

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СЦЕПЛЕНИЯ БИТУМОВ С КАМЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Пыриг Я. И.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. На основе литературных данных выполнен обзор методов оценки сцепления битумов с каменными материалами. Приведены требования, которым должен удовлетворять метод оценки адгезии битумов, а также достоинства и недостатки существовавших и применяемых в настоящее время методов.

Ключевые слова: битум, адгезия, сцепление, методы определения.

Введение

Физико-механические показатели, эксплуатационные характеристики и долговечность асфальтобетонных покрытий в значительной мере определяется качеством исходных материалов асфальтобетонных смесей – каменных материалов и битумных вяжущих. В то время как каменные материалы (щебень, отсев, песок) предназначены для создания устойчивого внутреннего каркаса, который воспринимает внешнюю нагрузку на дорожную одежду, главным назначением битумного вяжущего является его равномерное распределение по поверхности всех частиц каменных материалов и объединение их в единый монолит. Во время эксплуатации асфальтобетонного покрытия пленка битума должна быть прочной и не отслаиваться от поверхности каменных материалов под действием воды и механических усилий.

Обеспечение качественного сцепления битумных вяжущих с поверхностью каменных материалов является одним из важнейших факторов высокого качества и долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. В виду того что асфальтобетонные смеси являются многокомпонентными системами, в состав которых входят минеральные материалы, существенно различающиеся как гранулометрическим, так и минералогическим составом, обеспечение прочного сцепления между битумным вяжущим и зернами каменного материала является сложной задачей. Еще более сложной задачей является оценка адгезионных свойств битумов и интерпретация полученных результатов.

Анализ публикаций

Необходимость оценки адгезии битумов с поверхностью каменных материалов была осознана исследователями еще в 20–30-х гг.

прошлого века [1, 2]. В начале 30-х гг. в США был организован «The Committee on Interfacial Surface Tension», который занимался изучением адгезии битумов с каменными материалами, разработкой методов оценки сцепления и поиском веществ, улучшающих адгезионную способность. Тогда же были сформулированы и основные требования, которым должен соответствовать идеальный метод оценки адгезии [2], а именно: определение сцепления не должно занимать много времени и должно быть достаточно простым; метод должен обеспечивать высокую воспроизводимость результатов; метод должен быть чувствительным к различным факторам (температура, время, поверхностно-активные добавки и т. д.); метод должен быть теоретически обоснованным.

Начиная с 30-х гг. прошлого века в различных странах мира было разработано и используется значительное количество методов оценки адгезии (в конце 1990-х гг. их насчитывалось более 150). В США и Европе создавались рабочие группы, целью которых была разработка единого метода оценки сцепления [3], но, к сожалению, до сих пор не удалось создать простого и информативного количественного метода определения адгезии битумных вяжущих.

В дорожной практике СССР первые методы определения адгезии битумов были предложены в конце 40-х – начале 50-х гг. прошлого века [4]. Метод, предложенный А. И. Лысихиной и Ц. Г. Ханиной [4], после апробации на производстве и модификации был стандартизирован (ГОСТ 11508 «Битумы нефтяные. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком») и дальнейшие работы по усовершенствованию методов оценки адгезии практически на выполнялись.

В Украине сейчас адгезия битумов оценивается согласно разработанному на кафедре ТДСМ ХНАДУ в 90-е гг. стандарта ДСТУ Б В.2.7-81-98 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения показателя сцепления с поверхностью стекла и каменных материалов». Методика определения сцепления, разработанная в ХНАДУ, в этой статье не обсуждается. Она изложена в работах [5, 6].

Учитывая, что в отечественной научной литературе в настоящее время вопросу оценки адгезионных свойств битумных вяжущих уделяется очень мало внимания и отсутствуют работы, в которых приведены сведения о существующих в разных странах мира методах оценки сцепления битумных вяжущих к поверхности каменных материалов, обзор методов оценки адгезии является актуален.

Цель и постановка задачи

Целью выполненной работы является анализ существующих методов оценки сцепления битумных вяжущих с каменными материалами. Для достижения поставленной цели выполнен поиск отечественных и зарубежных литературных источников, посвященных методам оценки адгезии, произведен их критический анализ, установлены достоинства и недостатки.

Анализ методов оценки сцепления битума с каменными материалами

Согласно определению С. С. Воюцкого «адгезия – это сцепление между двумя приведенными в контакт поверхностями разных по своей природе материалов». Величина адгезии (адгезионная прочность) оценивается по удельной работе, которая затрачивается на разделение поверхностей.

Для определения адгезионной прочности применяются адгезиметры, первые из которых были предложены в 50–60-х гг. прошлого века. Главным принципом этих приборов является определение усилия, необходимого для отрыва от слоя битума пластины, выполненной из металла или каменного материала, либо отрыв друг от друга двух каменных пластин, склеенных битумом.

В настоящее время в США и странах, использующих американскую систему стандартизации, широко используется стандартизованный метод (AASHTO TP 91) Bitumen Bond Strength (BBS) Test. Принцип этого метода основан на определении усилия, создаваемого пневматической системой прибора,

необходимого для отрыва рабочего органа, приклеенного битумом к испытательной поверхности (рис. 1) [7, 8].



