

11. Кореньков П. А. Анализ опасности прогрессирующего обрушения монолитного железобетонного каркаса 22-х этажного торгово-офисного центра в г. Севастополе / П. А. Кореньков, В. В. Жгина // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 44. – С. 14–22.
12. Конструктивная пожарная инженерия в управлении стадией проектирования высотного здания с учетом требований безопасности / В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова, А. С. Реснянская // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 141–144.
13. Fedorov V. S. Optimization in the management of investment and construction projects / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – No. 3(25). – Pp. 14–17.
14. Yu J. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages / J. Yu, K. H. Tan // Engineering Structures. – 2013. – Vol. 55. – Pp. 90–106.
15. Deng X.-F. Effects of high-strength concrete on progressive collapse resistance of reinforced concrete frame / X.-F. Deng, S.-L. Liang, F. Fu, K. Qian // Journal of Structural Engineering. – 2020. – Vol. 146, issue 6. – Article 04020078.
16. Alogla K. Theoretical assessment of progressive collapse capacity of reinforced concrete structures / K. Alogla, L. Weekes, L. Augustus-Nelson // Magazine of Concrete Research. – 2017. – Vol. 69, no. 3. – Pp. 145–162.
17. Shan S. Experimental study on the progressive collapse performance of RC frames with infill walls / S. Shan, Sh. Li, Sh. Xu, L. Xie // Engineering Structures. – 2016. – Vol. 111. – Pp. 80–92.

© П. А. Кореньков, В. В. Герман

Ссылка для цитирования:

Кореньков П. А., Герман В. В. Оценка влияния дополнительных связей при анализе опасности прогрессирующего обрушения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 3 (45). С. 11–15.

УДК 665.775.4
DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-15-22

СРАВНЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОРОЖНЫХ ВЯЖУЩИХ МЕТОДОМ ABCD

Д. Ю. НебрATENKO

НебрATENKO Дмитрий Юрьевич, кандидат химических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», Российский университет транспорта (МИИТ); доцент кафедры «Химия и технология переработки эластомеров», МИРЭА-Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (916) 936-35-81; e-mail: nebratenko@mail.ru

Вопросы безремонтной эксплуатации автомобильных дорог в условиях континентального климата, характерного для значительной части Российской Федерации, особенно остро стоят в зимний период. Использование нового подхода для определения температуры растрескивания битумных вяжущих (метод ABCD) позволило провести изучение низкотемпературных свойств исходного битума нефтяного дорожного вязкого БНД 70/100 и полученных на его основе двух марок полимерно-битумных вяжущих ПБВ 40 и ПБВ 60 (в южных регионах России). В результате проведенных исследований показана возможность обоснованного выбора типа и марки вяжущего, соответствующего реальным региональным условиям низкотемпературной эксплуатации автомобильных дорог, без предварительных знаний о компонентном составе, физико-химическом строении, а также эксплуатационных и реологических свойствах битумных вяжущих.

Ключевые слова: температура растрескивания вяжущих, метод ABCD, битумы нефтяные дорожные, бутадиен-стирольные термоэластопласты.

COMPARISON OF LOW-TEMPERATURE INDICATORS OF ROAD BINDERS BY THE ABCD METHOD

D. Yu. NebrATENKO

NebrATENKO Dmitriy Yuryevich, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department "Highways, Airfields, Bases and Foundations", Russian University of Transport (MIIT); Associate Professor of the Department "Chemistry and Technology of Elastomer Processing", MIREA-Russian Technological University, Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (916) 936-35-81; e-mail: nebratenko@mail.ru

The issues of maintenance-free operation of highways in the conditions of the continental climate characteristic of a significant part of the Russian Federation are particularly acute in winter. The use of a new approach for determining the cracking temperature of bitumen binders (ABCD method) allowed us to study the low-temperature properties of the initial bitumen of petroleum road viscous BND 70/100 and the two grades of polymer-bitumen binders PBB 40 and PBB 60 obtained on its basis, the use of which is most appropriate in the southern regions of Russia. As a result of the conducted research, the possibility of a reasonable choice of the type and brand of binder corresponding to the real regional conditions of low-temperature operation of highways is shown, without prior knowledge of the component composition, physico-chemical structure, as well as the operational and rheological properties of bitumen binders.

Keywords: cracking temperature of binders, ABCD method, petroleum road bitumen, styrene-butadiene thermoelastoplast (SBS polymer).

Введение

В практике современной дорожно-строительной деятельности под низкотемпературным растрескиванием понимают поперечные трещины, возникающие на примерно одинаковом расстоянии в асфальтобетонном покрытии под прямым углом к направлению движения. При этом предполагается, что вяжущие с большей жесткостью будут растрескиваться при более высоких температурах, чем более мягкие битумные вяжущие [1].

