

# К ВОПРОСУ О КАЧЕСТВЕ БИТУМА

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ ДОРОЖНОГО БИТУМА С АДГЕЗИОННЫМИ ДОБАВКАМИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ МИНЕРАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

**Определение адгезии, т. е. сцепления дорожного битума с поверхностью минерального материала, проводят для оценки способности битумных прослоек в асфальтобетоне противостоять проникновению воды на поверхность раздела битум/минеральный материал и ухудшению вследствие этого физико-механических характеристик и долговечности асфальтобетона.**

Для оценки сцепления вязкого дорожного битума, применяемого для асфальтобетона верхних слоев покрытий, используются как количественные, так и качественные методы [1, 2]. В России наибольшее распространение получил качественный метод для оценки сцепления битума с минеральными материалами и эффективности адгезионных добавок по ГОСТ 11 508-74 «Битумы нефтяные. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком». Ввиду того что для устройства верхнего слоя дорожного покрытия в большинстве случаев используются минеральные материалы из кислых горных пород, а природный песок не используется, то вместо мрамора в этом методе применяют гранитный материал фракции 2–5 мм. Сцепление вязкого дорожного битума с гранитным материалом определяется после 30 минут выдерживания в небурно кипящей дистиллированной воде частиц этого гранитного материала, покрытых битумом, путем сравнения их с контрольными образцами № 1, № 2, № 3. Для соответствия контрольному образцу № 3 менее  $\frac{3}{4}$  поверхности минерального материала должно быть покрыто битумной пленкой. Для соответствия контрольному образцу № 2 более  $\frac{3}{4}$  поверхности должно оставаться покрытой битумом после кипячения. Для соответствия контрольному образцу № 1 битумная пленка должна полностью сохраниться на поверхности минерального материала после кипячения. Кроме оценки сцепления по ГОСТ 11508-74, определить качество сцепления вязкого дорожного битума с поверхностью щебня можно по ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строитель-

ства. Методы испытаний». В этом качественном методе используется шесть зерен щебня размером не менее 10 мм. Битумную пленку на поверхности зерен получают погружением нагретых зерен щебня в вязкий битум, нагретый до технологической температуры 140–160°C. После выдерживания покрытых битумом зерен в течение 30 минут в небурно кипящей дистиллированной воде, извлечения и охлаждения, зерна осматривают и проводят оценку качества сцепления. При оценке пять баллов (отличное сцепление) пленка вяжущего полностью сохраняется на поверхности, при этом толщина ее местами может быть уменьшена. При оценке два балла (плохое сцепление) пленка вяжущего менее 50% сохраняется на поверхности щебня, на обнажившейся поверхности наблюдаются отдельные капельки битума.

Вышеприведенные качественные методы основаны на визуальной оценке степени покрытия поверхности минерального материала битумом после кипячения. Метод красителей [3] позволяет количественно оценить степень покрытия поверхности битумом в процентах от общей площади поверхности. Однако этот метод, основанный на способности минеральных материалов адсорбировать полярные молекулы красителя метиленового голубого, не учитывает адсорбцию красителя на поверхности посуды и измельчение минерального материала при встряхивании [4]. Погрешность, вносимая этими факторами в результаты определения, составляет 20–30% [4]. Авторы в статье [4] предлагают методику количественной оценки сцепления битума с минеральным материалом, основанную

на методике ГОСТ 11508-74. Количественная оценка сцепления проводится по остаточному содержанию битума на поверхности минерального материала в % от навески вязкого дорожного битума после кипячения частиц гранитного материала, покрытого битумной пленкой.

В Республике Беларусь нормируется коэффициент сцепления дорожного битума с гранитным щебнем со СТБ 1062-97 «Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия. Технические условия». Согласно методу, приведенному в СТБ 1062-97, за величину сцепления вяжущего и зерен гранитного щебня фракции 10–15 мм принимают отношение количества оставшихся после удара на пластине зерен щебня к общему количеству наклеенных на нее битумом зерен. Перед испытаниями пластину с наклеенными на нее зернами щебня выдерживают при 20°C в течение 60 минут. Этот количественный метод оценивает адгезию битума к поверхности щебня, поверхности металлической пластины и когезионную стойкость битумной прослойки, так как поверхность отрыва зерен щебня может быть поверхностью пластины, зерна или битумной прослойки.