Рис. 1. Внешний вид отрывной заглушки, перед испытанием по AASHTO TP 91 [7]

Главными достоинствами метода являются простота конструкции прибора и методики; возможность определения адгезионной прочности любого вяжущего; оценивание влияние температуры, скорости деформирования, отслаивающего действия воды и водных агрессивных сред. Основным недостатком, который существенно ограничивает применимость метода и во многом перечеркивает его достоинства, является невозможность разделения адгезионного и когезионного отрыва (рис. 2) и, соответственно, невозможность определения именно адгезионной прочности. Именно из-за этого метод характеризуется низкой воспроизводимостью.



Рис. 2. Внешний вид испытанной поверхности после исследования по AASHTO TP 91 (когезионный и адгезионный отрыв) [8]

Несмотря на недостатки, метод имеет различные модификации и широко применяется в дорожной практике разных стран мира.

Еще одним видом методов, определяющих адгезионную прочность битумных вяжущих, являются методы отслаивания (peel test). Основным принципом этой группы методов является определение усилия, необходимого для отрыва битумной пленки определенной площади от испытываемой поверхности [7]. При этом могут использоваться раз-

нообразные схемы отслоения битумной пленки, существенно влияющие на результаты адгезии (рис. 3).

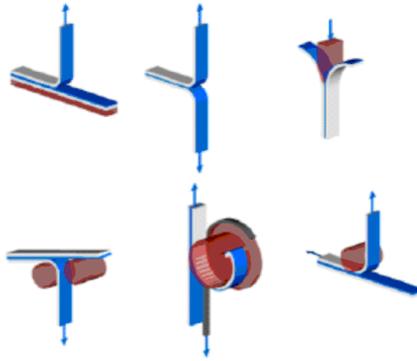


Рис. 3. Возможные схемы испытания на отслоение [79]

Достоинствами методов отслоения являются относительная простота методики и используемого оборудования, а также возможность точно оценивать влияние толщины пленки битума на значения адгезии. Недостатками являются неоднозначность поверхности отрыва (адгезионный и когезионный отрыв) и неоднородность значений адгезии по площади битумной пленки.

Типичным представителем методов отслоения является используемый в странах Европы Vialit Plate Test [10]. Метод заключается в нанесении на металлическую пластину слоя битума и приклеивания к нему 100 зерен каменного материала (рис. 4). После приготовления пластина переворачивается зернами вниз, а на ее верхнюю часть с установленной высоты трижды скидывается металлический шар весом 500 г. За показатель сцепления принимается количество зерен, оставшихся приклеенными к пластине.



Рис. 4. Прибор для определения сцепления по Vialit Plate Test [10]

Кроме методов оценки адгезионной прочности в исследовательских целях используются методы определения адгезии, основанные на ее фундаментальных зависимостях с другими характеристиками битума.

Например, в работе [11] представлена реализация методики установления работы адгезии с применением уравнения Дюпре-Юнга. Фотографируя под микроскопом капли битума, нанесенные на каменную подложку, авторы определяли краевой угол смачивания и, зная поверхностное натяжение битума на границе с воздухом, рассчитывали работу адгезии в мН/м² по формуле:

$$W_a = \sigma_{1,2} \cdot (1 + \cos \Theta), \quad (1)$$

где $\sigma_{1,2}$ – поверхностное натяжение битума на границе с воздухом, мН/м²; θ – краевой угол смачивания битумом каменной поверхности.

Этот метод позволяет численно оценивать адгезию различных битумных вяжущих с различными минеральными поверхностями и характеризуется высокой чувствительностью к наличию поверхностно-активных веществ. Недостатками метода являются необходимость использования сложного оборудования; значительные погрешности определения краевого угла смачивания при использовании в качестве подложки полиминеральных каменных материалов.

Определение адгезионной прочности соединения битумных вяжущих с поверхностью каменных материалов затруднительно в силу ряда причин (превышение в диапазоне положительных температур адгезионной прочности над когезионной; полиминеральность каменных материалов; существенная зависимость результатов от температуры, скорости деформирования, толщины слоя вяжущего и т. д.), поэтому для практических целей в производственных лабораториях обычно выполняется косвенная оценка адгезии по оцениванию сопротивления битумов отслаивающему действию воды (как наиболее значимому разрушающему фактору).

Косвенные методы оценки адгезии имеют более давнюю историю использования и являются наиболее многочисленными и широко используемыми в производственных условиях.

Условно методы оценки сопротивления битумов отслаивающему действию воды делятся на две группы: методы, в которых для испытания используются смеси каменных

материалов, обработанные битумом, и методы, в которых испытанию подвергаются приготовленные в лабораторных условиях асфальтобетонные образцы или отобранные из дорожного покрытия керны.

В первом случае для испытания применяются зерна каменных материалов, как правило, определенного размера, которые обрабатываются битумом и после остывания (или сразу после приготовления) погружаются дистиллированную в воду или в водный раствор установленной температуры (например, 25 °С, 40 °С, 60 °С или 90–95 °С) и выдерживаются определенное время (от нескольких минут до нескольких суток). После выдерживания в водной среде отслаивание битумных вяжущих от поверхности каменных материалов оценивается в баллах или процентах, как правило, визуальным методом.