На текущий момент в мире не разработано ни одного прямого метода испытаний, который может точно спрогнозировать низкотемпературные свойства битумных вяжущих сложного состава на основании измерений, проведенных при значительно более высоких температурах, например, в нормальных условиях.

В случае проведения испытаний косвенными методами экстраполяция экспериментально установленных значений в итоговые расчетные показатели предполагает проведение дополнительных математических вычислений и преобразований, основанных на известных ранее тенденциях изменения свойств каких-либо других, но не реально исследуемых материалов. Поэтому практический интерес представляют именно прямые методы измерений, отражающие максимально близкие к действительным условия испытаний материалов, сопоставимые с реальными условиями эксплуатации. Такие данные являются основой для прогнозирования реальных технических, технологических и, что более важно, эксплуатационных свойств как сырьевых составляющих, так и конечных, сложных по составу, многокомпонентных композиционных материалов на их основе, а расширение практики их применения является весьма актуальной задачей.

Примером реализации такого подхода является используемая в данной работе методология оценки низкотемпературных свойств дорожных вяжущих прибором Asphalt Binder Cracking Device (далее – ABCD). Метод был разработан в начале 2000-х гг. профессором кафедры гражданского строительства Университета Огайо доктором Sang Soo Kim [2, 3]. Особенностью этого принципиально нового для российской дорожной отрасли метода испытаний является возможность определения потенциала низкотемпературного растрескивания битумного вяжущего без предварительных знаний о его составе и реологических свойствах [4–6]. Это особенно важно с практической точки зрения, поскольку активно внедряемые инновационные дорожные решения пока не вполне обеспечены кадрами, профессионально ориентированными во всем спектре новых материалов и технологий, а новизна метода

требует расширенных научных изысканий для расширения его практического применения.

В условиях реальной эксплуатации автомобильных дорог под действием сжимающих усилий, возникающих в дорожном покрытии при понижении температуры, происходит усадка битумного вяжущего и вызываемое ею растрескивание асфальтобетонного покрытия. При этом наблюдается повреждение адгезионной прослойки между частицами каменного заполнителя с последующим разрушением всего массива асфальтобетона. Задача метода ABCD – достоверно зафиксировать предельные температурные условия протекания указанного процесса для конкретного образца исследуемого вяжущего. При этом методология ABCD позволяет принимать аргументированные решения непосредственно на месте проведения работ по итогам прямых испытаний битумных вяжущих.

Целью настоящего исследования являлось изучение низкотемпературных свойств вяжущих различных типов: битума нефтяного дорожного вязкого и полученных на его основе полимерно-битумных вяжущих различных марок. С практической точки зрения *основная задача* состояла в определении нижнего предела работоспособности вяжущего и его зависимости от исходного компонентного состава, что позволяло наглядно оценить разницу эксплуатационных свойств обычных (ординарных) и модифицированных связующих.

Методика работы с ABCD достаточно проста и вполне доступна персоналу дорожной лаборатории. Испытательное устройство с битумным вяжущим помещают в криокамеру и за счет понижения температуры воздуха иницируют сжатие испытуемого вяжущего материала до момента образования поперечной трещины в месте ее инициации [3–5]. С помощью этого можно оценить преимущества конкретного вяжущего или модификатора, применяемого для регулирования низкотемпературных свойств окисленных дорожных вяжущих.

Основная часть

В исследовании главным вяжущим был битум нефтяной дорожный вязкий БНД 70/100 (табл. 1) [7].

Полимерным модификатором являлся линейный бутадиен-стирольный термоэластопласт (БС ТЭП, СБС-полимер, термоэластопласт) марки СБС Л 30-01 А, производимый на АО «Воронежсинтезкаучук» [8].

В состав полимерно-битумного вяжущего (далее – ПБВ) были дополнительно введены пластификаторы: парафинафтоновые масла и низкомолекулярные смолы, обеспечивающие набухание бутадиен-стирольных термоэластопластов. Это привело к образованию трехмерной полимерной сетки термоэластопласта, проникающей

в асфальтобетонный каркас по всему объему вяжущего. При этом важно было оценить количество мальтеновой фазы в составе базового битума путем анализа компонентного состава исходного

битума (например, по методу S.A.R.A.) и используемых пластификаторов предварительно, еще до модификации битума [9].

