

УДК 665.775+539.612

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.1.202

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АДГЕЗИИ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ, ОПРЕДЕЛЕННОЙ ПО МЕТОДАМ, НОРМИРУЕМЫМ НАЦИОНАЛЬНЫМИ СТАНДАРТАМИ УКРАИНЫ

Пыриг Я. И.¹, Галкин А. В.¹

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. В статье рассмотрены действующие в Украине национальные стандарты на определение адгезии битумов. По методикам этих стандартов выполнена оценка адгезии битумов без добавок и модифицированных различными добавками (полимерами, энергосберегающими добавками и поверхностно-активными веществами). Приведены достоинства и недостатки принятых в работе методов.

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

Введение

Битум, применяемый в дорожном строительстве для обеспечения высокого качества и долговечности асфальтобетонных покрытий, должен обладать высокой когезией, хорошей адгезией с поверхностью всех каменных материалов, иметь низкую температурную чувствительность, широкий интервал пластичности и высокую стабильность свойств в процессе технологических операций и длительном периоде эксплуатации покрытия.

Устойчивость битума к отслаивающему воздействию определяет его адгезия к минеральным поверхностям: она должна быть не только высокой, но и стабильной во времени, что является одним из условий долговечности дорожного покрытия.

Вопросы повышения адгезионных свойств битумов и их объективной оценки являются актуальными как в Украине, так и за рубежом, свидетельством чего является постоянно обновляемая номенклатура адгезионных добавок и регулярно появляющиеся новые методы оценки адгезии [1].

Анализ публикаций

В начале прошлого века был сформулирован перечень требований вяжущих к каменным материалам разного гранулометрического и минералогического состава, которым должен отвечать объективный метод оценки адгезии битумных [2, 3]: теоретическая обоснованность, высокая точность и воспроизводимость результатов, обеспечение требуемой чувствительности метода за счёт подбора температуры и времени испытания, возможность сравнительной оценки исходных и модифицированных битумов, простота и непродолжительность во времени.

Отсутствие единого общепринятого метода оценки адгезии в настоящее время объясняется тем, что из более чем 150 методов, разработанных к 90-м годам прошлого века [4], ни один не обладает заданными критериями.

В виду сложности определения адгезионной прочности битумов с поверхностью каменных материалов большинство методов оценки адгезии являются косвенными (условными) и ориентированы на установление изменения адгезионных показателей под действием внешних факторов (температуры, воды, механического воздействия и т.д.). Условные методы разделяются на две группы: в методах первой группы, которые являются наиболее распространенными и многочисленными, оценка изменения адгезии выполняется на неуплотненных битумо-минеральных или асфальтобетонных смесях; во второй группе для испытания применяются уплотненные смеси. В первом случае в преобладающем большинстве методов оценка результатов осуществляется визуально. В методах второй группы изменение адгезии оценивается по изменению физико-механических показателей качества асфальтобетонных образцов [2, 5].

Различия в условиях проведения испытания – разные температурные режимы, варьирование времени испытания от нескольких минут до нескольких суток, наличие или отсутствие механического воздействия, применение зерен каменных материалов различного размера и т.д. – приводит к несопоставимости результатов оценки адгезии. При этом зачастую высокие значения адгезии, полученные в одном из методов, не подтверждаются результатами других методов оценки адгезии [6].

В Украине в настоящее время адгезия битумов к поверхности каменных материалов оценивается рядом методов:

- ГОСТ 11508-74 «Битумы нефтяные. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком» [7] (действует с 1965 г., действие прекращается с 01.01.2022 г.);

- ДСТУ Б В.2.7-81-98 «Строительные материалы. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения показателя сцепления с поверхностью стекла и каменных материалов» [8] (действует с 1999 г.);

- ДСТУ 8787:2018 «Битумы и битумные вязущие. Метод определения сцепления со щебнем» [9] (действует с 01.06.2019 г.);

- ДСТУ EN 12697-11:2018 (EN 12697-11:2012, IDT) «Битумоминеральные смеси. Методы испытания горячих асфальтобетонных смесей. Часть 11. Определение сцепления между заполнителем и битумом» [10] (вступит в действие с 01.01.2020 г.).

Сопоставительная характеристика условий установления адгезии при помощи стандартов Украины, а также критический анализ достоинств и недостатков вышеприведенных методов является актуальной задачей.

Цель и постановка задачи

Целью выполненной работы является сравнительная характеристика действующих в Украине стандартных методов оценки сцепления битумных вяжущих с каменными материалами и установление взаимосвязи между результатами оценки адгезии разными методами. Для достижения поставленной цели выполнена оценка адгезии разными методами. Для установления чувствительности действующих в Украине стандартных методов оценки адгезии к модификации вяжущих адгезия определялась на битумах, модифицированных разными типами добавок.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования в работе был принят битум БНД 60/90, а также битумные вяжущие, полученные модификацией исходного битума разными типами добавок:

- полимером термоэластопластом типа SBS производства фирмы Kraton - D1192;
- энергосберегающей добавкой Licomont BS 100;
- адгезионной добавкой Wetfix BE,
- комбинацией вышеприведенных добавок (Kraton D1192 + Wetfix BE и Licomont BS 100 + Wetfix BE).

