

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ

УДК 625.765, 625.8

В. В. Губа, канд. техн. наук, К. Р. Губа

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ИЗУЧЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЯЖУЩЕГО, ИСПОЛЪЗУЕМОГО В ХОЛОДНОЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Материалы, которые применяют в асфальтобетонной смеси, должны обеспечивать требуемую прочность, долговечность, а также экономичность. Это является одним из важных условий при выполнении работ по строительству, ремонту и содержанию автомобильных дорог. Так как органические вяжущие широко используются в дорожном строительстве, то и выдвигаемые к ним требования довольно разнообразны. Одно из основных требований – вязкость, которая оказывает влияние на подвижность и пластичность смеси. Правильно и качественно подобранное органическое вяжущее позволит всей асфальтобетонной смеси служить более длительный срок.

***Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, свойства органического вяжущего, вязкость органического вяжущего, дизельное топливо*

Введение

Асфальтобетонная смесь, которая применяется при ремонте автомобильных дорог, должна отвечать всем нормативным требованиям, как для самой смеси, так и для ее составляющих. Для выполнения этого условия необходимо особое внимание уделять высокому качеству дорожно-строительных материалов. Каждый материал, применяемый в асфальтобетонной смеси, выполняет особые функции, свойственные только этому материалу. При этом качество каждого отдельного материала определяется комплексом свойств, присущих только ему. Показатели качества как материалов в отдельности, так и асфальтобетонной смеси в целом, изменяются в зависимости от требований, выдвигаемых к качеству дорожной одежды и дорожного покрытия.

На современном уровне развития дорожной отрасли необходимо особое внимание уделять повышению качества дорожно-строительных материалов и не допускать их значительного удорожания. Удорожание дорожно-строительных материалов приведет к повышению цены на асфальтобетонную смесь, а также на дорожно-строительные работы. В настоящее время появляются новые материалы, которые могут применяться как самостоятельные материалы, так и компонентами в том или ином материале (новые типы асфальтобетонов и цементбетонов, улучшенные каменные материалы, новые вяжущие и добавки к ним, эмульсии и полимеры и т. д.). Естественно, что появление таких материалов влечет за собой изменения к требованиям по показателям качества материалов, разработку новых методов и лабораторных исследований по определению оценки качества, а также внесению изменений в нормативные документы. Необходимо отметить, что за основу определения всех качественных характеристик и показателей должны быть взяты классические подходы, а также нормативные документы.

Анализ публикаций

Анализ периодической, технической и нормативной литературы показал, что исследования возможности изменения качества органического вяжущего, используемого в асфальтобетонной смеси (горячей или холодной), проводятся различными учеными как отечественными,

так и зарубежными [1–5]. Исследования Г. К. Сюньи, Л. Б. Гезенцвейна, А. С. Колбановской, В. А. Золотарева, В. И. Братчуна, Л. А. Горельшевой, И. А. Рыбьева и других показывают, что органическое вяжущее, находящееся в асфальтобетонной смеси, подвергается постоянному изменению на разных уровнях эксплуатации. Эти изменения негативно влияют на качественные характеристики самого вяжущего, а также на асфальтобетонную смесь в целом [6, 7]. Поэтому к органическим вяжущим, входящим в состав асфальтобетонной смеси, необходимо выдвигать дополнительные требования: по качеству, долговечности, прочности, вязкости, хрупкости, устойчивости к агрессивной среде, к изменению температуры, устойчивости к старению.

Цель работы

Целью работы является изучение вязкости органического вяжущего, используемого в холодной асфальтобетонной смеси.

Основная часть

Органическое вяжущее – это термопластичное природное или искусственное вещество, которое имеет склеивающую способность и поэтому используется как связующий материал с минеральной частью смеси. Органические вяжущие вещества делят на три основные группы [7–9]:

- битумы природные и нефтяные;
- дегти каменноугольные, сланцевые, торфяные и древесные;
- полимеры полимеризационные и поликонденсационные.