Таблица 1

Физико-механические свойства вязких нефтяных дорожных битумов

Наименование показателя	БНД 70/100, ГОСТ 33133-2014	Методы испытаний
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С	81	ГОСТ 33136
Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	49	ГОСТ 33142
Растяжимость, см, при 0°С	3,7	ГОСТ 33138
Температура хрупкости, °С	-19	ГОСТ 33143
Температура вспышки, °С	280	ГОСТ 33141
Изменение массы образца после старения, %	0,3	ГОСТ 33140
Изменение температуры размягчения после старения, °С	7	ГОСТ 33142

В данном случае в составе ПБВ 60 применено индустриальное масло И-20 (5 % масс.) [10]. При изготовлении ПБВ 40 в качестве пластификатора-мягчителя был использован талловый пек (до 7 масс. %) [11]. С целью улучшения взаимодействия с поверхностью щебенистых материалов в состав модифицируемых вяжущих вводилась адгезионная добавка «Амдор 20Т» в количестве 0,3 % [12].

Реологические параметры пластификаторов контролировали на реометре Брукфильда (рис. 1).

Испытания проводились в вытяжном лабораторном шкафу при нормальных условиях [13].

Применение реометра на стадии оценки качественных показателей сырья тем более оправдано, что позволяет использовать в производственных расчетах полученные значения вязкости для оценки температуры, времени и способа подачи пластифицирующего агента в рабочую емкость.



Рис. 1. Типовые значения вязкости (в сантипуазах) и точности измерения (%) для индустриального масла И-20 (слева) и таллового пека (справа)

Гомогенизация компонентов проводилась лабораторным диспергатором IKA Ultra-Turrax T25 digital [14]. После перемешивания битума с жидкими компонентами при температуре 140–160 °С в емкость в количестве 3,5 % масс. равномерными дозами вводился гранулированный термоэластопласт.

В течение первых 15 минут частота вращения ротора не превышала 10 тыс. об./мин. При этом происходило измельчение частиц СБС-полимера в зазоре режущей насадки диспергатора с целью увеличения удельной поверхности БС ТЭП и улучшения массообменных процессов с жидкой битумной фазой.

Затем, при частоте вращения ротора не выше 3 тыс. об./мин. и температуре 60–80°С, около трех часов протекала стадия набухания полимера в битумном вяжущем и образование трехмерной сетчатой полимерной структуры. Уменьшение

интенсивности вращения ротора в последнем случае способствовало снижению тепловыделения, а общее понижение температуры проведения процесса – исключению преждевременного переокисления компонентов вяжущего. Значительная продолжительность заключительной стадии объясняется необходимостью завершения процесса набухания БС ТЭП в мальтеновой фазе, чему так же препятствуют излишние сдвиговые деформации при интенсивном вращении ротора. Полученные ПБВ соответствовали требованиям ГОСТ Р 52056-2003 (табл. 2).

Определение низкотемпературных показателей было проведено на испытательном оборудовании ABCD 8.0 (ООО «Инфратест») в соответствии с ГОСТ Р 58400.11-2019 [15]. Его основной измерительный элемент состоял из металлического кольца (сплав из 36 % никеля и 64 % железа называется инвар). Вокруг кольца, внутрь

которого были помещены датчики температуры и деформации, расположена оболочка из силиконовой резины. Зазор между кольцом и резиной заполнялся вязущим, нагретым до

90–100 °С. Затем измерительная система охлаждалась до комнатной температуры и образцы помещались в криокамеру [3].

Таблица 2

Показатели полимерно-битумных вязущих ПБВ-40 и ПБВ-60

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 52056-2003 для ПБВ-40	Фактические значения для ПБВ-40	Требования ГОСТ Р 52056-2003 для ПБВ-60	Фактические значения для ПБВ-60
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, не менее, при 25 °С	40	41	60	63
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, не менее, при 0 °С	25	26	32	33
Растяжимость, см, не менее, при 25 °С	15	63	25	94
Растяжимость, см, не менее, при 0 °С	8	18	11	19
Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	56	86	54	79
Температура хрупкости, °С	-15	-29	-20	-21
Температура вспышки, °С	230	288	230	290
Эластичность, %, не менее, при 25 °С	80	93	80	95
Эластичность, %, не менее, при 0 °С	70	73	70	72
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С, не более (по абсолютной величине)	5	3	5	3
Однородность	Однородно			

При понижении температуры битумное вязущее сжималось на порядок интенсивнее, чем металлическое кольцо из инвара. Это объяснялось тем, что сплав инвар обладал уникально низким коэффициентом теплового расширения. Поэтому инвар сохранял свои геометрические размеры неизменными в широком диапазоне температур – от -90 до +250 °С. Коэффициент теплового расширения инвара весьма низкий и составлял $1,2 \cdot 10^{-6}$ °С [3, 16].