Для полученных битумных вяжущих были определены стандартные показатели качества – пенетрация при 25 °С, температура размягчения и индекс пенетрации, рассчитанные как по температуре размягчения (IP_{Tr}), так и по температуре, соответствующей пенетрации $800 \times 0,1$ мм (IP_{800}). Показатели качества принятых в работе битумных вяжущих приведены в табл. 1.

В качестве минерального материала использовался кварцит фракции 2,5 – 5 мм, 5 – 10 мм и 10 – 20 мм, а также серый гранит фракции 2,5 – 5 мм Редутского гранитного карьера и красный гранит фракции 2,5 – 5 мм Овручского горно-обогатительного комбината. Внешний вид каменных материалов представлен на рис. 1. Зерна кварцита мономинеральны, серого цвета с редким включением полностью светлых зерен и вкраплениями пирита. Зерна гранитов полиминеральны с присутствием светлых и темных минералов.

Таблица 1 – Показатели качества битумных вяжущих

Маркировка вяжущего	Содержание добавки	Показатели качества		
		пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	температура размягчения, °С	IP_{Tr} / IP_{800}
Б	-	89	46,4	-0,71/ -0,98
BW	0,7 % Wetfix	85	45,5	-1,11/ -1,11
BS	3 % D1192	60	51,2	-0,47/ -0,52
BSW	3 % D1192 + 0,7 % Wetfix	61	50,6	-0,58/ -0,47
BL	3 % Licomont	61	95,1	6,69/ -0,60
BLW	3 % Licomont + 0,7 % Wetfix	60	91,3	6,23/ -0,77



Рис. 1. Внешний вид каменных материалов

Сравнительная характеристика значений адгезии, определенных разными методами

Сцепление битумов с поверхностью каменных материалов определяли по методикам ГОСТ 11508 (метод А) [7], ДСТУ 8787

[9], ДСТУ EN 12697-11 [10], а битумов с поверхностью стекла по ДСТУ Б В.2.7-81 [8]. При этом в методики вышеприведенных стандартов были введены некоторые изменения, обусловленные производственной необходимостью. Методы, приведенные в ГОСТ 11508 и ДСТУ 8787, являются модифицированными версиями методик определения адгезии, предложенных в 50-х годах прошлого века А. И. Лысиной [6].

Оценка адгезии по ГОСТ 11508.

В соответствии с методикой ГОСТ 11508 испытание выполняется на белом мраморе Коелгинского или Прохор-Баладинского месторождений фракции 2–5 мм или песке, которые перед испытанием промываются от пыли дистиллированной водой и высушиваются до постоянной массы. 30 г каменных материалов и 1,2 г битума помещаются в фарфоровую чашку, которая выдерживается в термостате при температуре 120–140 °С в течение 20 мин. После выдерживания каменные материалы смешивают с битумом до полного покрытия поверхности всех зерен и выдерживают при комнатной температуре в течение 20 мин. Затем смесь равномерным слоем размещается на металлическом сите, которое погружается в стеклянный стакан с небурно- кипящей дистиллированной водой и выдерживается в течение 30 мин. По истечении времени выдерживания сетка со смесью переносится в стакан с холодной водой и после охлаждения в течение 2–3 минут смесь выкладывается на фильтровальную бумагу. Оценка сцепления выполняется визуально путем сравнения внешнего вида смеси с фотографиями контрольных образцов, приведенных в ГОСТ 11508.

При проведении испытания в методику ГОСТ 11508 были внесены изменения: вместо белого мрамора Коелгинского или Прохор-Баладинского месторождений был использован кварцит фракции 2,5–5 мм. Поскольку использовались модифицированные битумы, все вяжущие с каменными материалами смешивались и выдерживались при температуре 160 °С. Оценка результатов адгезии выполнялась тремя операторами по методике, приведенной в ГОСТ 11508, и в процентах, в соответствии с шаблонами, приведенными в ДСТУ EN 12697-11.

Полученные результаты приведены в табл. 2.

За счет мономинеральности зерен кварцита результаты адгезии легко идентифицировались.

Сравнительная оценка сцепления исходного битума БНД 60/90 (Б) с разными каменными материалами (кварцитом, серым и красным гранитом) показала трудности идентификации результатов адгезии при использовании полиминеральных каменных материалов. Для всех использованных в работе каменных материалов пленка битума оставалась на темных зернах и практически полностью отделялась от поверхности светлых зерен (рис. 2).

Таблица 2 – Результаты сцепления, определенные на кварците по методике ГОСТ 11508

Вяжущее	Оценка сцепления по	
	ГОСТ 1508	ДСТУ EN 12697-11, в %
Б	контрольный образец № 3	35
БW	контрольный образец № 1	96
БS	контрольный образец № 3	54
БSW	контрольный образец № 1	97
БL	контрольный образец № 2	68
БLW	контрольный образец № 1	99



Рис. 2. Внешний вид каменных материалов после испытания по ГОСТ 11508

Наряду с неоспоримыми преимуществами метода (простота методики, отсутствие потребности в специальном оборудовании, малое время проведения испытания, не превышающее 1,5 ч (без времени очистки и высушивания каменных материалов)), ему присущи значительные недостатки:

– метод ориентирован на установление влияния именно битума на адгезию битумо-минеральной смеси, что достигается за счет применения эталонных каменных материалов, но из-за отсутствия возможности обеспечить в настоящее время дорожные лаборатории Украины принятым в методике эталонным белым мрамором и нецелесообразности применения природного песка, зерновой и минералогический состав которого должен быть одинаковым, нивелируется ос-

новной принцип метода и пропадает возможность сопоставлять полученные в различных лабораториях результаты;

– субъективность полученных результатов оценки адгезии и сложность их сопоставления с приведенными в ГОСТ 11508 эталонными фотографиями.