Наиболее важными свойствами битумов, которые характеризуют их качество, являются [7–9]:

- вязкость, пластичность, температура размягчения и хрупкости;
- высокая адгезия, которая обуславливает способность битумов сцеплять в монолит минеральные зерна заполнителей;
- способность придавать гидрофобные свойства материалам, которые обработаны битумом.

Структурно-механические свойства битума характеризуются вязкостью, которая зависит от температуры и группового состава. Вязкость характеризуется способностью сопротивления внутренних слоев битума перемещению относительно друг друга. Также необходимо отметить, что вязкость непостоянна и имеет склонность к уменьшению при увеличении напряжения сдвига или градиента скорости деформации, а при отрицательных температурах битум вообще становится хрупким. Чтобы дать характеристику вязкости, используют условный показатель проникания иглы прибора (пенетromетра) в битум. Чем меньше проникание иглы в битум, тем вязкость битума больше.

При приготовлении холодной асфальтобетонной смеси необходимо обеспечить равномерное распределение всех компонентов смеси, а также процесса структурообразования, при котором происходит обволакивание поверхности минеральных материалов битумом. Оптимальное количество органического вяжущего в смеси напрямую связано с вязкостью битума, и в значительной степени влияет на процесс структурообразования [10].

Для холодных асфальтобетонных смесей вязкость является одним из главных показателей органических вяжущих, которые обеспечивают их эффективную работу в дорожном покрытии [11]. Практический опыт показал, что разреженные битумы с кинематической вязкостью менее 600 сСт образуют на поверхности минерального материала настолько тонкие пленки вяжущего, которые не обеспечивают необходимую клеящую способность смеси и соответствующую когезионную прочность уложенного слоя дорожного покрытия. При кинематической вязкости более 850 сСт существует опасность снижения подвижности смеси и наблюдается склонность к слеживанию [12]. Поэтому необходимо получить органическое

вяжущее с оптимальной вязкостью в пределах 600–850 сСт.

Вязкость дорожных битумов марок БНД 60/90 и БНД 90/130 достаточно высока, поэтому для ее снижения в битум вводилось дизельное топливо (ДТ). Нормативные требования (по качеству и составу), выдвигаемые к разжиженному модифицированному органическому вяжущему, должны соответствовать [13] и табл. 1, 2.

Таблица 1 – Нормативные требования к качеству органического вяжущего

Наименование показателя	Значение	Метод испытаний по нормативным документам
Условная вязкость при температуре 60 °С, с	20–35	ГОСТ 11503-74
Кинематическая вязкость при температуре 60 °С, сСт	600–850	ГОСТ 30491-2012
Сцепляемость вяжущего с поверхностью щебня не менее, %	96–100	ГОСТ 11508-74

Таблица 2 – Состав органического вяжущего

Наименование компонентов вяжущего	Содержание, % по массе
Битум нефтяной дорожный вязкий БНД 60/90, БНД 90/130	68,75–73,25
Дизельное топливо	24,50–28,50

Битум нефтяной дорожный вязкий БНД 60/90, БНД 90/130 должен соответствовать нормативным требованиям [11] и табл. 3.

Таблица 3 – Требования к битумам нефтяным дорожным вязким

Наименование показателя	Значение для марок		Метод испытаний по нормативным документам
	БНД 60/90	БНД 90/130	
Глубина проникания иглы (пенетрация) при температуре 25 °С, 0,1 мм	61–90	91–130	ГОСТ 11501-78
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	47–53	43–49	ГОСТ 11501-78
Растяжимость (дуктильность), см не меньше:			ГОСТ 11501-78
– при температуре 0 °С;	3,0	4,0	
– при температуре 25 °С	55	65	
Изменение массы после прогрева, %, не более	0,8	1,0	ГОСТ 11501-78
Остаточная пенетрация, %, не менее	60	55	ГОСТ 11501-78
Изменение температуры размягчения, °С, не более	6,0	6,0	ГОСТ 11506-79
Температура хрупкости, °С, не более	–12	–15	ГОСТ 11507-78
Температура вспышки, определенная в открытом тигле, °С, не ниже	230	230	ГОСТ 4333-2014
Сцепление со стеклом	Не нормируется. Определение обязательно для накопления данных		ГОСТ 11508-74
Массовая доля парафинов, %	Не нормируется. Определение обязательно для накопления данных		ГОСТ 17789-75
Растворимость в органическом растворителе, %, не менее	99,00	99,00	ГОСТ 20739-75
Индекс пенетрации	от –2,0 до +1,0		ГОСТ 22245-90