Скорость охлаждения образцов в криокамере фиксировалась в °С/ч непосредственно для каждого температурного датчика (рис. 2).

Видно, что скорость охлаждения образцов вязущих на начальной стадии резко росла, но после возврата на уровень -20 °С/ч осталась практически постоянной. Можно отметить, что примерно через один час скорость деформации стала линейной (рис. 2).

Вероятно, это вызвано ослаблением напряжений в битумном вязущем. Без релаксации можно было бы ожидать, что тепловое напряжение достигнет гораздо больших значений при той же скорости охлаждения.

Профессор Н. Bahia с другими исследователями [17] отмечал, что скорость охлаждения, которую можно рассматривать как скорость деформации, оказывает значительное влияние на прочность вязущего. Скорость деформации влияет на напряжение и релаксационные возможности асфальтобетонной смеси, поскольку чем быстрее происходит деформация, тем меньше времени остается у битума на релаксацию внутренних напряжений. Следовательно, более быстрое охлаждение привело бы к боль-

шей интенсивности низкотемпературного растрескивания. Реалистичные скорости охлаждения, соответствующие реальным условиям эксплуатации, не превышают 2 °С/час [16, 17]. Однако при такой скорости охлаждения, продолжительность лабораторных испытаний становится излишне длительной, а сами испытания – неоправданно дорогостоящим. Поэтому охлаждение тестовой системы проводится при достаточно низких скоростях, соответствующих требованиям ГОСТ Р 58400.11-2019 [15].

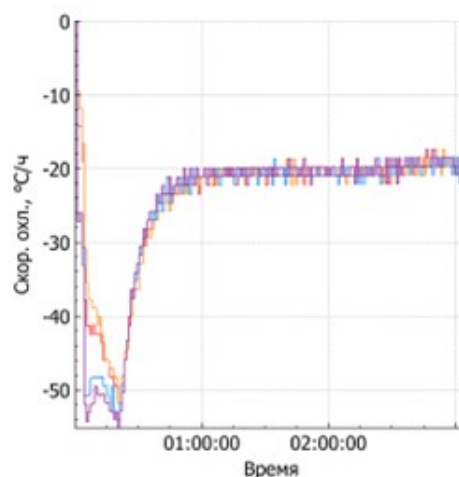


Рис. 2. Скорость охлаждения образцов в ходе проведения испытаний

Необходимо обратить внимание, что конструкция и программное обеспечение устройства ABCD 8.0 позволяет не только наблюдать кинетику изменения температуры слоя битумного вязущего, но и фиксировать функцию от-

клика изменения прочностных свойств тестируемого вяжущего в процессе снижения температуры одновременно у восьми образцов.

Прибор ABCD непосредственно фиксирует момент трещинообразования и определяет температуру образования трещины (T_{ABCD}) в каждом из четырех/восьми/двенадцати исследуемых образцов (в зависимости от комплектации прибора ABCD [18]). При этом температура растрескивания ($T_{раст.}$), с учётом поправочного коэффициента, может быть определена по формуле [15]:

$$T_{раст.} = 1,07 \times T_{ABCD} + 10,9,$$

где T_{ABCD} – непосредственные показания температурного датчика в ходе проведения испытаний.

Необходимо отметить, что работы по уточнению подхода к вариантам пересчета T_{ABCD} в $T_{раст.}$ в настоящий момент продолжаются.

Величину разрушающего образец напряжения оценивают по формуле [3]:

$$\sigma_{AC} = K \times F_{ABCD} / A_{AC};$$

причем $F_{ABCD} = \epsilon \times E_{ABCD} \times A_{ABCD}$,

где σ_{AC} – механическое напряжение разрушения образца вяжущего (Па); F_{ABCD} – усилие в поперечном сечении кольца в момент образования трещины (Н); A_{AC} – площадь поперечного сечения кольца испытываемого битумного вяжущего ABCD (m^2), для геометрии испытываемого образца $A = 4,03225 \times 10^{-5} m^2$; K – коэффициент концентрации напряжения (для данных размеров образца и выступа на силиконовой форме $K = 2,0$); E_{ABCD} – модуль упругости кольца ABCD (Па), для

геометрии кольца ABCD $E = 140 \times 10^9$ Па; ϵ – скачок напряжения (μS).

Скачок деформации (ϵ) на указанном типе прибора определяется как разница между деформациями датчика устройства до и после термического растрескивания образца и представляет собой величину деформации, которую образец высвобождает при растрескивании.