Метод может быть использован в дорожных лабораториях Украины для экспресс-оценки адгезионной способности битумов при условии пересмотра его методики (выбор новых эталонов каменных материалов и усовершенствование оценочных эталонов).

Оценка адгезии по ДСТУ 8787. В соответствии с методикой, приведенной в ДСТУ 8787, определение адгезии выполняется на шести зернах щебня, размером 10...40 мм. После промывки от грязи и пыли и высушивания до постоянной массы зерна обвязывают ниткой или тонкой проволокой и прогревают в сушильном шкафу при технологической температуре нагрева битума (от 70 °С до 165 °С в зависимости от марки вяжущего) в течение 60 мин. Прогретые зерна поочередно погружают в емкость с нагретым до технологической температуры битумом на 15 с, после чего вынимают и подвешивают их на штативе для стекания вяжущего в течение 60...120 мин. По истечении времени стекания битума щебенки за нитки опускают в стакан с нагретой до 95 °С водой и выдерживают в ней в течение 30 мин при использовании вязких битумов или 3 мин при применении жидких битумов. Выдержанные в воде щебенки охлаждают в холодной воде в течение 2 мин, укладывают на фильтровальную бумагу и осуществляют визуальную оценку степени покрытия каменного материала битумом. Оценка оставшегося битумного покрытия выполняется в процентах, которые затем по приведенной в ДСТУ 8787 системе переводятся в балы от 2,0 до 5,0.

Испытание выполнялось на кварците фракции 10–20 мм. Все используемые вяжущие и каменный материал нагревались и объединялись при температуре 160 °С. Оценка полученных результатов осуществлялась тремя операторами в балах по методике, приведенной в ДСТУ 8787, и в процентах по методике ДСТУ EN 12697-11. Полученные результаты приведены в табл. 3.

При проведении испытания на битумах с энергосберегающей добавкой Licomont BS (BL и BLW) вяжущее на щебенках после извлечения их из емкости с горячим битумом

очень быстро застывало и практически не стекало с поверхности каменного материала.

Таблица 3 – Результаты сцепления, определенные на кварците по методике ДСТУ 8787

Битум	Оценка сцепления по	
	ДСТУ 8787, балы	ДСТУ EN 12697-11, в %
Б	4,0	75
BW	4,5	98
BS	4,5	95
BSW	5,0	98
BL	4,0	81
BLW	5,0	99

Среди принятого для испытания кварцита попадались полностью светлые зерна. Параллельные испытания адгезии на темных (рис. 3, а) и светлых (рис. 3, б) зернах показали полное несоответствие полученных результатов. В то время как на темных зёрнах кварцита пленка битума отделилась в основном лишь от ребер и острых углов частиц, на светлых зернах битума практически не осталось.

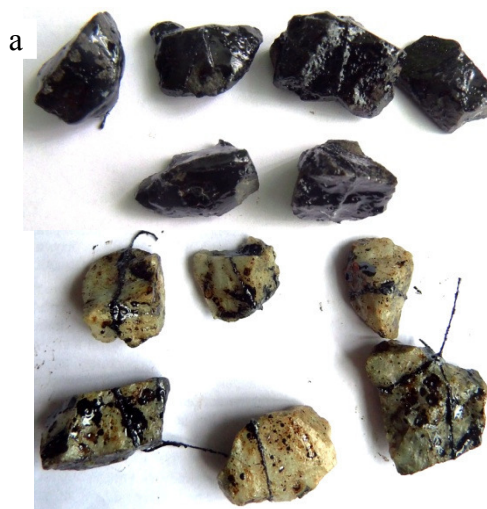


Рис. 3. Внешний вид темных (а) и светлых (б) зерен кварцита после испытания по методике ДСТУ 8787

Время проведения испытания по методике ДСТУ 8787 на заранее очищенных от пыли щебенках составляет 2,5 ... 3,5 ч, что является преимуществом метода. Также к преимуществам можно отнести необходимость использования специального оборудования.

