Совершенствование методической базы для определения низкотемпературных характеристик битумных вяжущих материалов: комплексный анализ методов BBR, ABCD и TSRST и пути актуализации нормативной базы

Харпаев Андрей Валерьевич
рук. лаб., Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса, bitumbinder@mail.ru,

Симчук Евгений Николаевич
к.э.н., ген. дир., Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса, niitsk@niitsk.ru,

Рожков Иван Михайлович
рук. отд. иссл., Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса, exstralab@mail.ru

В статье представлены результаты комплексного научного исследования, направленного на сравнительный анализ существующих методов оценки низкотемпературных характеристик битумных вяжущих материалов и асфальтобетонов. Особое внимание уделено проблеме несоответствия традиционных методов испытаний (в первую очередь, метода BBR) реологическому поведению современных модифицированных битумов. В рамках работы был проведён экспериментальный цикл, включающий приготовление серии асфальтобетонных смесей на базе различных вяжущих, испытание образцов асфальтобетона методом термического напряжения (TSRST) и последующее исследование выделенных из них вяжущих с помощью методов BBR и ABCD. На основе полученных эмпирических данных сформулированы конкретные научно-обоснованные предложения по актуализации национальной нормативной базы: дифференциации методик испытаний в зависимости от типа вяжущего, исключения метода BBR как обязательного для модифицированных вяжущих и введения метода ABCD в качестве основного для оценки их низкотемпературной трещиностойкости.
Ключевые слова: низкотемпературное растрескивание, битумное вяжущее, модифицированное вяжущее, асфальтобетон, метод TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test), метод BBR (Bending Beam Rheometer), метод ABCD (Asphalt Binder Cracking Device), реология, стандартизация, корреляционный анализ, долговечность дорожных покрытий.

Введение

Дорожно-транспортная инфраструктура является основой экономического и социального развития любого государства. Согласно официальным данным, представленным Министерством транспорта РФ на заседании комитета Госдумы, по состоянию на 1 января 2025 года общая протяженность автомобильных дорог общего пользования в России составляла 1 583 300 км, она охватывает исключительно разнообразные климатические зоны. Более 95% территории страны в зимний период характеризуются температурами, что наглядно представлено на рисунке 1 [1]. Такие суровые природно-климатические условия предъявляют исключительно высокие требования к материалам, используемым в дорожном строительстве.

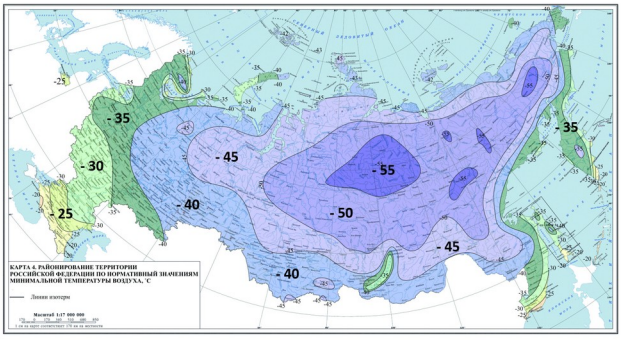


Рисунок 1 – Климатические районирование территории России

Низкотемпературное растрескивание остаётся одной из наиболее распространённых видов повреждения асфальтобетонных покрытий. Этот вид разрушений возникает вследствие сложного физико-механического процесса: при понижении температуры материал дорожного покрытия стремится сократиться (по причине термоусадки), однако этому препятствуют силы трения с подстилающим слоем и соседними участками. В результате в слое асфальтобетона возникают растягивающие термические напряжения. Битумное вяжущее, являясь вязкоупругим материалом, обладает способностью релаксировать эти напряжения за счёт вязкого течения. Однако с понижением температуры его релаксационная способность резко падает, материал переходит из вязкоупругого в упруго-хрупкое состояние (процесс стеклования), его жёсткость возрастает на несколько порядков [2, 3]. Когда накопленные термические напряжения превышают предел прочности материала на растяжение, происходит хрупкое разрушение [4].

Трещины нарушают монолитность и ровность покрытия. Через них проникает влага, что приводит к разрушению нижних слоёв дорожной одежды и основания. Ремонт таких повреждений сопряжён со значительными финансовыми затратами [5].

Основополагающая роль в сопротивлении низкотемпературному растрескиванию принадлежит битумному вяжущему. Именно его свойства определяют способность асфальтобетонной смеси противостоять термическим напряжениям.

С течением времени битумные вяжущие материалы подвержены старению в следствии чего увеличивается их хрупкость, что в свою очередь делает асфальтобетон материалом, теряющим свою способность противостоять возникающим растягивающим напряжениям [6].