Для кольцевой геометрии ABCD напряжение разрушения испытываемого образца вяжущего (в МПа) можно рассчитать путем умножения скачка деформации, возникающего при температуре растрескивания, на множитель, равный 0,157 [19].

Все рассмотренные выше показатели прибор ABCD выгружает в виде типового отчета, состоящего из таблицы и графика (рис. 3).

В таблице 3 приведены количественные значения низкотемпературных показателей, определенные методом ABCD для исходного битума БНД 70/100 и двух марок ПБВ (ПБВ 60 и ПБВ 40) на его основе. Графически указанные зависимости представлены на рисунках 3 и 4.

При исследовании БНД 70/100 наблюдается высокая сходимость показателей для всех образцов (рис. 3). Видно, что физические процессы во всех четырех образцах протекают аналогичным образом, с достаточно низким стандартным отклонением от среднего по всем фиксируемым показателям (табл. 3). Стандартное отклонение колеблется от 0,11 до 0,72%.

Таблица 3

Низкотемпературные показатели исходных битумных вяжущих

Номер датчика	$T_{ABCD}, [^{\circ}C]$	$T_{раст.}, [^{\circ}C]$	$\epsilon, [\mu S]$	$\sigma_{AC}, [MPa]$	Скорость охлаждения, $[^{\circ}C/ч]$
Исходный битум БНД 70/100					
1	-34,82	-26,36	10,73	1,69	20,33
2	-35,51	-27,10	9,35	1,47	20,38
3	-34,94	-26,48	10,88	1,71	20,14
4	-34,36	-25,86	9,87	1,55	20,17
Среднее значение	-34,91	-26,45	10,21	1,60	20,25
Стандартное отклонение, %	0,47	0,51	0,72	0,11	0,12
ПБВ 40 на БНД 70/100					
1	-44,65	-36,88	33,94	5,34	19,95
2	-48,31	-40,79	37,15	5,84	19,98
3	-47,81	-40,25	43,65	6,86	20,16
4	-45,71	-38,01	32,68	5,14	19,88
Среднее значение	-46,62	-38,98	36,86	5,79	19,99
Стандартное отклонение, %	1,73	1,85	4,91	0,77	0,12
ПБВ 60 на БНД 70/100					
1	-44,02	-36,20	26,25	3,97	19,96
2	-44,42	-36,63	28,20	4,43	20,04
3	-42,69	-34,78	24,82	3,90	19,84
4	-46,15	-38,48	21,59	3,39	20,00
Среднее значение	-44,32	-36,52	24,97	3,92	19,96
Стандартное отклонение, %	1,43	1,53	2,71	0,43	0,09

Установлено, что для данного состава ПБВ 60 при понижении температуры ниже $-40^{\circ}C$ в объеме полимерно-битумной композиции наблюдается накопление остаточных температурных деформаций, рассеиванию которых даже в высокоэластичных сегментах полимерной цепи СБС-полимеров препятствует низкая скорость релаксации (рис. 4).

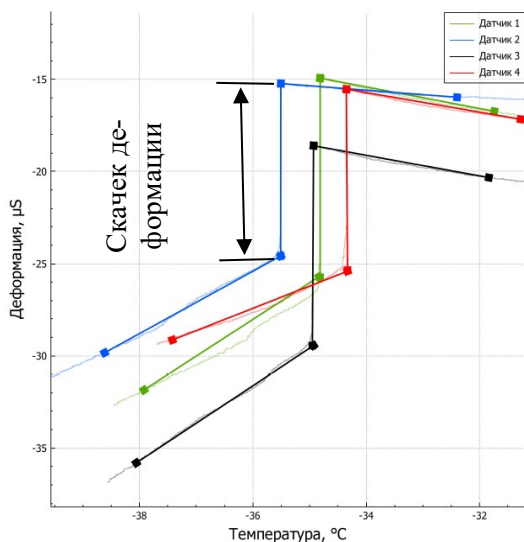
При достижении критической температуры (от $-42,69$ до $-46,15^{\circ}C$ для ПБВ 60) происходит

резкий скачок деформации и разрушение пленки вяжущего, причем среднее напряжение ее разрушения составляет 3,92 МПа. Дальнейшее понижение температуры не оказывает влияния на деформационные свойства разрушенного образца связующего, и ПБВ ведут себя как условно твердые тела [3]. Это хорошо коррелирует с ранее представленными теоретическими обосновани-

ями и практическими данными об эффективности бутадиен-стирольных термоэластопластов в качестве модификаторов низкотемпературных свойств битумных вяжущих [1, 20].