В стандарте ДСТУ 8787:2018 частично реализуется подход к оценке адгезии на каменных материалах и битуме, которые непосредственно используются при производстве асфальтобетонных смесей, но недостатки,

присущие методу, ставят под сомнение объективность получаемых результатов, а именно:

– для испытания принимаются зерна щебня, размером 10 ... 40 мм, в то время как в асфальтобетонной смеси наибольшей удельной поверхностью обладает минеральный порошок, а зерна, размером более 10 мм, могут и вовсе отсутствовать в смеси (асфальтобетон типа Г и Д, мелкозернистый асфальтобетон типа Б и В);

– существенное влияние полиминеральности зерен каменных материалов на получаемые результаты, что при ограниченном количестве испытываемых щебенков приводит к существенным разбросам результатов (для повышения точности результатов испытатель будет вынужден повторно выполнять оценку или специально отбирать исходные зерна, близкие по мономинеральности);

– из работ А. И. Лысихиной [6], которая является одной из разработчиков исходного варианта этого метода (50-е годы прошлого века), известно, что при уменьшении размера зерен каменного материала адгезия уменьшается. Таким образом, метод, регламентированный ДСТУ 8787, дает завышенные результаты адгезии;

– за счет структурных и реологических особенностей вяжущих, например битумов, модифицированных полимерами, обладающих более высокой вязкостью, или битумов с энергосберегающими добавками, которые после объединения с каменными материалами очень быстро остывают и не стекают с поверхности зерен, на поверхности каменных материалов образуются пленки битумов разной толщины, что приводит к различию в условиях испытания;

– субъективность оценки адгезии и сомнения в возможности визуально установить разницу между значениями сцепления, которые находятся на границе баллов, например невозможно объективно визуально установить разницу между 74 % и 76 % поверхности, оставшейся покрытой битумом, в то время как значение в 75 % является граничным при оценке в 3,0 или 3,5 балла);

– низкая точность оценки адгезии (повторяемость – 0,5 балла, т.е. 15–20 % поверхности, а воспроизводимость – 1,0 балл, т.е. 30–40 % поверхности) и неравномерность распределения баллов (поверхность каменного материала с полностью отделенным вяжущим оценивается в 2 балла, до 60 % поверхности каждые 20 % поверхности с пленкой вяжущего оцениваются в 0,5 балла, от 60 %

до 90 % каждые 15 % поверхности оцениваются в 0,5 балла, а от 90 % до 100 % каждые 10 % оцениваются в 0,5 балла).

Оценка адгезии по ДСТУ Б В.2.7-81. Разработанный более 20 лет назад в ХНАДУ [11] метод оценки адгезии битума с поверхностью стекла и каменного материала ориентирован на установление вклада в значение сцепления именно свойств вяжущих. Основным принципом метода заключается в том, что за счет использования стеклянной (эталонной) поверхности, которая обеспечивает наилучшие условия для объединения с битумным вяжущим, полученный результат косвенно характеризует то наименьшее значение адгезии, которое может быть получено при использовании испытываемого битума в асфальтобетонной смеси. То есть, если после проведения испытания на стекле установлена определенная адгезия, в реальных условиях приготовления асфальтобетонных смесей адгезия битума будет более высокой (по крайней мере, не ниже), что позволяет принять решение о целесообразности применения поверхностно-активных добавок, а также оценить их эффективность и оптимальную концентрацию.

Для определения адгезии по методу, приведенному в ДСТУ Б В.2.7-81, используются стеклянные пластины, толщиной 3 мм и размером 80 × 35 мм, или отшлифованные каменные пластины, толщиной 10 мм и размером 90 × 35 мм. Перед испытанием поверхность пластин промывается растворителем (ацетоном), водой с хозяйственным мылом и дистиллированной водой. Подготовленные пластины кипятят в дистиллированной воде в течение 30 мин, после чего высушивают в вертикальном положении в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 30 ... 40 мин.

На обратную (нерабочую) сторону стеклянной пластины наносится разметка 70 × 25 мм с рабочей стороны, по очерченной разметкой площади, равномерно распределяют 0,35 г битума. При этом толщина пленки битума составляет 0,2 мм. После нанесения вяжущего пластины выдерживают в течение 30 мин в горизонтальном положении в сушильном шкафу при температуре, которая на 80 °С превышает температуру размягчения испытываемого битума, а затем еще 30 мин охлаждают пластины на воздухе при комнатной температуре. Подготовленные образцы выдерживают 25 мин. в водяной

бане с дистиллированной водой с температурой 75 °С при испытании битумов или 85 °С при испытании битумов с поверхностно-активными веществами. По истечении времени выдерживания воду в бане понижают до температуры, меньшей на 10 °С температуры размягчения битума, после чего пластины вынимают из воды и определяют площадь, покрытую вяжущим. За показатель адгезии принимается среднее из пяти значений, рассчитанное в процентах, определенное как отношение площади битума на пластине после испытания к площади битума на пластине до испытания.

Областью применения метода согласно ДСТУ Б В.2.7-98 являются чистые и модифицированные поверхностно-активными веществами нефтяные вязкие битумы, но в настоящее время показатель адгезии, определяемый по данному стандарту, необоснованно входит в номенклатуру показателей качества и битумов, модифицированных полимерами и энергосберегающими добавками.

При проведении исследования адгезия по методу ДСТУ Б В.2.7-98 для всех принятых вяжущих с целью корректности сравнения полученных данных определялась при 85 °С. Полученные результаты даны в табл. 4.

Существенным достоинством данного метода является объективное численное выра-

жение адгезии. Кроме того, к достоинствам относится и время испытания. При использовании в работе компьютерных программ, позволяющих определять площадь битума на снимке/скане поверхности стеклянной пластины, время проведения испытания, включающее очистку и подготовку пластин, не превышает 2,5 ч.