Достоинствами, характерными для методов этой группы, являются: простота методики; отсутствие дополнительного специального оборудования; малое время испытания (при кипячении в воде время испытания не превышает 1,0–1,5 ч); за счет применения зерен каменного материала одного размера (или узкофракционного) существует возможность оценки влияния толщины пленки битума на поверхности зерен на значения сцепления. В то же время методы данной группы имеют существенные недостатки, к которым относятся: визуальность оценивания результатов, что приводит к значительным погрешностям; зависимость результатов от размера и поверхности зерен каменных материалов; в ряде методов слабая чувствительность к наличию модифицирующих добавок; невозможность сопоставления результатов, полученных разными методами.

Методы оценки сцепления (отслаивающего действия воды) битума со смесью каменных материалов были первыми, которые нашли применение в производственных лабораториях. Начиная с 30-х гг. прошлого века в разных странах мира было разработано несколько подобных методов, отличающихся лишь размерами зерен каменных материалов, температурой воды и временем выдерживания.

Так, например, одним из первых был метод вытеснения воды Холмса (Holmes Water Displacement Test) [1]. Согласно методике испытание проводится на каменных материалах размером 2,0–4,76 мм, которые после смешивания с битумом выдерживаются в дистиллированной воде с температурой 60 °С в течение 18–24 ч.

Согласно разработанного в 40-х гг. прошлого века во Франции метода, смесь, состоящая из 300 г щебня фракции 2–8 мм и 15 г битума, после приготовления выдерживалась в воде при температуре 20 °С в течение 24 ч [12].

Тест Овербаха (Oberbach Test) регламентировал проведение испытания на смеси, приготовленной из зерен с размером более 4,76 мм, обработанных 4–7 % битума. Приготовленную смесь либо сразу без остывания погружали в дистиллированную воду с температурой 21 °С на 24 ч, либо предварительно выдерживали на воздухе с температурой 21 °С в течение 24 ч, а потом погружали в воду с температурой 37 °С на 24 ч. Метод применялся в основном для оценивания влияния на сцепление адгезионных добавок.

Многие из разработанных методов были стандартизированы. Так, например, в США действует стандарт AASHTO T 182 «Standard Specification for Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures», регламентирующий условия проведения метода на статическое погружение (Static Immersion Test). 100 г зерен каменного материала размером 6,3–9,5 мм смешивают с 5,5 г битума и выдерживают в течение 2 ч в шкафу с температурой 60 °С, а затем еще 16–17 ч в дистиллированной воде при комнатной температуре [13]. Усовершенствованной модификацией этого метода является Total water immersion test [14], согласно методике которой приготовленная из таких же материалов смесь после приготовления и остывания на воздухе выдерживается в течение 3 ч в дистиллированной воде с температурой 40 °С. Total water immersion test используется для оценки влияния адгезионных добавок (параллельно испытывается одна смесь на чистом битуме и другая на битуме с добавками).

А. И. Лысихина [4] в 50-е гг. прошлого века разработала метод оценки адгезии, состоящий из 3 методик. Согласно первой методике для испытания применялись зерна каменного материала с размером более 10 мм, которые обвязывались ниткой и после нагревания до технологической температуры погружались в разогретый битум. После объединения с битумом зерна оставались на воздухе для стекания лишнего битума и остывания, а затем погружались на 3 мин в кипящую дистиллированную воду. По второму методу для испытания принимались зерна с размером менее 10 мм, которые обрабатывались 2,5–4,5 % битума. После остыва-

ния на воздухе смесь погружалась на 3 мин в стакан с кипящей дистиллированной водой. По третьему методу для испытания принималась асфальтобетонная смесь, которая так же кипятилась в течение 3 мин. Оценка адгезии по всем трем методикам осуществлялась в баллах с использованием предложенной автором шкалы прилипания.

В настоящее время для экспресс-оценки адгезии асфальтобетонных смесей в США применяется стандартизированный (ASTM D 3625) Boiling Water Test [15]. Для испытания принимается 250 г асфальтобетонной смеси, которая погружается в емкость с 1 л дистиллированной воды с температурой не ниже 85 °С, но и не выше температуры начала кипения, и выдерживается в течение 10 мин. Если после испытания более 95 % поверхности каменных материалов остались покрытыми битумом, адгезия считается удовлетворительной.

Подобным Boiling Water Test является Texas boiling test [16]. В соответствии с методикой испытание может выполняться или на асфальтобетонной смеси, или зернах каменного материала определенного размера. Приготовленная смесь выдерживается в течение 10 мин в кипящей дистиллированной воде с периодическим перемешиванием зерен. После испытания смесь остужается, вынимается из воды и оценивается визуально в процентах с помощью предложенной разработчиками оценочной шкалы (рис. 5).

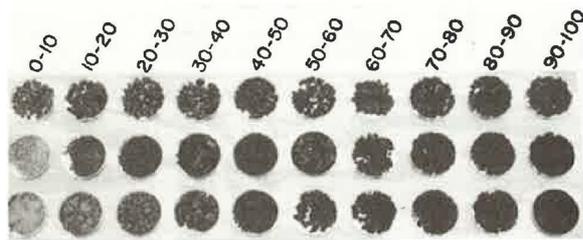


Рис. 5. Оценочная шкала Texas boiling test [16]

В ряде модификаций разработчики пытались отойти от визуальности оценки адгезии. Так, согласно предложенному Т. С. Худяковой методу [17] 15 г каменных материалов размером 2–5 мм обрабатывались 0,6 г битума и после остывания на воздухе выдерживались в течение 30 мин в бурно кипящей дистиллированной воде. Зная массу исходной смеси и взвесив смесь после испытания, рассчитывается в процентах количество битума, который отделился в процессе кипячения.