В Украине используется количественный метод определения показателя сцепления с поверхностью стекла и каменных материалов [5, 6] по ДСТУ Б В. 2. 7-81-98 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Методы определения показателя сцепления с поверхностью стекла и каменных материалов». На поверхность стеклянной пластины размером 90×115 мм и толщиной 3 мм наносят слой вязкого битума, выдерживают в воде при температуре 85°C в течение 25 минут, вынимают пластину из воды и подсчитывают в процентах площадь, оставшуюся покрытой битумом после кипячения.

С точки зрения термодинамики, причиной адгезии является уменьшение свободной энергии на единице поверх-

ности адгезионного шва в изотермическом обратимом процессе [6]. Адгезия жидкости к поверхности твердого тела  $Wa$ , вследствие невозможности непосредственного определения поверхностного натяжения твердого тела  $\sigma_s$ , может быть рассчитана только косвенным путем:

$$Wa = \delta_2 (1 + \cos\theta)$$

где  $\delta_2$  и  $\theta$  – измеряемые величины соответственно поверхностного напряжения жидкости и равновесного краевого угла смачивания, образованного жидкостью с поверхностью твердого тела. Из-за гистерезиса смачивания, не позволяющего точно определить краевой угол, по этому уравнению обычно получают только весьма приближенные значения [6]. Кроме того, им нельзя пользоваться в случае полного смачивания, когда  $\cos\theta = 1$ .

Существуют различные теории адгезии [7]: теория механической адгезии, молекулярная, электрическая, диффузионная теория, адгезия, обусловленная химическим взаимодействием. Ввиду того, что битум является высокомолекулярным соединением, наиболее применимой к случаю адгезии на поверхности раздела битум / минеральный материал является молекулярная (адсорбционная) теория. В приложении к полимерам она получила развитие в работах Мак-Ларена [7], Эдвардса и де Жена [8] и других. Адсорбцию полимеров, по Мак-Ларену, можно разделить на две стадии: 1) миграция больших молекул из раствора или расплава к поверхности субстрата в результате броуновского движения; при этом полярные группы или группы, способные образовывать водородную связь, приближаются к соответствующим группам субстрата; 2) установление адсорбционного равновесия. Согласно Мак-Ларену, в аморфном состоянии полимеры обладают большей адгезией, чем в кристаллическом, вязкость адгезива не должна быть слишком малой, а степень его полимеризации должна лежать в пределах 50–300.

Формирование адсорбционного слоя асфальтенов на поверхности раздела битум / минеральный материал лежит в основе модели битумной пленки на минеральном зерне, предложенной И.В. Королевым [9]. В результате влияния поверхностных сил минерального зерна образуется ориентированный

слой битума, состоящий из твердообразной, структурированной и диффузной зон. Твердообразная зона, граничащая с поверхностью минерального материала, представляет собой адсорбционный слой, предельно насыщенный асфальтенами. Структурированная зона состоит из упорядоченно расположенных высокомолекулярных компонентов битума. Диффузная зона характеризуется слабым упорядочением высокомолекулярной части и переходит в съемный битум.

Согласно представлениям З.И. Сюняева о нефтяных дисперсных системах (НДС) и сложных структурных единицах (ССЕ) в них [10], дорожные битумы можно отнести к нефтяным дисперсным системам, а асфальтены и ассоциаты асфальтенов представляют собой сложные структурные единицы, адсорбционно-сольватные оболочки которых состоят из смол и жидких углеводородов. Введение в нагретый битум, находящийся в жидком состоянии, адгезионных добавок, которые представляют собой, как правило, растворы катионных азотсодержащих маслорастворимых ПАВ [2, 11], приводит к изменению растворяющей способности дисперсионной углеводородной среды. В масляной среде адгезионной добавки азотсодержащие ПАВ находятся в агрегированном состоянии и образуют обратные мицеллы с углеводородными хвостами, ориентированными в объем растворителя, и гидрофобными головками, ориентированными внутрь [11]. В битуме мицеллы ПАВ распределяются в его объеме, адсорбируются на границе раздела дисперсионная углеводородная среда / ССЕ на поверхности адсорбционно-сольватного слоя, снижают поверхностное натяжение поверхности слоя, при этом будет происходить изменение и стабилизация размеров ССЕ. Часть мицелл ПАВ, находящихся в углеводородной дисперсионной среде, будет принимать участие в солюбилизации полярных веществ-смол в масляной неполярной среде и процессе их растворения [11, 12]. При переходе ассоциатов асфальтенов (ССЕ) из объемного битума на поверхность минерального материала в процессе адсорбции, наличие азотсодержащих ПАВ и взаимодействие их мицелл с ассоциатами асфальтенов обеспечивают более плотную упаковку и упорядоченное расположение в твердообразной зоне битумной пленки ССЕ, взаимодействие и связи с поверхностью