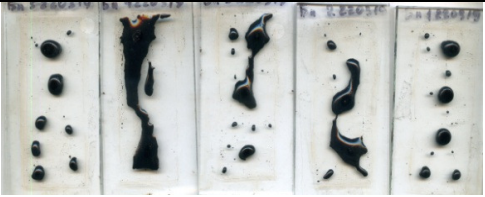


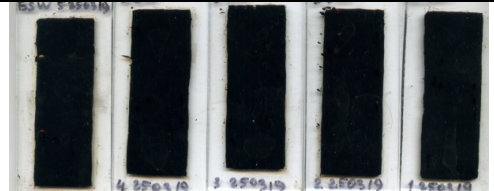


Методу присущи недостатки:

- некорректность использования метода для оценки адгезии битумов, модифицированных полимерами и энергосберегающими добавками, что объясняется несоответствием температурных режимов проведения испытания характеристикам вяжущего (например, температура размягчения модифицированных битумов может быть выше 100 °С, в этом случае температура испытания является слишком малой для отделения пленки битума от поверхности стекла);

- неравнозначность условий проведения испытания для вяжущих различных марок и типов (при испытании по нормируемому методу при температурах 75 °С или 85 °С битумы, характеризуемые температурами размягчения, например в 40 °С и 55 °С, будут в неравнозначных реологических условиях);

- необходимость использования дополнительного оборудования для проведения испытания и оценки результатов;

Таблица 4 – Результаты сцепления, определенные на стекле по методу ДСТУ Б В.2.7-81-98

Вяжущее	без поверхностно-активного вещества	с 0,7 % Wetfix BE
БНД 60/90	 Среднее значение 13,3 %	 Среднее значение 99,2 %
БНД 60/90 + 3 % СБС 1192	 Среднее значение 20,6 %	 Среднее значение 99,0 %
БНД 60/90 + 3 % Licomont	 Среднее значение 82,8 %	 Среднее значение 99,6 %

- влияние на точность результатов испытания свойств поверхности стекла (листовое стекло, изготовленное различными производителями, может отличаться по химическому составу, также могут отличаться и значения адгезии, определенные на различных поверхностях стекла – воздушной и оловянной);

- отсутствие нормирования точности метода.

Для устранения названных недостатков методики стандарта ДСТУ Б В.2.7-98 в настоящее время кафедрой ТДСМ ХНАДУ по заказу Государственного агентства автомобильных дорог Украины выполняется ее переработка.

Оценка адгезии по ДСТУ EN 12697-11.

В настоящее время одним из наиболее распространенных методов оценки сцепления битумов с каменными материалами, используемых в европейских государствах, является Rolling bottle method [12], методика которого регламентирована стандартом EN 12697-11 (с 01.01.2020 будет введен в действие в Украине как ДСТУ EN 12697-11). Метод «вращающейся бутылки» (Rolling bottle method) по своей сути является модифицированной версией метода, который разработал V.Nicholson в 30-х годах прошлого века [6].

Для испытания по методу «вращающейся бутылки» используют щебень фракции 8,0 ... 11,2 или 6,3 ... 10 мм. Зерна каменного материала очищают от пыли и высушивают до постоянной массы при температуре 105 °С, после этого нагревают до технологической температуры приготовления асфальтобетонных смесей. 510 г каменных материалов перемешивают с битумом (в случае использования зерен фракции 8,0 ... 11,2 мм используют 16 г битума, а при использовании зерен, размером 6,3 ... 10 мм, – 17 г битума). Приготовленную битумокаменную смесь раскладывают на металлической пластине и оставляют на 12– 64 ч при температуре (20 ± 5) °С.

Перед испытанием отбирают три пробы смеси по 150 г, которые загружают в три стеклянные бутылки, емкостью 500 мл и доливают дистиллированную воду с температурой (5 ± 2) °С. В бутылки для предотвращения агрегирования частиц минерального материала вставляют по стеклянной стержню, диаметром 6 мм (рис. 4). Стеклянные бутылки устанавливают в вращающееся устройство, где и осуществляется их враще-

ние со скоростью 40 мин.⁻¹ (при использовании битумов с пенетрацией, которая более 100 × 0,1 мм) или 60 мин.⁻¹ (при использовании битумов с пенетрацией, которая менее 100 × 0,1 мм). Испытания выполняются при комнатной температуре (20 ± 5) °С.

Оценка степени удаления с поверхности каменных материалов битума осуществляется после 6 и 24 ч и при необходимости после 48, 72, 96 и 168 ч вращения.



Рис. 4. Оборудование и битумокаменная смесь для испытания по методу ДСТУ EN 12697-11

Каменные материалы перекладывают в чашку со свежей дистиллированной водой таким образом, чтобы она покрывала все зерна, и визуально оценивают степень покрытия поверхности битумом в процентах. При оценке любые тонкие коричневые и полупрозрачные участки считаются полностью покрытыми битумом. Для облегчения визуальной оценки в стандарте приведены эталоны, соответствующие определенному проценту покрытия площади (20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 90 %, 95 % и 100 %).