Дизельное топливо для разжижения вязкого нефтяного битума БНД 60/90, БНД 90/130 должно соответствовать нормативным требованиям [14].

Для приготовления разжиженного органического вяжущего был использован битум нефтяной дорожный БНД 60/90 Краснодарского нефтеперерабатывающего завода КраснодарЭкоНефть (АО «КНПЗ-КЭН»).

Определение пенетрации образца битума проводилось согласно нормативным требованиям [15]. Для определения глубины проникновения иглы были использованы следующие реактивы и оборудование:

- пенетрометр с иглой;
- чашка металлическая цилиндрическая с плоским дном, внутренним диаметром 55 ± 1 мм и внутренней высотой 35 ± 2 мм;
- баня водяная для термостатирования вместимостью не менее 10 дм^3 ;
- термометр жидкостной стеклянный с ценой деления шкалы $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, 1-го и 2-го классов точности;
- термометр ртутный стеклянный с диапазоном измерения температуры $0\text{--}360 \text{ }^\circ\text{C}$, с ценой деления $1 \text{ }^\circ\text{C}$.
- сосуд металлический плоскодонный вместимостью не менее $0,5 \text{ дм}^3$;
- сито с металлической сеткой № 07;
- чашка фарфоровая;
- палочка стеклянная;
- секундомер;
- растворитель;
- соль поваренная пищевая;
- кислота олеиновая.

Испытуемый образец битума нагрели до подвижного состояния. Затем обезвоженный и расплавленный битум процедили через металлическое сито и налили в две пенетрационные чашки таким образом, чтобы поверхность битума была не более чем на 5 мм ниже верхнего края чашки, и тщательно перемешали образец до полного удаления пузырьков воздуха. Чашки с битумом охладили на воздухе при температуре $22 \text{ }^\circ\text{C}$ в течении 75 мин, избегая попадания на образец пыли. После чего чашки с битумом термостатировали на водяной бане при заданной температуре в течение 70 мин.

Пенетрометр (рис. 1) установили горизонтально с помощью уровня, и проверили точность показаний. Для этого вынули иглу и произвольно опустили плунжер пенетрометра. Между плунжером и нижним концом рейки кремальеры вставили тарировочный стержень высотой 50 мм, установили стрелку на ноль, вынули тарировочный стержень и опустили рейку кремальеры до соприкосновения с верхним концом плунжера. Показания пенетрометра составляло 50 мм. Температура и условия испытания глубины проникновения иглы приведены в табл. 4 и соответствуют [15].

Таблица 4 – Температура и условия испытания глубины проникновения иглы

Температура испытания, $^\circ\text{C}$	Общая масса стержня, иглы и дополнительного груза, г	Время опускания иглы, с
$0,0 \pm 0,1$	$200,00 \pm 0,20$	60
$4,0 \pm 0,1$	$200,00 \pm 0,20$	60
$25,0 \pm 0,1$	$100,00 \pm 0,15$	5
$50,0 \pm 0,1$	$50,00 \pm 0,10$	5



Рисунок 1 – Определение вязкости битума (пенетрометр)

После окончания заданного времени выдерживания чашки с битумом вынули из водяной бани и поместили в плоскодонную посуду вместимостью $0,8 \text{ дм}^3$, которую наполнили водой. Высота жидкости над поверхностью битума составляла 10 мм, а температура воды в сосуде соответствовала температуре испытания.