До момента внедрения системы объемно-функционального проектирования, основным методом определения устойчивости битумных вяжущих к низкотемпературному воздействию был метод определения температуры хрупкости по Фраасу, который был самым доступным для широкого круга пользователей [7]. В настоящее время для оценки низкотемпературных свойств битумов в мировой и российской практике используются более совершенные реологические методы, такие как испытание на BBR, положенные в основу системы PG в США и ряда национальных стандартов, включая ГОСТ Р 58400.8 [8].

В настоящее время остро стоит вопрос повышения долговечности асфальтобетонных покрытий при увеличивающейся транспортной нагрузке, что требует развития технологий модификации битумных вяжущих. Введение эластомеров (например, стирол-бутадиен-стирола) принципиально меняет структуру и реологию вяжущего, формируя пространственную полимерную сеть (матрицу), которая придаёт материалу повышенную упругость и расширенный рабочий температурный диапазон [9, 10]. Многочисленные исследования, включая работы Стокка и Аранда [11], Хеспа и др. [12],

показали, что модифицированные вяжущие способны улучшать низкотемпературные характеристики за счёт повышения деформационной способности и снижения температуры растрескивания. Однако их сложная, нелинейная реология ставит под сомнение адекватность традиционных методов испытаний, разработанных для классических нефтяных битумов. В частности, метод BBR, основанный на измерении жёсткости при малых деформациях и медленном нагружении, может не отражать реального поведения модифицированных вяжущих в условиях быстрого охлаждения и возникающих при этом высоких напряжений в покрытии [13].

В связи с этим возникает методологический кризис: действующая нормативная база (в частности, ГОСТ Р 58400.1 и 58400.2) предписывает использование метода BBR для оценки низкотемпературных свойств всех типов вяжущих, включая модифицированные, что может приводить к систематическим ошибкам в прогнозировании и, как следствие, к неоптимальному выбору материалов и преждевременному разрушению покрытий. Насущной необходимостью становится поиск альтернативных, более корректных методов испытаний, обеспечивающих прямую связь между свойствами вяжущего и поведением асфальтобетона.

Наиболее репрезентативным методом оценки низкотемпературной трещиностойкости самого асфальтобетона считается метод термического напряжения в ограниченном образце (Thermal Stress Restrained Specimen Test, TSRST), имитирующий условия термоусадки в покрытии и напрямую определяющий температуру растрескивания [14]. Однако его применение ограничено высокой стоимостью оборудования, сложностью подготовки образцов и длительностью испытаний, что затрудняет его использование при контроле качества. Поэтому актуальной задачей является поиск такого метода испытания непосредственно битумного вяжущего, результаты которого имели бы высокую корреляцию с данными TSRST для асфальтобетона.

Одним из перспективных кандидатов является метод ABCD (Asphalt Binder Cracking Device), основанный на создании термических напряжений в кольцевом образце битума за счёт разницы коэффициентов теплового расширения с инваровым кольцом [15, 16]. Метод ABCD принципиально отличается практически от всех иных методов испытаний вяжущих и асфальтобетонов, для которых регламентирована прямоугольная форма образца. В идеале для моделирования термических напряжений необходимо охлаждать образец в форме балки или стержня с жестко закреплёнными концами. Но на практике такую модель крайне сложно реализовать. При этом было найдено простое и очень эффективное решение, за счет которого удалось значительно упросить весь процесс испытания. Для этого была выбрана форма образца не в виде привычной для всех балочки, а в виде сплошного неразрезного кольца с внутренним концентратором напряжений.

Цель исследования

Проведение комплексного сравнительного анализа эффективности методов BBR и ABCD для оценки низкотемпературных свойств как немодифицированных, так и модифицированных битумных вяжущих, путём установления степени их корреляции с референтным методом TSRST для асфальтобетона на основе этих вяжущих. На основании полученных эмпирических данных планировалось разработать научно-обоснованные предложения по дифференциации и совершенствованию методической базы в рамках актуализации национальных стандартов.

1. Материалы и методы исследования

1.1. Материалы и приготовление образцов

Для обеспечения репрезентативности исследования была разработана программа, предусматривающая приготовление десяти различных асфальтобетонных смесей, охватывающих широкий спектр применяемых в практике составов. В качестве факторов вариации были выбраны:

Тип битумного вяжущего: Использовались как немодифицированные вяжущие БН70/30, PG64-22, а также модифицированные варианты (содержащие СБС) PG70-28, PG70-34. Все модифицированные вяжущие относились к типам H, V, E согласно ГОСТ Р58400.2.

Тип асфальтобетонной смеси: Приготовлены смеси различных типов: плотные А16Вн, А16Вт, SP-16T.; щебёночно-мастичные ЩМА-16, SMA-16. Это позволило учесть влияние гранулометрического состава минеральной части и структуры каркаса.

Применение регенерированного асфальтобетона (RAP): Часть смесей содержала 15-20% RAP, что актуально с точки зрения ресурсосбережения и требует оценки влияния старения вяжущего в RAP на низкотемпературные свойства.