Вместо воды некоторые исследователи предлагали использовать различные агрессивные среды, которые позволяли ускорять процесс отслаивания пленки битума от поверхности каменных материалов. Так, например, в начале 30-х гг. прошлого века в США исследователи W. Riedel та H. Weber [18] предложили метод, который впоследствии широко использовался в США и странах Европы, а в настоящее время стандартизирован в ряде стран [18]. Согласно методике для испытания приготавливалась смесь из каменных материалов с размером зерен 0,2–0,6 мм, обработанных битумом в соотношении 71:29 по объему. Смесь в количестве 0,5 г помещалась в пробирку емкостью 6 мл с углекислым натрием и кипятилась в течение 1 мин. После кипячения визуально оценивалась степень покрытия зерен битумом. В случае если битум не отделился полностью от поверхности зерен, концентрация углекислого натрия увеличивается и испытание повторяется. Адгезия оценивается в баллах, каждый из которых соответствует определенной концентрации углекислого натрия (например, 1 балл соответствует концентрации соды 0,41 г/л, 5 баллов – 6,62 г/л, а 9 баллов – 106 г/л).

В ряде методов для усиления отслаивающего действия воды используется механическое воздействие на смесь (вибрация, перемешивание, ультразвук).

Так, например, метод, разработанный в конце 30-х гг. в США Bailey Tremper, предполагал использование для испытания каменные материалы с размером зерен менее 0,149 мм (щебень, применяемый при приготовлении асфальтобетонных смесей, измельчался до нужного размера) [19]. Зерна обрабатывались 5–8 % битума и после остывания помещались в коническую колбу Эрленмейера, наполненную дистиллированной водой с температурой 25 °С. Колбу закрепляли на вибрационном механизме и встряхивали в течение 10 мин. По окончании встряхивания смесь промывали над ситами с размером ячеек 0,420 и 0,149 мм с улавливанием фильтром зерен, не покрытых битумом. Существенным достоинством метода было то, что адгезию оценивали в процентах по отношению массы частиц, оголенных в процессе испытания, к исходной массе каменных материалов. Кроме этого, к достоинствам относится то, что метод, предложенный Bailey Tremper, позволял оценивать влияние на адгезию смеси как битумов (в этом случае ис-

питание выполнялось на эталонном каменном материале), так и каменных материалов (использовался битум, адгезия которого была установлена ранее).

В 30-х – 40-х гг. прошлого века в США исследователями О. R. Tyler и А. V. Dow был разработан метод «Wash Test» [1, 19], согласно которому смесь 500 г каменных материалов с 5 % битума после перемешивания и остывания помещали в емкость с дистиллированной водой комнатной температуры и выдерживали в течение суток. После выдерживания емкость со смесью вибрировали на вибрационном столике в течение 30 мин. Адгезию оценивали визуально (отлично – при отсутствии зерен, не покрытых битумом, хорошо – не более 25 % оголенной поверхности зерен, плохо – более 25 % поверхности зерен оголено).

В Германии использовался метод U-37 [1], согласно которому смесь каменных материалов с 5 % битума после остывания помещали в колбу с дистиллированной водой комнатной температурой. Колбу закрепляли на вибрационном устройстве и встряхивали в течение 30 мин, после чего визуально оценивали степень покрытия зерен битумом.

В соответствии с разработанным в 50-х гг. в США методом Николсона для испытания применяется смесь с битумом зерен размером 8–12 мм [4]. 100 г смеси после остывания помещались в колбу емкостью 250 мл и взбалтывались в течение 4 ч. При визуальной оценке за удовлетворительный принимался результат когда более 75 % поверхности зерен оставалось покрыты битумом.

В настоящее время в странах Европейского Союза стандартизирован (EN 12697-11) бутылочный тест (Rolling bottle method), согласно методике которого для испытания используется смесь из зерен каменного материала размером 8,0–11,2 мм или 6,3–10 мм. Смесь загружается в бутылку емкостью 500 мл с дистиллированной водой комнатной температуры. Бутылка размещается на испытательном приборе, который позволяет ее вращать со скоростью 40 или 60 об⁻¹ в течение установленного времени (6 ч и 24 ч – обязательное время, 48 ч, 72 ч, 96 ч и 168 ч – на рассмотрение испытателя). Оценка смеси выполняется визуально в процентах с использованием предлагаемого стандартом шаблона.

М. J. Vuorinen и J. P. Valtonen в [20] предложили метод ультразвукового воздействия на полированные зерна каменного материала

размером 20 × 80 мм, покрытые битумом толщиной 0,12 м. Подготовленные зерна помещали в емкость с дистиллированной водой комнатной температуры и воздействовали ультразвуком. Адгезию оценивали по разнице масс зерен каменного материала до испытания и после.