Сосуд установили на столик пенетрометра и подвели острие иглы к поверхности битума так, чтобы игла слегка касалась ее (рис. 1). Правильность подвода иглы к поверхности битума проверили с помощью зеркала. Довели кремальеры до верхней площадки плунжера, несущего иглу, и установили стрелку на ноль. Затем одновременно включили секундомер и нажали кнопку пенетрометра, давая игле свободно входить в образец в течение 5 с, затем отпустили кнопку. После этого довели кремальеры вновь до верхней площадки плунжера с иглой и отметили показания пенетрометра.

Испытание повторили трижды в разных точках на поверхности образца, отстоящих от краев чашки и друг от друга не менее чем на 10 мм. После каждого погружения иглу вынимали из гнезда, отмывали ее растворителем и насухо вытирали по направлению острия. За результат испытания при $25 \text{ }^\circ\text{C}$ приняли среднее арифметическое значение трех результатов измерений. Расхождение между наибольшим и наименьшим измерением не превысило значений, указанных в табл. 5 [15].

Таблица 5 – Допустимые расхождения при определении глубины проникновения иглы

Глубина проникновения иглы (пенетрация) при $25 \text{ }^\circ\text{C}$, 0,1 мм	Допустимые расхождения между наибольшим и наименьшим измерением, 0,1 мм
< 50	2
50–150	4
150–250	6

Результаты измерений образцов битума БНД 60/90 округлили до целого числа и привели в табл. 6.

Таблица 6 – Результаты испытаний

Производитель и марка битума	№ испытания	Пенетрация (глубина проникновения иглы) P ₂₅ , 0,1 мм	Среднее значение
АО «КНПЗ-КЭН» БНД 60/90	1	53	54
	2	55	
	3	54	

Получение разжиженного органического вяжущего проводилось по методике описанной в [13]. В битум, предварительно нагретый до 120 °С, при постоянном перемешивании вводили дизельное топливо (ДТ), содержание которого составило: 24,5; 26,5; 28,5 % от массы битума. Не прекращая перемешивания, повысили температуру до 125–130 °С и выдержали органическое вяжущее в заданном режиме в течение 15 минут для равномерного совмещения всех его компонентов.

Для установления возможности применения полученного органического вяжущего для приготовления холодных асфальтобетонных смесей необходимо определить вязкость. Существует два основных показателя для определения вязкости жидких структурированных систем:

- динамическая вязкость (абсолютная) – это отношение силы, необходимой для сдвига слоя жидкости на единицу расстояния, к единице площади слоя;
- кинематическая вязкость, которая определяется отношением:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (1)$$

где ν – кинематическая вязкость вяжущего;
 μ – динамическая вязкость вяжущего;
 ρ – плотность вяжущего.

Определение динамической вязкости полученных разжиженных органических вяжущих проводили с помощью реометра DV-III ULTRA (рис. 2), который проводит измерения реологических характеристик структурированных систем.



Рисунок 2 – Реометр DV-III ULTRA

Данные измерений кинематической вязкости органического вяжущего при различном

содержании дизельного топлива приведены в табл. 7.

Таблица 7 – Результаты испытаний

Номер испытания	Содержимое ДТ, %	Значение кинематической вязкости, сСт			Среднее значение, сСт
1	24,5	1070	1068	1072	1070
2	24,5	1005	1008	1005	1006
3	24,5	972	972	969	971
4	26,5	839	839	836	838
5	26,5	751	748	751	750
6	26,5	678	680	676	678
7	28,5	705	705	708	706
8	28,5	605	601	603	603
9	28,5	484	480	482	482

Заключение

В ходе проведенного исследования и сравнения с нормативными и техническими документами можно сделать вывод, что битум в процессе эксплуатации теряет свои физико-механические свойства и необходимо их восстановление. Для восстановления свойств битума необходимо уделять внимание вязкости, которая отвечает за подвижность и пластичность холодной асфальтобетонной смеси. Лабораторные исследования подтверждают, что сцепляемость разжиженного органического вяжущего отвечает нормативным требованиям, выдвигаемым как битуму, так и холодной асфальтобетонной смеси.