Каждому вяжущему был присвоен уникальный лабораторный номер (И959, 26с, И1018 и др.). Асфальтобетонные смеси готовились в лабораторных условиях в соответствии с требованиями ГОСТ. Из смесей с помощью вальцового уплотнителя (ГОСТ Р 58406.4) были изготовлены плиты, из которых затем выпиливались образцы-балочки стандартных размеров (сечение ~50×50 мм, длина ~250 мм) для испытаний по методу TSRST.

1.2. Методы испытаний

1.2.1. Метод TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test)

Испытания проводились на универсальной испытательной машине Pavetest DTS-130, оснащённой климатической камерой. Принцип метода заключается в следующем: образец в виде балочки приклеивают торцами к концевым плитам, которые жёстко фиксируют в испытательной машине, поддерживающей постоянную длину образца. Вся система помещается в климатическую камеру. После стабилизации при начальной температуре камера начинает охлаждение с постоянной скоростью 10 °C/ч. Термоусадка образца, стремящегося сократиться, предотвращается машиной, которая развивает растягивающее усилие для поддержания постоянной длины. Это усилие (термическое напряжение) непрерывно регистрируется. В момент хрупкого разрушения образца (образования сквозной поперечной трещины) усилие резко падает. (рисунок 2)

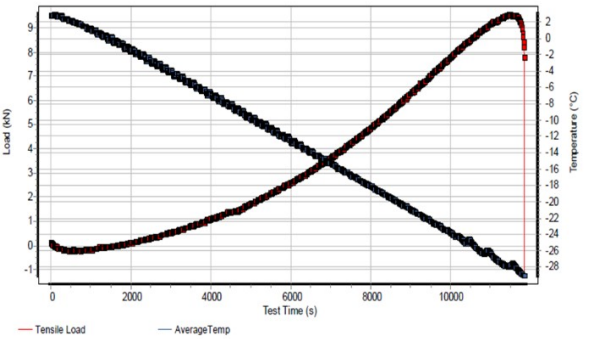


Рисунок 2 – График изменения температуры и растягивающего усилия в процессе испытания образца

Температура, соответствующая пику напряжения перед разрушением, фиксируется как температура трещинообразования, она является показателем низкотемпературной трещиностойкости асфальтобетона.

1.2.2. Метод BBR (ГОСТ Р 58400.8)

После испытаний TSRST из остатков асфальтобетонных образцов методом экстрагирования (ГОСТ Р 58401.19) с последующим выделением битумного вяжущего в роторном испарителе (ГОСТ Р 59119) уже прошедшее процессы смешения и кратковременного старения в составе смеси. Это позволило исследовать свойства реального вяжущего в асфальтобетоне, а не искусственно состаренного.

Испытания проводились на реометре BBR. Из выделенного битума изготавливали балочки. Образец, термостатированный при заданной отрицательной температуре, подвергался воздействию постоянной сосредоточенной нагрузки в течение 240 секунд (рисунок 3).

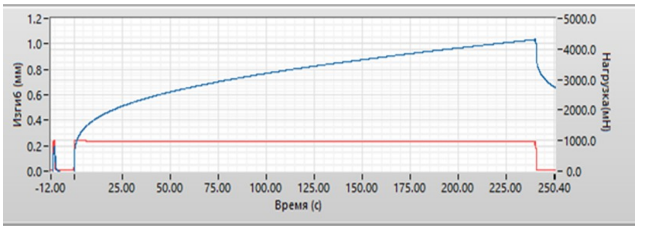


Рисунок 3 – График испытания на реометре BBR.

В процессе испытания регистрируется кривая изгиба. По полученным результатам рассчитываются два основных параметра:

Жёсткость S(60) – сопротивление прогибу через 60 секунд после приложения нагрузки.

Параметр m – скорость изменения жёсткости (логарифмический наклон кривой ползучести), характеризующий релаксационную способность материала.

Для каждого вяжущего испытания проводились как минимум при двух температурах. На основании полученных данных путём интерполяции определялись критические температуры: Кр. Темп. (S) – температура, при которой S(60) = 300 МПа, и Кр. Темп. (m) – температура, при которой m = 0,300. В соответствии с действующими стандартами, за нижнюю критическую температуру вяжущего часто принимается Кр. Темп. (m).

1.2.3. Метод ABCD (ГОСТ Р 58400.11)

То же битумное вяжущее использовались для испытаний на устройстве ABCD. Горячее вяжущее заливалось в силиконовую форму, установленную на инваровое кольцо, оснащённое тензодатчиком. После затвердевания образец в сборе помещался в климатическую камеру. Температура в камере понижалась по заданной программе (быстрое охлаждение до 0 °C, затем медленное со скоростью 20 °C/ч). Инваровое кольцо имеет практически нулевой коэффициент теплового расширения, поэтому сжимающийся при охлаждении битумный образец создаёт в нём деформацию сжатия, фиксируемую тензодатчиком. В момент растрескивания битума происходит резкое изменение деформации (разгрузка). Температура, соответствующая этому скачку на графике «деформация-температура», фиксируется как температура растрескивания по ABCD (рисунок 4).