Многие американские и европейские исследователи считают, что определение адгезии на смесях, приготовленных из однородных частиц, является малоинформативным и не отображающим реальные условия работы асфальтобетона в покрытии, и отдают предпочтение второй группе методов оценки сопротивления битумов отслаивающему действию воды. К этой группе относятся методы, основанные на изменении прочностных показателей асфальтобетонных образцов после их выдерживания в водной среде. Значительным преимуществом этих методов является то, что они позволяют количественно оценить влияние воды на ухудшение адгезионных свойств асфальтобетонных. К недостаткам методов этой группы относят то, что применяемые в разных методах условия испытания значительно отличаются от реальных условий работы асфальтобетонных покрытий, а также имеют относительно низкую точность результатов [21].

Первое упоминание об использовании таких методов для оценки сцепления битумов с каменными материалами приведено в Трудах Международного дорожного конгресса в Париже в 1938 г. [21]. В 1941 г. E. Neumann [21] использовал для оценки сцепления показатели водоустойчивости, определенные по изменению прочности на сжатие, растяжение и изгиб групп образцов, которые испытывались после выдерживания параллельно на воздухе и в воде.

Широкое распространение в дорожных отраслях различных стран мира эти методы получают в 50-60-х гг. прошлого века. Именно тогда во многих странах приняты стандарты на определение непрямых методов адгезии через показатели водоустойчивости.

Основными отличиями методов этой группы являются использование различных факторов воздействия на образцы. Так, согласно методу Дюрье [12] образцы-цилиндры (диаметр 8 см, высота 9 см) первой группы выдерживаются в воде при температуре 18 °С в течение 24 ч, а затем испытываются на сжатие при скорости деформирования 1 мм/с. А образцы второй группы выдерживаются на воздухе в течение 7 суток, и после

испытываются на сжатие при комнатной температуре.

Согласно методу «Indirect tensile strength test», который является стандартизированным в странах Европы (EN 12697-12), для испытания применяются образцы-цилиндры диаметром 100 мм. Одна группа образцов выдерживается на воздухе, а вторая водонасыщается под вакуумом и выдерживается в воде при 40 °С в течение 68–72 ч. После выдерживания образцы обеих групп испытывают на непрямоe растяжение на прессе со скоростью нагружения 50 мм/мин [10].

В США широко используется стандартизированный (ASTM D 1075 [22]) Immersion compression test. В этом методе испытание выполняется на образцах-цилиндрах, которые имеют высоту и диаметр 102 мм. Образцы первой группы испытываются на сжатие после выдерживания в течение 4 ч на воздухе при температуре 25 °С, а образцы второй группы испытываются после выдерживания в воде при температуре 60 °С в течение 24 ч. За косвенный показатель адгезии принимается отношение прочности на сжатие образцов после выдерживания в воде и на воздухе. При соотношении менее 0,75 считается, что такие асфальтобетоны являются очень чувствительными к действию воды.

Согласно разработанному в 70-е гг. прошлого века в США методу Lottman Test для испытания используют образцы-цилиндры диаметром 10,16 см и толщиной 6,35 см [23]. Испытание проводится на трех группах образцов: первая группа – контрольная, образцы которой выдерживаются на воздухе; образцы второй группы водонасыщают под вакуумом и выдерживают в течение 3 ч в воде; образцы третьей группы водонасыщают под вакуумом, замораживают при температуре минус 18 °С в течение 15 ч с последующим размораживанием в воде с температурой 60 °С в течение 24 ч. Образцы всех трех групп после термостатирования испытывают на непрямоe растяжение со скоростью нагружения 1,65 мм/мин. Разработчики считают, что условия выдерживания образцов второй группы моделируют изменения, происходящие в асфальтобетонном покрытии в течение первых 4 лет эксплуатации, а условия выдерживания образцов третьей группы моделируют ухудшение показателей качества асфальтобетонного покрытия в течение 4–12 лет эксплуатации. Lottman Test нашел широкое распространение во многих странах мира, а после усовершенствования методики был стандартизирован в США (AASHTO T 283).

Еще одним методом, который оценивает изменение сцепления битумов с поверхностью каменных материалов после воздействия воды и циклов замораживания-оттаивания, является Texas Freeze-Thaw Pedestal Test, который разработал в США W. Kennedy Thomas [24]. Испытания проводятся на образцах-цилиндрах диаметром 41,33 мм и высотой 19,05 мм, приготовленных из каменных материалов измельченных до фракции 0,5–0,841 мм. Образцы выдерживают после приготовления на воздухе в течение 3 суток, а затем подвергают циклам замораживания (при – 12 °С в течение 24 ч) и оттаивания (при 60 °С в течение 24 ч). Испытание продолжают до появления растрескивания образцов. Метод широко распространен в США благодаря тому, что позволяет определять именно адгезионно-когезионное сопротивление смесей отслаивающему действию воды.