Понижение температуры растрескивания для ПБВ по сравнению с аналогичными показате-

лями для исходного битума на 30–35 % объясняется образованием трехмерной эластомерной сетки во всем объеме полимерно-битумного вяжущего (табл. 3). Именно благодаря ее наличию происходит диссипация энергии от деформаций, возникающих в следствие температурных напряжений при охлаждении исследуемого вяжущего.



№№№ образца	1					
№№№ образца материала	БНД 70/100					
№№№ образца (проба)						
Дата проведения испытания	2023-04-20 14:23					
Описание						
Метод	ГОСТ Р 59400.11-2019					
Организация	ИНФРАТЕСТ					
№№№№№ оборудования	ABC8 8.0					
Датчик	Темп. [°C]	Темп. [°C]	ΔL [м]	F _{max} [МН]	Мод. мод. [К/м]	Модуль, г
1	24.82	26.38	10.39	1.69	20.53	0.00
2	25.53	27.10	9.35	1.47	20.38	0.00
3	24.94	26.48	10.88	1.71	20.14	0.00
4	24.36	25.88	9.87	1.55	20.17	0.00
Среднее значение	24.91	26.45	10.21	1.60	20.25	0.00
Стандартное отклонение	0.47	0.51	0.72	0.11	0.12	0.00
Мин. деформация	1.15	1.24	1.33	0.24	0.24	0.00

$$T_{\text{растр.}} = 1.07 \cdot T_{\text{ABC8}} + 10.9; \sigma_{\text{AC}}^2 = K \frac{E_{\text{ABC8}} \Delta L_{\text{ABC8}}}{A_{\text{AC}}} = K \frac{E_{\text{ABC8}} \Delta L_{\text{ABC8}}}{A_{\text{AC}}}, \text{ где } K = 2$$

$$E_{\text{ABC8}} = 140 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

$$A_{\text{ABC8}} = 2.26451 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$A_{\text{AC}} = 4.03225 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

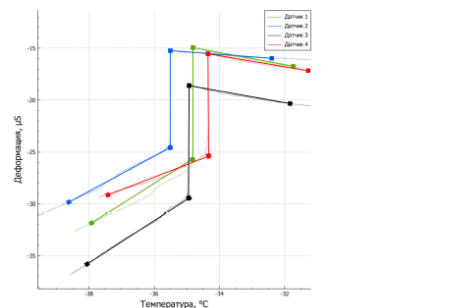


Рис. 3. Деформационные температурные зависимости для четырех дублирующих образцов исходного БНД 70/100 (слева) и пример типового отчета прибора ABC8 8.0 (справа).

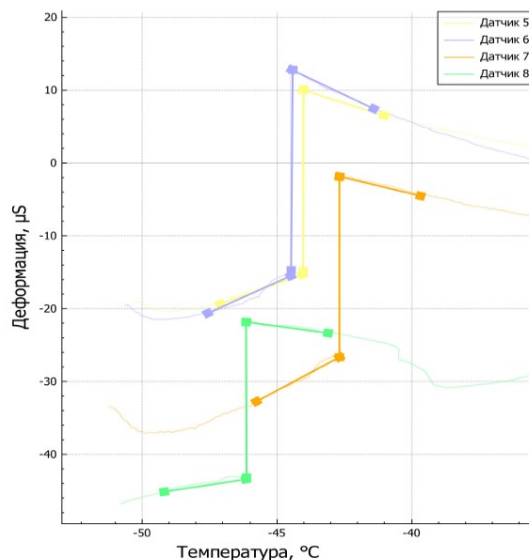
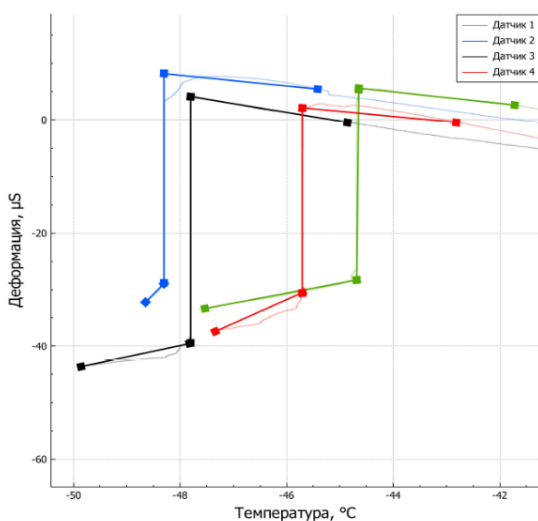


Рис. 4. Температурные зависимости деформации образцов ПБВ 40 (слева) и ПБВ 60 (справа), определенные методом ABC8