При необходимости остановки испытания (например при испытаниях только в рабочее время) прибор выключают, вода из бутылки сливается в чашку, а каменные материалы выкладывают на силиконовую бумагу и сохраняют необходимое время при комнатной температуре. Перед продолжением испытания воду и каменные материалы возвращают в бутылку.

Результаты определения адгезии по методу вращающейся бутылки приведены в табл. 5 и на рис. 5. Испытание выполнялось на кварците фракции 5 ... 10 мм. Каменные материалы и вяжущие нагревались и объединялись при температуре 160 °С. Оценка адгезии производилась после 6, 14 и 24 ч вращения смеси в бутылке при 60 мин.⁻¹ тремя операторами.

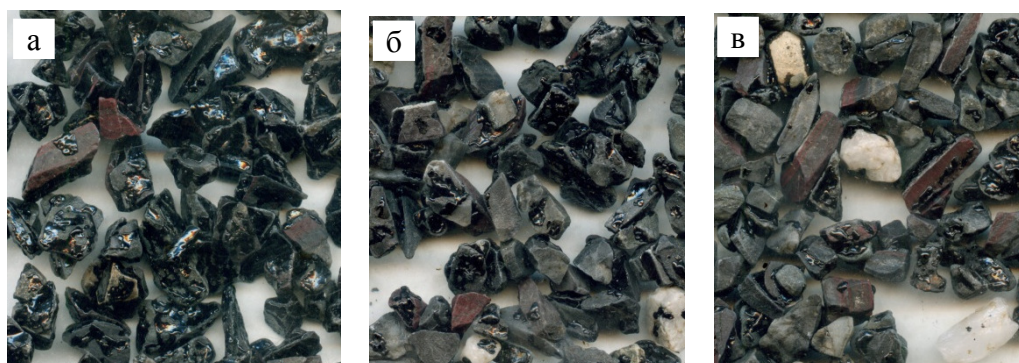


Рис. 5. Фрагменты зерен каменного материала, обработанного битумом БНД 60/90 с 3 % СБС 1191, после испытания по методу ДСТУ EN 12697-11 (а – 6 ч вращения в бутылке, б – 14 ч вращения, в – 24 ч)

Таблица 5 – Результаты сцепления, определенные по методикам, принятым в работе

Вязу- щее	Оценка сцепления в % по					
	ГОСТ 11508	ДСТУ 8787	ДСТУ Б В.2.7-98	ДСТУ EN 12697-11		
				6 ч	14 ч	24 ч
Б	35	75	13,3	75	35	15
БW	96	98	99,2	97	85	70
БS	54	95	20,6	70	25	10
БSW	97	98	99,0	98	85	65
БL	68	81	82,8	75	34	10
BLW	99	99	99,6	95	85	75

Благодаря широкому использованию в европейских странах метода вращающейся бутылки его достоинства и недостатки хорошо изучены.

К достоинствам метода относятся его простота и отсутствие необходимости применения сложного дорогостоящего оборудования, а также значительная чувствительность к модификации битума добавками.

К недостаткам метода можно отнести:

- длительное время испытания (минимальное время не может быть меньше 18 ч);
- необходимость в дополнительном оборудовании, которое может быть изготовлено в лабораторных условиях;
- значения адгезии, определенные на зернах фракции 6,3 ... 10 мм и 8,0 ... 11,2 мм, могут отличаться от результатов сцепления, полученных на каменных материалах иной гранулометрии, а тем более от результатов, полученных при испытании готовой асфальтобетонной смеси;

- субъективность оценки результатов адгезии и низкая точность методов (повторяемость – 20 %, воспроизводимость – 30 %).

Разница в результатах адгезии, полученных принятыми в работе методами (табл. 5), обусловлена различиями режимов и условий

проведения испытаний.

Значения адгезии, определенные по методу ДСТУ 8787, являются существенно завышенными и находятся на уровне сцепления, полученного после 6 ч вращения битумо-минеральной смеси в бутылке по методу ДСТУ EN 12697-11. Кроме этого, разница между значениями адгезии, определенной для чистого битума и модифицированных битумов, невелика (1,3 раза для битума и битума с ПАВ; 1,03 раза для битума, модифицированного полимером и битума, модифицированного полимером и ПАВ; 1,22 раза для чистого битума), что может свидетельствовать о низкой чувствительности метода при оценке модифицированных вяжущих.

Результаты адгезии, определенные по ГОСТ 11508, несколько меньше данных, полученных по методу ДСТУ 8787. Это объясняется как меньшим размером зерен каменных материалов, которые используются в испытании, так и влиянием полиминерального состава зерен. В то же время испытание по методу ГОСТ 11508 является более чувствительным к наличию полимеров и энергосберегающих добавок. Данные адгезии, полученные по методике ГОСТ 11508, при сравнении их с адгезией по методу вращающейся бутылки соответствуют средним данным, полученным при времени испытания 6 и 14 ч.