Одним из сравнительно недавних методов оценки длительной адгезионной прочности асфальтобетонных образцов является разработанный в Великобритании в конце прошлого столетия Saturation Ageing Tensile Stiffness (SATS) test [25]. Метод позволяет оценить комплексное влияние на прочностные показатели асфальтобетонных образцов влажности и старения вяжущего. Испытание выполняется на пяти асфальтобетонных образцах диаметром 100 мм и высотой 60 мм, которые выдерживаются в испытательной камере под давлением 2,1 МПа и температуре 85 °С в течение 65 ч и затем еще 24 ч при постепенном снижении давления до атмосферного и температуры до 30 °С. После выдерживания образцов определяют их модули жесткости и по соотношению модулей первоначальных и выдержанных образцов рассчитывается индекс долговечности. Метод SATS стандартизирован в странах Европейского Союза (EN 12697-45).

Несмотря на значительное количество методов оценки сцепления битумных вяжущих с каменными материалами, исследователи разных стран мира постоянно совершенствуют старые и разрабатывают новые методы, которые позволяют более точно оценивать свойства асфальтобетонов и прогнозировать их долговечность.

Выводы

Анализ литературных данных свидетельствует об отсутствии единого общепринятого метода оценки адгезии битумов с каменными

материалами, который, будучи теоретически обоснованным, позволял бы сравнительно быстро и с высокой точностью оценивать адгезионные характеристики асфальтобетон и прогнозировать изменение сцепления вяжущих с каменными материалами на протяжении срока эксплуатации асфальтобетонного покрытия. Значительное количество существующих методов, оценивающих адгезию битумов, смесей каменных материалов с битумом и асфальтобетонных смесей отличаются условиями испытаний, а получаемые результаты являются не сопоставимыми. В то же время постоянно увеличивающееся количество методов оценки адгезии является свидетельством актуальности вопроса оценки и прогнозирования изменения сцепления битумных вяжущих с каменными материалами.

Литература

1. State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.
2. Hefer A., Little D. N. Adhesion in bitumen-aggregate systems and quantification of the effects of water on the adhesive bond. Texas Transportation Institute, 2005. 220 p.
3. X Международный дорожный конгресс. Москва: Автотрансиздат, 1957. 364 с.
4. Лысихина А. И. Поверхностно-активные добавки для повышения водоустойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей. Москва: Автотрансиздат, 1959. 232 с.
5. Золотарев В. А. Об оценке адгезии битума к поверхности минерального материала. *Автомобильные дороги*. 1995. № 12. С. 13–15.
6. Ефремов С. В. Определение сцепления битума с каменными материалами в асфальтобетоне фотометрическим методом. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2005. № 30. С. 21–25.
7. AASHTO TP 91:2015. Standard Method of Test for Determining Asphalt Binder Bond Strength by Means of the Asphalt Bond Strength (ABS). American Association of State Highway and Transportation Officials, 2015. 14 p.
8. Canestrari F., Cardone F., Graziani A., Santagata F. A., Bahia H. U. Adhesive and cohesive properties of asphalt-aggregate systems subjected to moisture damage. *Road Mater Pavement Design*. 2010. Vol. 11 (sup. 1). P. 11–32.
9. Fauzan M. J. Adhesion of asphalt mixtures: Doctoral dissertation / University of Nottingham. Nottingham, United Kingdom, 2012. 347 p.
10. Analysis of available data for validation of bitumen tests. Report on phase 1 of the BiTVal project / editor C. Nicholls. 2006. 213 p.
11. Абдуллин А. И., Емельянычева Е. А., Дияров И. Н. Оценка адгезии битума к минеральному материалу в асфальтобетоне на основе его смачивающих свойств. *Вестник Казанского технологического университета*. 2009. № 4. С. 256–259.
12. Аппамбид Ж., Дюрье М. Органические вяжущие и смеси для дорожного строительства. Москва: Автотрансиздат, 1961. 272 с.
13. Kandhal P. S. Field and Laboratory Investigation of Stripping in Asphalt Pavements: State of the Art Report. *Transportation Research Board*. 1994. № 1454. P. 36–47.
14. Liu Y., Apeagyei A., Ahmad N., Grenfell J., Airey G. Examination of moisture sensitivity of aggregate-bitumen bonding strength using loose asphalt mixture and physico-chemical surface energy property tests. *International Journal of Pavement Engineering*. 2014. Vol. 15. No. 7. P. 657–670.
15. ASTM D 3625-2012 Standard Practice for Effect of Water on Bituminous-Coated Aggregate Using Boiling Water. ASTM International, 2012. 2 p.
16. Kennedy T. W., Roberts F. L., Anagnos J. N. Texas boiling test for evaluating moisture susceptibility of asphalt mixtures. Research Report Number 253-5, Texas State Department of Highways and Public Transportation, 1984. 36 p.
17. Худякова Т. С., Розезенталь Д. А., Машкова И. Н., Березников А. В. Количественная оценка сцепления дорожных битумов с минеральным материалом. *Химия и технология топлив и масел*. 1987. № 6. С. 35–36.
18. Method B11 The determination of the adhesion of bituminous binder to stone aggregate by means of the chemical immersion test (Riedel and Weber), 1986. 3 p.
19. Melson L. B. The adhesion of bituminous materials to mineral aggregate. Oregon state college. 1941. 74 p.
20. Airey G. D., Choi Y. K. State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. *Road Materials and Pavement Design*, 2002. № 3:4. P. 355–372.
21. Goetz W. H. Methods of testing for water resistance of bituminous paving mixtures. *Purdue University Lafayette Indiana*. 1958. № 8. 23 p.
22. ASTM D 1075-07. Standard Test Method for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures. ASTM International. 2007. 2 p.
23. Lottman R. P. Laboratory test method for predicting moisture-induced damage to asphalt concrete. *Transportation Research Record*. 1982. № 843. P. 88–95.
24. Kennedy T. W., Roberts F. L., Lee K. W., Anagnos J. N. Texas freeze-thaw pedestal test for evaluating moisture susceptibility for asphalt mixtures. Research Report Number 253-3. Texas State Department of Highways and Public Transportation, 1982. 35 p.
25. Nicholls J. C., Prime J., Meitei B., Lowe A. Review of Saturation Ageing Tensile Stiffness (SATS) test for use in Ireland. TRL Published Project Report, 2011. 74 p.