В случае применения в качестве тестовых образцов ПБВ 40 установленные для ПБВ 60 зависимости соблюдаются (рис. 4). Очевидно, что снижение предельной температуры эксплуатации до уровня $-38,98 \text{ }^\circ\text{C}$ объясняется влиянием компонентного состава вяжущего. Так, при снижении содержания БС ТЭП и увеличении процентного содержания пластификатора температура растрескивания у исследуемых образцов ПБВ 40

заметно ниже (на 7–10 %), чем для ПБВ 60. Указанное обстоятельство объясняется использованным типом пластификатора – талловым пекком, обладающим большей молекулярной массой и не пластифицирующими, а смягчающими свойствами, но мало деградирующими при перегреве. Поскольку талловый пек является продуктом лесотехнической переработки, то его ис-

пользование в дорожном строительстве является экологически полезным. Эколого-экономический эффект от применения подобного рода «зеленых» пластифицирующих веществ имеет экономия нефтяных ресурсов и продуктов нефтепереработки, используемых на объектах дорожного строительства.

Заключение

Несмотря на прогнозируемое глобальное потепление, условия эксплуатации автомобильных дорог на всей территории России в осенне-зимний период остаются достаточно сложными [21]. Рассмотренные в настоящей работе результаты практического применения нового метода оценки низкотемпературных показателей вяжущих, нормируемого в России ГОСТ Р 58400.11-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы, вяжущие нефтяные битумные. Метод

определения температуры растрескивания при помощи устройства ABCD» показали, что даже на этапе входного контроля вяжущих материалов когда их свойства довольно далеки от реально приобретаемых в ходе высокотемпературной переработки при изготовлении асфальтобетонных смесей и последующей многолетней эксплуатации дорожных покрытий полученные результаты позволяют обоснованно прогнозировать эффективность применения на дорогах общего пользования вяжущих разного состава, в том числе модифицированных СБС-полимерами.

Благодарность

Автор выражает благодарность ООО «Инфратест» за помощь в проведении испытаний вяжущих.

Список литературы

1. Гохман Л. М. Дорожный полимерасфальтобетон / Л. М. Гохман. – Москва : Экон-Информ, 2017. – 477 с.
2. Kim S.-S. Development of an asphalt binder cracking device / S.-S. Kim. – Athens, Ohio : Ohio University, 2007. – 40 p.
3. Kim. S.-S. Direct Measurement of Asphalt Binder Thermal Cracking / S.-S. Kim // ASCE Journal of Materials in Civil Engineering. – 2005. – Vol. 17 (6). – Pp. 632–639.
4. Небрятенко Д. Ю. Метод определения температуры растрескивания битумных вяжущих (ABCD) : методические рекомендации к лабораторным работам / Д. Ю. Небрятенко, Н. А. Лушников, В. Е. Николаевский, В. В. Савицкий. – Москва : РУТ (МИИТ), 2021. – 32 с.
5. Небрятенко Д. Ю. ABCD – метод оценки низкотемпературного поведения дорожных вяжущих / Д. Ю. Небрятенко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1 (39). – С. 37–41.
6. Майданова Н. В. Об оценке низкотемпературных свойств битумных вяжущих / Н. В. Майданова, Д. Е. Егоров, А. В. Боев, И. А. Красоткина, Т. В. Дударева // Мир дорог. – 2022. – № 143. – С. 64–69.
7. Паспорт № 4748 2522061 от 06.11.2022 АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-МОСКОВСКИЙ НПЗ» на соответствие битума нефтяного дорожного марки БНД 70/100 требованиям ГОСТ 33133-2014.
8. Мурзин В. С. Дивинил-стирольные термоэластопласты как основа композиций / В. С. Мурзин, Е. В. Нечипоренко, С. В. Котова и др. // Каучук и резина. – 2021. – Т. 80, № 1. – С. 16–19.
9. Исаков А. М. Влияние группового состава темных кубовых остатков и условий их окисления на свойства битумных вяжущих / А. М. Исаков, В. М. Капустин, Д. Ю. Небрятенко, С. В. Ступак // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2022. – № 1. – С. 40–48.
10. Индустриальное масло И-20 ГОСТ 20799-88 // ООО «Газпромнефть-СМ». – Режим доступа: <https://gazpromneft-oil.ru/ru/products/plastic/i-20a>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
11. Паспорт № 85 от 22.11.2022 ООО «Янтарный поток» на соответствие требованиям СТО 16217983-006-2018 «Пек талловый».
12. Добавка адгезионная дорожная «АМДОР-20Т» СТО 35475596-004-2020 // ООО «Амдор». – Режим доступа: <https://amdor.ru/produkcija/adgezionnye-dobavki/dobavka-adgezionnaya-dorozhnaya-amdor-20t/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Крупенникова В. Е. Определение динамической вязкости на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+ Pro Методические рекомендации к лабораторной работе / В. Е. Крупенникова, В. Д. Раднаева, Б. Б. Танганов. – Улан-Удэ : ВСГТУ, 2011. – 48 с.
14. ИКА Диспергаторы // ИКА. – Режим доступа: <https://www.ika.com/ru/Products-LabEq/Dispersers-pg177/T-25-digital-ULTRA-TURRAX-3725000/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. ГОСТ Р 58400.11–2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения температуры растрескивания при помощи устройства ABCD. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 16 с.
16. Hesp S. An Improved Low-Temperature Asphalt Binder Specification Method, Final Report / S. Hesp // NCHRP-IDEA. – 2004. – Contract no. 84. – 34 p.
17. Bahia H. U. Classification of asphalt binders into simple and complex binders / H. U. Bahia, W. P. Hislop, H. Zhai, A. Rangel // Proc. Assn. of Asphalt Paving Technologists. – 1998. – Vol. 67. – Pp. 1–41.
18. Устройство для растрескивания асфальтового вяжущего ABCD // ООО «Инфратест». – Режим доступа: <https://inftratestrus.ru/catalog>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
19. Olard F. Fracture toughness and fracture energy of bituminous binders at low temperatures / F. Olard, H. Di Benedetto // Proceedings of the 5th international RILEM conference on reflective cracking in pavements. – 2004. – Vol. 37. – Pp. 359–366.
20. Nikolaevsky V. Evaluation of low-temperature properties of mixtures of bitumen and SBS polymers of various topologies by the ABCD method / V. Nikolaevsky, P. Duzhiy, D. Nebratenko // Vojnotehnički Glasnik. – 2023. – Vol. 71, issue 3. – Pp. 711–721.