Список литературы

1. Руденская, И. М. Состав, структура и физико-механические свойства нефтяных дорожных битумов / И. М. Руденская, А. В. Руденский // Вестник ХНАДУ. – 2017. – Вып. 79. – С. 17–21.
2. Технические, реологические и поверхностные свойства битумов. Избранные труды. Том 1 / В. А. Золотарев ; 1-е изд. – Санкт-Петербург : Славутич, 2012. – 148 с. – ISBN 978-5902857-06-8.
3. Теоретико-экспериментальные принципы получения дорожных бетонов на органических вяжущих повышенной долговечности с комплексно-модифицированной микроструктурой / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер [и др.] // Вестник ДонНАСА. – 2012. – Вып. 1(93). – С. 25–40.
4. Brule, B. De Nouveaux Resultats et des Propositions Concretes / B. Brule, S. Largeaud, M. Maze // Revue Générale des Routes. – 1998. – № 761. – P. 36–50.
5. Carswell, J. Etude des Essais de Fluage Repetes Comme Method Predictive de la Resistance a L'ornierage des Enrobes / J. Carswell, O. Moglia // Revue Générale des Routes. – 2003. – № 817. – P. 55–59.
6. Горельшева, Л. А. Органоминеральные смеси в дорожном строительстве / Л. А. Горельшева // Автомобильные дороги : обзорная информация. – Москва : Информавтодор, 2000. – Вып. 3. – 107 с.
7. Радовский, Б. С. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям / Б. С. Радовский, Б. Б. Телтаев. – Алматы : Білім, 2013. – 152 с.
8. Котлярский, Э. В. Научно-методические основы оценки структурно-механических свойств композиционных материалов на основе органических вяжущих / Э. В. Котлярский // Строительные материалы. – 2011. – № 10(682). – С. 36–41.
9. Колбановская, А. С. Дорожные битумы / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – Москва : Транспорт, 1973. – 261 с.
10. ГОСТ 11503-74. Битумы нефтяные. Метод определения условной вязкости : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 25 июля 1974 г. № 1771 : изменение № 4 принято Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 19 от 24.05.2001 г.) : взамен ГОСТ 11503-65. – Москва : Стандартиформ, 2008. – 4 с.
11. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 12.02.1990 г. № 191 : изменение № 1 принято Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 8 от 12.10.1995 г.) : взамен ГОСТ 22245-76. – Москва :

Стандартинформ, 1991. – 9 с.

12. Проектирование автомобильных дорог : Справочник инженера-дорожника / Под редакцией Г. А. Федотова. – Москва : Транспорт, 1989. – 437 с. – ISBN 5-277-00447-5.

13. ГОСТ 30491-2012. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве : протокол № 41 от 18.12.2012 г. : взамен ГОСТ 30491-97 / Разработан ФАУ «ФЦС». – Москва : Стандартинформ, 2013. – 15 с.

14. ГОСТ 305-2013. Топливо дизельное. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации : протокол № 44 от 14.10.2013 г. : взамен ГОСТ 305-82. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 10 с.

15. ГОСТ 11501-78. Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 06.09.1978 г. № 2457 : взамен ГОСТ 11501-73. – Москва : Стандартинформ, 2005. – 7 с.

В. В. Губа, К. Р. Губа
Автомобильно-дорожный институт
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка
Изучение вязкости органического вяжущего, используемого
в холодной асфальтобетонной смеси

В последнее время все чаще поднимается вопрос безопасного движения транспортных средств по автомобильным дорогам. Этот вопрос является актуальным, так как происходит длительная эксплуатация автомобильных дорог, дорожное покрытие которых в большей своей части не отвечает нормативным и эксплуатационными требованиями. Проведение своевременного и качественного ремонта дорожного покрытия является основной задачей всех дорожных организаций.