каменного материала твердообразной зоны будут более сильными. Это увеличит адгезионную прочность на границе раздела, противодействие отслаивающему действию воды будет увеличиваться.

Для сопоставления количественных и качественных методов оценки сцепления битума с каменным материалом были выбраны три метода: качественный метод по ГОСТ 11508-74 (пассивное сцепление), количественный метод по ДСТУ Б В.2.7-81-98, а также количественный метод, изложенный в [4].

При определении показателя сцепления использовался дорожный битум БНД 60/90, гранитный материал фракции 2–5 мм ОАО «Павловскгранит», адгезионные, азотсодержащие, катионные добавки «Сондор» (марки А), «Амдор-10», Wetwfix BE, «Дорос АП». Данные адгезионные добавки относятся к группе высокоэффективных добавок, их свойства приведены в [2]. При проведении испытаний по ДСТУ Б В.2.7-81-98 в процедуру приготовления к испытаниям и их проведения были внесены некоторые изменения. Одним из обязательных условий при проведении испытания в соответствии с ДСТУ Б В. 2.7-81-98 является равномерное распределение битума по поверхности пластины. Лампа накаливания не обеспечивает выполнения этого условия, так как ее температуры недостаточно для оптимального нагрева вяжущего и битумная пленка с трудом распределяется по поверхности пластинки.

Для равномерного и аккуратного распределения вяжущего пластинка помещалась на цилиндрический керамический образец, находящийся в песчаной бане и нагретый до температуры 150°C. Распределение битума осуществлялось путем наклона пластины в разные стороны, при необходимости использовалась стеклянная палочка. Другое изменение связано с увеличением температуры воды при выдерживании пластины с битумной пленкой с 85°C до 100°C, так как при выдерживании в воде с температурой 85°C битумная пленка практически не отслаивается от поверхности стеклянной пластины. При небурном кипячении при температуре воды 100°C происходит отслаивание битума от поверхности пластины.