21. Бузиков Ш. В. Исследование эффективности применения уплотняющих машин при формировании дорожных покрытий с учетом напряженно-деформированного состояния асфальтобетонных слоев / Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. –2022. – № 3 (41). – С. 22–27.

© Д. Ю. Небратенко

Ссылка для цитирования:

Небратенко Д. Ю. Сравнение низкотемпературных показателей дорожных вяжущих методом ABCD // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 3 (45). С. 15–22.

УДК 697.245.37

DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-22-27

**К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЛУЧИСТЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ
ОТ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ**

Е. С. Аралов, В. Н. Мелькумов, Б. М. Кумицкий, С. В. Чуйкин

Аралов Егор Сергеевич, аспирант, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru;

Мелькумов Виктор Нарбенович, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: ser.chu@mail.ru;

Кумицкий Борис Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: boris-kum@mail.ru;

Чуйкин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: ser.chu@mail.ru

Экологическая составляющая определения плотности лучистых тепловых потоков от линейных излучателей имеет первостепенное значение особенно при рассмотрении вопросов безопасности и здоровья людей, находящихся в рабочей зоне производственного помещения. Лучистое тепло, если его не контролировать должным образом, может представлять несколько рисков, поэтому разработка надежного и точного метода расчета лучистого теплового потока в таких ситуациях необходима для обеспечения безопасной рабочей среды. Основные проблемы, связанные с определением плотности данного вида потоков от излучателей линейной длины, связаны со сложностями лучистого теплообмена, свойствами излучателя и конкретными условиями окружающей среды. Ставится задача разработать надежный и воспроизводимый метод расчета плотности теплового потока от таких излучателей при различных условиях. При создании модели были сделаны некоторые допущения, в том числе линейность излучателя, однородность среды, через которую излучается тепло, и применение закона Стефана – Больцмана в качестве основного руководящего принципа. Радиационные свойства используемых материалов также предполагались постоянными в диапазоне рабочих температур.

Ключевые слова: лучистое отопление, тепловое излучение, инфракрасная радиометрия, фотоны, линейный источник.

**TO THE METHOD OF DETERMINING THE DENSITY OF RADIANT HEAT FLUX
FROM LINEAR EXTENDERS**

Ye. S. Aralov, V. N. Melkumov, B. M. Kumitskiy, S. V. Chuykin

Aralov Yegor Sergeevich, Postgraduate Student, Senior Lecturer, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru;

Melkumov Viktor Narbenovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: ser.chu@mail.ru;

Kumitskiy Boris Mikhaylovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: boris-kum@mail.ru;

Chuykin Sergey Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (473) 271-53-21; e-mail: ser.chu@mail.ru