Результаты оценки адгезии по методу ДСТУ Б В.2.7-98 для исходного битума и битума, модифицированного 3 % полимера СБС 1192 (БS), практически полностью совпадают с результатами, полученным по методу вращающейся бутылки при времени испытания 24 ч. Значительное превышение значений адгезии по методу ХНАДУ для битума, модифицированного энергосберегающей добавкой Licomont BS, по отношению к

значениям, полученным методом вращающейся бутылки, объясняется тем, что температура размягчения вяжущего БЛ (95,1 °С) превышает температуру испытания по методу ДСТУ Б В.2.7-98, составляющую 85 °С. Совершенствование метода ДСТУ Б В.2.7-98, заключающегося в изменении подхода ко времени испытания (больше время выдерживания в воде при 85 °С для битумов с поверхностно-активными веществами и вяжущих с температурой размягчения, близкой к 85 °С или большей), позволит применять данный метод для оценки адгезии модифицированных вяжущих и более объективно оценивать влияние того или иного поверхностно-активного вещества на адгезию битума.

Выводы

Действующие в Украине национальные стандарты на методы оценки адгезии битумов и битумных вяжущих не позволяют в полной мере корректно оценивать ее значения. Получаемые разными методами значения адгезии существенно различаются.

Преимущества метода оценки адгезии по ДСТУ Б В.2.7-98 по отношению к другим рассмотренным методам выражаются в численном определении значений адгезии и объективности их установления. Усовершенствование метода, приведенного в ДСТУ Б В.2.7-98, позволит применять его для оценки адгезии модифицированных вяжущих, а получаемые результаты будут сопоставимыми со значениями адгезии, полученными по общеевропейскому методу вращающейся бутылки.

Литература

1. 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.
2. State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.
3. 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.
4. Grönniger J., Wistuba M.P. Adhesion in Bitumen-Aggregate-Systems: New technique for automated interpretation of rolling bottle tests. *Road Materials and Pavement Design*. 2010. № 11(4). P. 881-898.
5. 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.

6. Лысихина А. И. Поверхностно-активные добавки для повышения водостойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей. Москва: Автотрансиздат, 1959. 232 с.
7. ГОСТ 11508-74. Битумы нефтяные. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком [Действует с 1975-01-01]. Изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 2006. 6 с.
8. ДСТУ Б.В.2.7-81-98. Будівельні матеріали. Битуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення показника зчеплення з поверхнею скла та кам'яних матеріалів [Чинний з 1999-03-01]. Вид. офиц. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. 5 с.
9. ДСТУ 8787:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення зчеплюваності зі щебенем. [Чинний з 2019-06-01]. Вид. офиц. Київ: УкрНДНЦ. 2018. 16 с.
10. ДСТУ EN 12697-11:2018 (EN 12697-11:2012, IDT). Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 11. Визначення зчеплюваності між заповнювачем і бітумом. [Не чинний]. Вид. офиц. Київ: УкрНДНЦ. 2018. 41 с.
11. Золотарев В.А., Агеева Е.Н. Об оценке адгезии битума к поверхности минерального материала. *Автомобильные дороги*. 1995. № 12. С. 13-15.
12. Vansteenkiste S., Soenen H. FunDBitS: functional durability-related bitumen specification. Correlations between bitumen and asphalt properties Binder/aggregate interaction (water sensitivity). CEDR Transnational Road Research Programme, 2016. 54 p.

References

1. Kandhal, P. S. (1994). Field and laboratory investigation of stripping in asphalt pavements: State of the art report. *Transportation Research Record*, (1454).
2. Highway research board. (1968). *State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special report 98*.
3. 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.
4. Grönniger, J., Wistuba, M. P., & Renken, P. (2010). Adhesion in bitumen-aggregate-systems: New technique for automated interpretation of rolling bottle tests. *Road materials and pavement design*, 11(4), 881-898.
5. 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.
6. 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
7. Bitumy nefnianye. Metody opredeleniia stseplenii bituma s mramorom i peskom [Petroleum bitumens. Methods of the determination of bitumen adhesion to marble and sand]. (1974) *GOST 11508-74 from 1st January 1974*. Moscow: Izdatel'stvo standartov [in Russian].
 8. Budiveln'i materiali. Bitumi naftovi dorozhni v'iazki. Metod viznachennia pokaznika zcheplennia z poverkhneiu skla ta kam'ianikh materialiv [Building materials. Viscous road oil bitumens. The method to determine the index of engagement with the surface of glass and rock materials]. (1999). *DSTU B V.2.7-98:98 from 1st March 1999*. Kyiv: Derzhavnii komitet budivnitstva, arkhitekturi ta zhitlovoi politiki Ukraïni [in Ukrainian].
 9. Bitum ta bitumni v'iazhuchi. Metod viznachennia zchepliuvanosti zi shchebenom [Bitumen and bituminous binders. Determination of adhesion with crushed stone]. (2019). *DSTU 8787:2018 from 1st June 2019*. Kyiv: SE "UkrNDNC" [in Ukrainian].
 10. Bitumomineral'ni sumishi. Metodi viprobuvannia gariachikh asfal'tobetonnikh sumishei. Chastina 11. Viznachennia zchepliuvanosti mizh zapovniuvachem i bitumom [Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen]. (2018). Not valid. Kyiv: SE "UkrNDNC" [in Ukrainian].
 11. Zolotarev, V. A., Ageeva, E.N. (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].
 12. Vansteenkiste, S., & Soenen, H. (2016). *FunDBitS: functional durability-related bitumen specification. Correlations between bitumen and asphalt properties Binder/aggregate interaction (water sensitivity)*. CEDR Transnational Road Research Programme.

