. 2. C. 27-28.
8. 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.
9. 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.
10. Prjamoj metod ocenki vzaimodejstvija kola transportnogo sredstva i nerovnostej dorozhnogo pokrytija / Kochetkov A.V., Beljaev D.S., Shashkov I.G. // *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2013. № 4 (17). S. 38.
11. Diagnostika i pasportizacija jelementov ulichno-dorozhnoj seti sistemoj videokomp'juternogo skanirovanija / Vasil'ev Ju.Je., Beljakov A.B., Kochetkov A.V., Beljaev D.S. // *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2013. № 3 (16). S. 55.
12. Kolbanovskaja A.S., Mihajlov V.V. *Dorozhnye bitумы*. - M., 1973. - 264 s.
13. Ozhegov S.I., *Slovar' russkogo jazyka: Ok. 57000 slov* / Pod red. N.Ju. Shvedovoj. - 18-e izd., stereotip. - Moskva: Rus. jaz., 1986. - 797 s.
14. Buzyrev V.V., *Planirovanie na stroitel'nom predpriyatii: uchebnik* / V.V. Buzyrev [i dr.]; pod obshh. red. V.V. Buzyreva. - Moskva : KNORUS, 2010. - 536 s.
15. Kemalov A.F., Kemalov R.A., Petrov S.M., Mullahmetov N.R., Fattahov D.F., Galiev A.A., Idrisov M.R., Badretdinov R.Sh., Fajzrahmanov A.T. *Razrabotka polifunkcional'nogo modifikatora dlja dorozhnyh bitumov* // *Nauchnyj jelektronnyj arhiv*. URL: <http://econf.rae.ru/article/4544>

16. Lorio, R & Van der Merwe, CP 2002, 'A rapid method for checking the bitumen content of asphalt', Paper presented to the 21st Annual South African Transport Conference, South Africa, 15 - 18 July.
17. Kortjanovich K.V., Evdokimova N.G., Zhirnov B.S. Dijelektricheseskaja pronicaemost' kak pokazatel', harakterizujushhij adgezionnye svojstva bituma. Neftegazovoe delo. Jelektronnyj nauchnyj zhurnal. Vypusk.2/2006.[Jelektronnyj resurs] - Rezhim dostupa: [http://www.ogbus.ru /authors/Kortyanovich/Kortyanovich_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Kortyanovich/Kortyanovich_1.pdf) – svobodnyj. - Zagl. s jekrana.
18. Subbotin I. V. Primenenie ul'trazvukovoj aktivacii bituma na asfal'tobetonyh zavodah //Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2012 №4 (13) [Jelektronnyj resurs].-M. 2012- Id. nomer FGUP NTC "Informregistr" 0421100136008. – Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/27tvn412.pdf>, svobodnyj – Zagl. s jekrana.
19. Vasil'ev Ju.Je., Kalachev Ju.N., Subbotin Ocenka izmenenija adgezii bituma pod vozdejstviem ul'trazvuka po pokazatelju dijelektricheskoj pronicaemosti // Mir dorog #66/fevral' 2013 g.
20. Vasil'ev Ju. Je. Statisticheskie metody organizacii kontrolja kachestva pri proizvodstve dorozhno-stroitel'nyh materialov / Ju. Je. Vasil'ev // Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie. – 2011. - № 5. – S. 46 – 50
21. Ur'ev N. B. Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii dispersnyh sistem i materialov. — M.: Himija, 1988. — 255 s.
22. Shishkin Ju. L. Jekspress-ocenka sdvigovoj prochnosti bitumnyh vjazhushhij s pomoshh'ju pribora "Termoskan M1" [Tekst] / Ju. L. Shishkin ; rubriku vedet Je. V. Kotljarskij // Avtomobil'nye dorogi. - 2012. - № 8. - S. 79-82.
23. Ustrojstvo dlja opredelenija sdvigovyh harakteristik kleevyh i vjazhushhij materialov [Tekst]: pat. 141866 Rus. Federacija: MPK G01N 19/04 (2006/01) / Shishkin Ju.L., Prihod'ko V.M., Vasil'ev Ju.Je., Beljakov A.B., Dmitrieva A.M.; zajavitel' i patentoobladatel' MADI. № 2013140118/28, zajavl. 30.08.2013; opubl. 20.06.2014. Bjul. № 17.