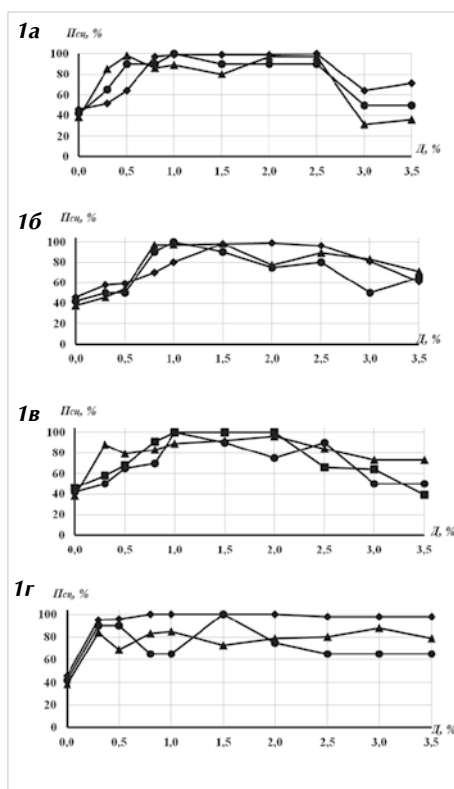


№ п/п	Наименование добавки	Метод определения сцепления	Показатель сцепления, при расходе добавок в % от массы битума								
			0,3	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
1	«Сондор» (марка А)	ГОСТ 11508-74	2→3	2→1	2→1	1	2→1	2→1	2→1	3	3
		ДСТУ Б В.2.7-81-98	52	64	97	99	99	99	100	64	71
		[4]	85	98	86	89	80	97	97	31	36
2	«Амдор-10»	ГОСТ 11508-74	3	3	2→1	1	2→1	2	2	3	2→3
		ДСТУ Б В.2.7-81-98	58	59	70	80	98	99	96	81	61
		[4]	46	54	97	97	98	77	89	83	71
3	Wetwfix BE	ГОСТ 11508-74	3	2→3	2	1	2→1	2	2→1	3	3
		ДСТУ Б В.2.7-81-98	58	68	91	100	100	100	66	64	39
		[4]	88	79	83	89	92	96	84	93	93
4	«Дорос-АП»	ГОСТ 11508-74	2→1	2→1	2→3	2→3	2→1	2	2→3	2→3	2→3
		ДСТУ Б В.2.7-81-98	95	96	100	100	100	100	98	98	98
		[4]	84	69	83	85	73	79	80	88	79

Результаты определения сцепления битума с адгезионными добавками с помощью различных методов приведены в таблице.

Цифры в таблице для метода по ГОСТ 11508-74 обозначают соответствие контрольному образцу, по ДСТУ Б В.2.7-81-98 – процент покрытия площади пластины битумом после кипячения, по [4] – характеризует потерю битума по массе в процессе кипячения частиц, покрытых битумной пленкой в процентах. Показатель сцепления битума, определенный по ДСТУ Б В.2.7-81-98, составляет 46%, по ГОСТ 11508-74 – соответствует образцу № 3, по [4] – 38% соответственно. Из таблицы видно, что между методами по ГОСТ 11508-74 и ДСТУ Б В.2.7-81-98 прослеживается сходимость результатов. Показатель сцепления, определенный по [4], в меньшей степени согласуется со значениями показателей сцепления, определенными по первым двум методам.

С целью возможности представить полученные результаты в виде графиков были введены следующие допущения для показателей сцепления, определенных по ГОСТ 11508-74. Поверхность гранитных частиц, покрытых битумом после выдерживания в кипящей воде, соответствующая контрольному образцу № 1, принята за 100%, соответствующая контрольному образцу № 2 – за 75%, контрольному образцу № 2→1 – 90%, контрольному образцу № 2→3 – 65%, контрольному образцу № 3 – за 50%. На иллюстрациях представлены зависимости показателей



**Зависимость показателя сцепления  $P_{св}$  от расхода  $\Delta$  адгезионных добавок**  
 1а – для добавки «Сондор» (марки А)  
 1б – для добавки «Амдор-10»  
 1в – для добавки Wetwfix BE  
 1г – для добавки «Дорос АП»

Определение показателя сцепления по:

- ◆ ДСТУ Б В.2.7-81-98
- ГОСТ 11508-74
- ▲ [4]

сцепления от расхода адгезионных добавок в битуме с учетом вышеуказанных допущений.

Для битума с добавкой «Сондор» марки А (рис. 1а) на участке с расходом добавки

0,3–0,8% разница значений показателя сцепления составляет 33–34%. При расходе добавки от 1,0 до 2,5% достигаются максимальные показатели сцепления по всем трем методам от 80% до 100%. Максимальная разница в значениях составляет 20%, при расходе добавки 1,5%, минимальная – 3% при расходе добавки 2,0%. На участке с расходом добавки 3,0–3,5% значения показателя сцепления изменяются от 31% до 71%, разница в значениях показателей составляет 33% и 35% соответственно.

Для битума с добавкой «Амдор-10» (рис. 1б) на участке с расходом добавки 0,3–0,8% разница значений показателя сцепления составляет 12–27%. При расходе добавки от 1,0 до 2,5% достигаются максимальные показатели сцепления по всем трем методам и составляют 75–100%. Максимальная разница в значениях составляет 24% при расходе добавки 2,0%, минимальная – 8% при расходе добавки 1,5%. На участке с расходом добавки 3,0–3,5% значения показателя сцепления изменяются от 50% до 83%, разница в значениях показателей составляет 10% и 33% соответственно.