Пыриг Ян Иванович, к.т.н., ст. научн. сотрудник каф. 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

Галкин Андрей Владимирович, к.т.н., ст. научн. сотрудник каф. технологии дорожно-строительных материалов и химии, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38 067-799-64-32,
a.galkin0906@gmail.com

Comparative evaluation of the bitumen binders adhesion by the methods normalized by national standards of Ukraine

Abstract. Problem. Bitumen binders as a component of the asphalt pavement must be characterized by a certain list of qualities. It includes high cohesion values, good adhesion to the surface of all mineral materials, low temperature susceptibility and high stability of properties during technological proceeding and durability pavement period. The high rate of a new adhesives and adhesion assessment methods invention points on the topicality of the problem of improving binder adhesion and it's validate assessment both in Ukraine, and abroad. **Goal.** There are a few national standards (*GOST 11508-74, DSTU B V.2.7-81-98, DSTU 8787:2018, DSTU EN 12697-11:2018*) that regulate the adhesion assessment of bitumen in Ukraine. The comparative analysis of adhesion values, founded by these methods, is a purpose of this research work. **Methodology.** Three mineral materials (quartzite, grey and red granite) of different grading are chosen for the tests. Bitumen modified by polymer, warm mix additive and a surfactant additive are used to evaluate the susceptibility of the test methods to the presence of these additives in bitumen due to the purpose of this research work. **Results.** The advantages and disadvantages of the analyzed methods are set due to the results of this research. It is found that difference in temperature ranks and mineral grading, set by test conditions, leads to the significant difference in adhesion values. **Originality.** The comparative analysis of test methods that regulates bitumen adhesion quality in Ukraine, and finding their advantages and disadvantages make the scientific originality of the presented research. **Practical value.** Due the research results, the advantage of adhesion value quantitative evaluation and its validity is set as a feature of adhesion test by the *DSTU B V.2.7-98* method in comparison with other test methods. The improvement of the *DSTU B V.2.7-98* method enables it to the modified bitumen adhesion assessment and makes the test results compatible with the European Rolling Bottle Test (*DSTU EN 12697-11:2018*) results.

Keywords: bitumen, adhesion, determination methods.

Pyrig Yan, S. 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

Galkin Andrey, S. 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. +38 067-799-64-32,
a.galkin0906@gmail.com

Порівняльне оцінювання адгезії бітумних в'язучих, яка визначена за методами, що нормуються національними стандартами України

Анотація. Для забезпечення високої якості асфальтобетонних покриттів, що застосовуються як частина асфальтобетону, бітумні в'язучі повинні характеризуватися високою когезією, мати гарну адгезію з поверхнею всіх кам'яних матеріалів, низьку температурну чутливість і високу стабільність властивостей під час здійснення технологічних операцій і тривалого періоду експлуатації покриття. Питання підвищення адгезійних властивостей бітумів і їх об'єктивного оцінювання є актуальними як в Україні, так і за кордоном, свідченням чого є постійно оновлювана номенклатура адгезійних домішок і нові методи оцінювання адгезії, що регулярно з'являються. В Україні для оцінювання якості адгезійних властивостей бітумних в'язучих використовуються методики, регламентовані кількома національними стандартами (ГОСТ 11508-74, ДСТУ Б В.2.7-81-98, ДСТУ 8787: 2018, ДСТУ EN 12697-11: 2018). Метою нашої роботи було порівняння значень адгезії, встановлених за чинними в Україні методиками. Для випробування були використані три кам'яні матеріали (кварцит, сірий і червоний граніт) різної гранулометрії. Для визначення чутливості прийнятих методів до наявності домішок, що є складовою частиною бітумних в'язучих, в роботі використовувалися в'язучі, отримані шляхом модифікації вихідного бітуму полімером, енергозберігальною та поверхнево-активною домішкою. Під час виконання роботи встановлені переваги та недоліки використаних в роботі методів. Встановлено, що значення адгезії, отримані різними методами

через відмінності у використовуваних температурних діапазонах випробувань і різниці в гранулометрії кам'яних матеріалів, істотно відрізняються. Науковою новизною роботи є зіставлення результатів адгезії, отриманих різними наявними в Україні методами, а також виявлені їх переваги і недоліки. На основі отриманих результатів встановлено, що метод оцінювання адгезії за ДСТУ Б В.2.7-98 щодо інших методів має значні переваги, що полягає в чисельному визначенні значень адгезії і об'єктивності їх встановлення. Удосконалення методу, наведеного в ДСТУ Б В.2.7-98, дозволить застосовувати його для оцінювання адгезії модифікованих в'язучих, а отримані результати можна буде порівняти зі значеннями адгезії, отриманими за загальноєвропейським методом обертання пляшки (ДСТУ EN 12697-11: 2018).

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

Піріг Ян Іванович, к.т.н., ст. наук. 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.

Галкін Андрій Володимирович, к.т.н., ст. наук. співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38 067-799-64-32, e-mail: a.galkin0906@gmail.com