References

1. Highway research board. (1968). *State of the art: Effect of water on bitumen – aggregate mixtures. Special report 98*.
2. Hefer A. & Little D. N. (2005). *Adhesion in bitumen-aggregate systems and quantification of the effects of water on the adhesive bond*. Texas Transportation Institute.
3. *X Mezhdunarodnyi dorozhnyi kongress [X International Road Congress]*. (1957). Moskva: Avto-transizdat [in Russian].
4. Lysikhina A. I. (1959). *Poverkhnostno-aktivnye dobavki dlia povysheniia vodoustoichivosti dorozhnykh pokrytii s primeneniem bitumov i degtei [Surface-active additives to improve the water resistance of road surfaces using bitumen and tar]*. Moskva: Avtotransizdat
5. Zolotarev V. A. (1995). Ob otsenke adgezii bituma k poverkhnosti kamennogo materiala [On the evaluation of the adhesion of bitumen to the surface of the stone material]. *Avtomobil'nye dorogi*. (12), 13–15 [in Russian].
6. Efremov S. V. Opredelenie stsepleniia bituma s kamennymi materialami v asfal'tobetone fotometricheskim metodom [Determination of the adhesion of bitumen with stone materials in asphalt concrete by the photometric method]. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*. (30) [in Russian].
7. Standard Method of Test for Determining Asphalt Binder Bond Strength by Means of the Asphalt Bond Strength (ABS). (2015). *AASHTO TP 91:2015 from 1st January 2015*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
8. Canestrari F., Cardone F., Graziani A., Santagata F. A., & Bahia H. U. (2010). Adhesive and cohesive properties of asphalt-aggregate systems subjected to moisture damage. *Road Mater Pavement Design*. Vol. 11 (sup. 1), 11–32.
9. Fauzan M. J. (2012). Adhesion of asphalt mixtures. *PhD thesis*, University of Nottingham.
10. Nicholls, C. (Ed.). (2006). *Analysis of available data for validation of bitumen tests. Report on phase 1 of the BiTVAl project*. Bitval.
11. Abdullin A. I., Emel'ianycheva E. A. & Diiarov I. N. (2009). Otsenka adgezii bituma k mineral'nomu materialu v asfal'tobetone na osnove ego smachivaiushchikh svoistv [Evaluation of adhesion of bitumen to mineral material in asphalt concrete based on its wetting properties]. *Bulletin of the Technological University*. № 4, 256–259 [in Russian].
12. Arrambid Zh. & Diur'e M. (1961). *Organicheskie viazhushchie i smesi dlia dorozhnogo stroitel'stva [Organic binders and blends for road construction]*. Moskva: Avtotransizdat [in Russian].
13. Kandhal P. S. (1994). Field and laboratory investigation of stripping in asphalt pavements: State of the art report. *Transportation Research Record*, (1454).
14. Liu Y., Apeagyei A., Ahmad N., Grenfell J. & Airey G. (2014). Examination of moisture sensitivity of aggregate–bitumen bonding strength using loose asphalt mixture and physico-chemical surface energy property tests. *International Journal of Pavement Engineering*. 15 (7), 657–670.
15. Standard Practice for Effect of Water on Bituminous-Coated Aggregate Using Boiling Water. (2012). *ASTM D 3625-2012 from 1st January 2012*. ASTM International.
16. Kennedy T. W., Roberts F. L. & Anagnos J. N. (1984). *Texas boiling test for evaluating moisture susceptibility of asphalt mixtures* (No. FHWA-TX-85-63+253-5). Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, University of Texas at Austin.
17. Khudiakova T. S., Rozental' D. A., Mashkova I. A. & Bereznikov A. V. (1987). Kolichestvennaia otsenka stsepleniia dorozhnykh bitumov s mineral'nym materialom. [Quantitative assessment of the adhesion of road bitumens with mineral material]. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 6, 35–38 [in Russian].
18. The determination of the adhesion of bituminous binder to stone aggregate by means of the chemical immersion test (Riedel Weber). (1986). *Method B11 from 1st January 1986*. TMH1.
19. Melson L. B. (1941). The adhesion of bituminous materials to mineral aggregate.
20. Airey G. D., & Choi Y. K. (2002). State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. *Road Materials and Pavement Design*. 3 (4), 355–372.
21. Goetz W. H. (1959, January). Methods of testing for water resistance of bituminous paving mixtures. In *Symposium on Effect of Water on Bituminous Paving Mixtures*. ASTM International.
22. Standard Test Method for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures (2007). *ASTM D 1075-07 from 1st January 2007*. ASTM International.
23. Lottman R. P. (1982). Laboratory test methods for predicting moisture-induced damage to asphalt concrete. *Transportation Research Record*, (843).
24. Kennedy T. W., Roberts F. L., Lee K. W. & Anagnos J. N. (1982). Texas Freeze-Thaw Pedestal Test for Evaluating Moisture Susceptibility for Asphalt Mixtures. Research Report Number 253-3. *Center for Highway Research, University of Texas at Austin*.
25. Nicholls J. C., Prime J., Meitei B., & Lowe A. (2011). *Review of Saturation Ageing Tensile Stiffness (SATS) test for use in Ireland* (No. PPR 547).