В настоящее время широкое применение получают технологии ремонта покрытий с применением нетрадиционных смесей на основе битумных, полимерных, полимербитумных, цементных и других специальных вяжущих материалов. При этом следует ориентироваться на рекомендации и результаты новейших разработок и имеющегося опыта.

Важнейшими свойствами битумов, характеризующими их качество, является вязкость, пластичность, температура размягчения и хрупкости. Также необходимо отметить высокую адгезию, которая обуславливает способность битумов сцеплять в единый монолит минеральные части заполнителей. Обработанные битумом минеральные материалы способны улучшать гидрофобные свойства. Основной характеристикой структурно-механических свойств битумов является вязкость, которая зависит от температуры и группового состава.

Одним из самых больших преимуществ холодной асфальтобетонной смеси является способность после приготовления длительное время оставаться подвижной и не слеживаться в условиях хранения в штабелях. Такой эффект достигается путем использования разрыхленных битумов с гораздо меньшей вязкостью, чем у тех, которые применяются в горячих асфальтобетонных смесях. Необходимо отметить, что дополнительно увеличение срока хранения в подвижном состоянии холодной асфальтобетонной смеси обеспечивает необходимое уплотнение, повышая когезионную прочность. Это позволяет использовать холодную асфальтобетонную смесь для проведения ремонтных работ в течение всего года, что чрезвычайно актуально, учитывая нынешнее состояние автомобильных дорог.

АСФАЛЬТОБЕТОННАЯ СМЕСЬ, СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЯЖУЩЕГО, ВЯЗКОСТЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЯЖУЩЕГО, ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

V. V. Guba, K. R. Guba
Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Study of the Organic Binder Viscosity Used in the Cold Mix Asphalt

Recently, the issue of the vehicles safe movement on the highways has been increasingly raised. This issue is relevant due to the long-term operation of roads, the road surface of which for the most part does not meet regulatory and operational requirements. So, the main task of all road organizations is to carry out timely and high-quality repair of the road surface.

Currently, the pavement repair technologies using non-traditional mixtures based on bituminous, polymeric, polymeric bitumen, cement and other special binders are widely used. At the same time, it is necessary to focus on the

recommendations and results of the latest developments and existing experience.

The most important properties of bitumen that characterize their quality are viscosity, plasticity, softening point and brittleness. It is also necessary to note the high adhesion, which determines the ability of bitumen to link the mineral parts of aggregates into a single monolith. Mineral materials treated with bitumen are capable of adding hydrophobic properties. The main characteristic of the structural and mechanical properties of bitumen is the viscosity, which depends on the temperature and group composition.

One of the biggest advantages of the cold mix asphalt is the ability, after preparation, to remain movable for a long time and not caking under stacked storage conditions. This effect is achieved by using thinner bitumen with a much lower viscosity than those used in the hot mix asphalt. It should be noted that the additional increase in the retention cycle in the mobile state of the cold asphalt concrete mix provides the necessary compaction, increasing the cohesive strength. This allows to use the cold asphalt mix for repair work throughout the year, which is extremely important, taking into account the current state of roads.

ASPHAL CONCRETE MIXTURE, ORGANIC BINDER PROPERTIES, ORGANIC BINDER VISCOSITY, DIESEL FUEL

Сведения об авторах:

В. В. Губа

SPIN-код РИНЦ: 7398-9000
Телефон: +7 (949) 367-31-88
Эл. почта: guba.viktoriya@mail.ru

К. Р. Губа

SPIN-код РИНЦ: 6818-8047
Телефон: +7 (949) 367-31-90
Эл. почта: guba.constantin@gmail.com

Статья поступила 17.10.2022

© В. В. Губа, К. Р. Губа, 2022

Рецензент: И. В. Шилин, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»