Для битума с добавкой Wetwfix BE (рис. 1в) при расходе добавки от 0,3 до 0,8% разница значений показателя сцепления составляет 21–38%. Максимальные показатели сцепления достигаются на участке с расходом от 1,0% до 2,5% и составляют 66–100%. Максимальная разница составляет 34% при расходе добавки 2,5%, минимальная – 4,0% при расходе добавки 2,0%. На участке с расходом 3,0–3,5%

показатель сцепления снижается по всем трем методам и находится в пределах от 39% до 73%, разница в значениях показателя сцепления составляет 23% и 39%.

Для добавки «Дорос АП» (рис. 1г) при расходе добавки 0,3–0,8% показатель сцепления изменяется от 65 до 90%. Максимальные показатели сцепления достигаются на участке с расходом от 1,0% до 2,5% и составляют 65–100%. Максимальная разница составляет 35%, при расходе добавки 1,0%, минимальная – 25% при расходе добавки 2,0%. На участке с расходом добавки 3,0–3,5% значение показателя сцепления

изменяются от 65% до 98%, разница в значениях составляет 33%.

Обобщая вышеприведенные данные, можно сказать, что сходимость результатов определения показателя сцепления по трем рассмотренным способам изменяется по-разному для четырех рассмотренных адгезионных добавок. При некоторых расходах добавок значения показателя совпадают или отличаются незначительно, максимальная разница в значениях показателя сцепления составляет 38%. Разброс в значениях показателей можно объяснить энергетической неоднородностью поверхности стеклян-

ных пластинок, гранитных частиц, возможностью создать при кипячении однонаправленную циркуляцию воды, а также реакционной неоднородностью структуры битума с добавками. Такой разброс в показателях отражает фактическое состояние битума с адгезионными добавками и его способность образовывать битумные пленки на минеральных поверхностях с различными адгезионными возможностями.

**А.Б. Соломенцев,**  
канд. техн. наук, доцент  
**С.В. Бухтияров,**  
инженер

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адгезия [текст]: Adhasives Verhalten: [пер. с нем.] / Bitumen, 1970, Bd 32, № 8, s. 212–215, Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации. – Москва. – 1976. – 16 с.
2. Соломенцев А.Б. Адгезионные добавки для дорожных битумов и асфальтобетонов и оценка их эффективности [текст] / А.Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция, 2013. – № 1. – С. 81–85.
3. Колбановская А.С. Метод красителей для определения сцепления битума с минеральными материалами [текст] / А.С. Колбановская. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 32с.
4. Худякова Т.С. Количественная оценка сцепления дорожных битумов с минеральным материалом [текст] / Т.С. Худякова, Д.А. Розенталь, И.А. Машкова, А.В. Березников // Химия и технология топлив и масел, 1987. – № 6. – С. 35–36.
5. Золотарев В.А. Об оценке адгезии битума к поверхности минерального материала [текст] / В.А. Золотарев, Е.Н. Агеева // Технические, реологические и поверхностные свойства битумов. Избранные труды. Том 1 / В.А. Золотарев. – Санкт-Петербург: Славутич, 2012. – С. 95–98.
6. Соломенцев А.Б. Адгезионные свойства и когезионная прочность дорожного битума с ПАВ класса имидазонинов / А.Б. Соломенцев, В.В. Круть, В.В. Маляр, В.А. Золотарев // Наука и техника в дорожной отрасли, 1999. – № 1. – С. 22–23.
7. Энциклопедия полимеров, Т. 1. – М.: Советская энциклопедия, 1972. – С. 21–25.
8. Рогдулин В.И. Физикохимия поверхности: Учебник-монография [текст] / В.И. Рогдулин. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. – 568 с.
9. Королев И.В. О битумной пленке на минеральных зернах асфальтобетона [текст] / И. В. Королев // Автомобильные дороги, 1981. – № 7. – С. 23–24.
10. Сюняев З.И. Нефтяные дисперсные системы [текст] / З.И. Сюняев, Р.З. Сафиева, Р.З. Сюняев. – М.: Химия, 1990. – 226 с.
11. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение [текст] / К.Р. Лонге под науч. ред. Л.П. Зайченко. – СПб: Профессия, 2004. – 240 с.
12. Энциклопедия полимеров, Т. 2. [текст] – М.: Советская энциклопедия, 1974. – С. 674–675.