Пыриг Ян Иванович, к.т.н., старший научный сотрудник кафедры технологии дорожно-строительных материалов и химии, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого, 25. тел. + 38 098-44-66-268, e-mail: pirig2000@gmail.com.

State of the art of methods for assessing the adhesion of bitumen to mineral aggregates

Abstract. Problem. Performance and durability of the asphalt concrete is based on the quality of the origin mineral aggregates and asphalt binder. The main purpose of the bitumen in asphalt concrete is the homogenous distribution on the mineral aggregate surface and joining them into monolith structure. Bitumen must make strong bonds between mineral grains and keep contact with their surface under a water and a traffic influence during a performance period. Due this adhesion is one of the priority characteristics of the bitumen binder, and the methods of its assessment and improvement are actual. **Goal.** The aim of this study is to make a review of foreign and origin methods of the assessing the adhesion of bitumen to mineral aggregates. **Methodology.** For this purpose where used the publications of the foreign and Ukrainian researches. **Results.** The beginning of adhesion researches can be referred to the 30th of the last century, when the base requirements for the adhesion assessment methods where formulated and initial methods where developed. Till now the researches all over the world developed more than 150 methods of the adhesion of bitumen to mineral aggregates assessment, and none of them become conventional. The existing methods of the adhesion assessing can be divided on one which let to find the adhesion strength and one which let to assess the stripping resistance. The first group includes methods based on measuring the force that required to breakaway a bitumen layer from a researching surface. The second group is represented by methods based on changing adhesion properties of the material under the external factor influence (such as water, or an aggressive medium, a temperature, a mechanical stress). The methods from the second group can be divided into the methods which evaluate the stripping influence of the water on the uncompacted asphalt mixture and on the specimens compacted in the laboratory, or taken from the pavement. **Originality.** The advantages and disadvantages of the existed and current methods of the assessing the adhesion of bitumen to mineral aggregates are considered.

Keywords: bitumen, adhesion, determination methods.

Pyrig Yan, St. Researcher, Ph. D. (Eng.), The department of technology of road-construction materials, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. + 38 098-44-66-268, e-mail: pirig2000@gmail.com.

Огляд методів оцінки зчеплюваності бітуму з кам'яними матеріалами

Анотація. Експлуатаційні показники й довговічність асфальтобетону визначається якістю вихідних кам'яних матеріалів і бітумних в'язучих. Основним призначенням бітумів у складі асфальтобетонів є рівномірний розподіл по поверхні всіх кам'яних матеріалів і об'єднання їх в єдиний моноліт. Під час експлуатації асфальтобетонного покриття бітум повинен міцно з'єднувати зерна кам'яних матеріалів і не відшаровуватися від їх поверхні під дією води й механічних зусиль. Таким чином, адгезія є однією з найважливіших характеристик бітумних в'язучих, а питання її оцінки та підвищення є актуальними. Метою виконаної роботи було проведення огляду вітчизняних і зарубіжних методів оцінки зчеплення бітумів з кам'яними матеріалами. Для виконання огляду використані літературні джерела вітчизняних і зарубіжних дослідників. Початок вивчення адгезії бітумів з кам'яними матеріалами доводиться на 30-ті рр. минулого століття, коли були розроблені основні вимоги до методів оцінки адгезії та запропоновані перші методики. За минулий час дослідниками різних країн розроблено понад 150 методів оцінки зчеплення бітумних в'язучих з кам'яними матеріалами, але жоден з методів не став загальноприйнятим. Наявні методи оцінки адгезії поділяються на такі, що дозволяють установити адгезійну міцність і що оцінюють опір бітумних в'язучих відшаровуючої дії води. До першої групи належать методи, засновані на встановленні зусилля, необхідного для відриву шару в'язучого від досліджуваної поверхні. Другу групу утворюють методи, засновані на зміні адгезійних властивостей після впливу на випробований матеріал зовнішніх факторів (води або агресивного середовища, температури, механічної дії). Зокрема методи другої групи поділяються на методи, у яких оцінюється відшаровуюча дія води на неуцільнену суміш кам'яних матеріалів і на виготовлені в лабораторії асфальтобетонні зразки або взяті з асфальтобетонного покриття вирубки. Розглянуто переваги та недоліки наявних і вживаних на даний час методів оцінки зчеплення бітумів з кам'яними матеріалами.

Ключові слова: бітум, адгезія, зчеплюваність, методи визначення.

Пиріг Ян Іванович, к.т.н., старший науковий співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. + 38 098-44-66-268, e-mail: pirig2000@gmail.com.