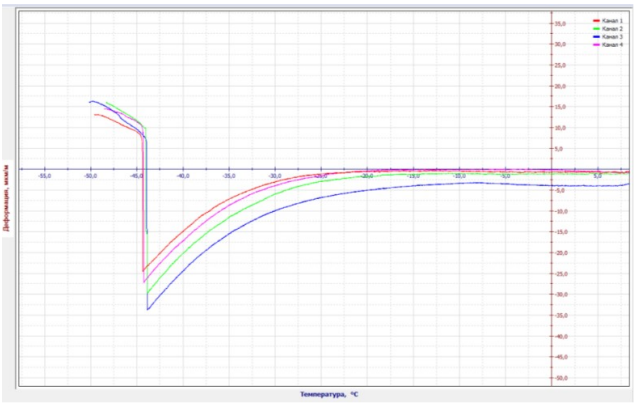


Рисунок 4 – График испытания на устройстве ABCD

1.3. Статистический анализ

Для количественной оценки связи между методами использовался корреляционно-регрессионный анализ. Для каждой пары методов (ABCD-TSRST и BBR-TSRST) строились графики зависимости и вычислялся коэффициент детерминации R^2, показывающий, какая доля дисперсии одной переменной объясняется изменением другой. Значение R^2, близкое к 1, свидетельствует о сильной линейной зависимости. Для анализа различий между модифицированными и немодифицированными вяжущими выборка была разделена на две группы, и для каждой вычислялись средние абсолютные расхождения между результатами разных методов.

2. Результаты и их обсуждение

2.1. Сводные результаты испытаний

В Таблице 1 представлены обобщённые результаты испытаний для всех десяти исследованных композиций. Три ключевых температурных показателя (TSRST, T крит. (m)_BBR, Тростр. ABCD) позволяют провести наглядное сопоставление.

Таблица 1
Сводные результаты испытаний асфальтобетона и битумных вяжущих

Уник. номер вяжущего	Вид вяжущего	Тип смеси	Результат TSRST, °C,	BBR Кр. Темп. ° (m) C,	ABCD Темп. Растр., °C
26с	PG70-34 (мод., СБС)	SMA-16	-36,2	-32,5	-36,0
И1018	PG70-28 (мод., СБС)	SMA-16	-34,5	-27,1	-35,7
И1036	PG70-28 (+20% RAP, мод.)	SMA-16+20%RAP	-35,1	-31,2	-34,4
И1017	PG70-28 (мод., СБС)	ЩМА-16	-35,4	-30,4	-35,4
И1033	PG70-28 (+15% RAP, мод.)	ЩМА-16+15%RAP	-34,6	-31,1	-34,8
И1015	PG64-22 (немод.)	SP-16T	-28,5	-26,9	-28,3
И1035	PG64-22 (+20% RAP, немод.)	SP-16T+20%RAP	-28,1	-29,5	-27,5
И1016	PG64-22 (немод.)	A16BT	-27,7	-28,8	-29,7
И1030	PG64-22 (+20% RAP, немод.)	A16BT+20%RAP	-28,3	-28,3	-28,5
И959	БН70/30 (немод.)	A16Bн	-16,5	-10,0	-16,3

2.2. Корреляция между методами ABCD и TSRST

График зависимости температуры растрескивания по ABCD от температуры трещинообразования по TSRST (Рисунок 1) демонстрирует практически идеальную линейную взаимосвязь. Все экспериментальные точки группируются в непосредственной близости от линии тренда. Коэффициент детерминации R^2 составил 0,982. Это исключительно высокое значение означает, что 98,2% вариативности температуры растрескивания асфальтобетона (TSRST) может быть объяснено вариативностью температуры растрескивания битумного вяжущего, определённой методом ABCD.

Данный результат имеет принципиальное значение. Он свидетельствует о том, что метод ABCD, являясь относительно простым и быстрым испытанием непосредственно битума, обладает чрезвычайно высокой прогностической способностью в отношении низкотемпературного поведения сложной гетерогенной системы – асфальтобетона. Физическая сущность обоих методов схожа: в обоих случаях трещина инициируется термическими напряжениями, возникающими при ограниченной усадке материала при охлаждении. При этом высокая корреляция наблюдается как для немодифицированных битумов, так и для модифицированных, а также для композиций с RAP. Это позволяет рекомендовать ABCD в качестве универсального и высоконадёжного метода оценки низкотемпературной трещиностойкости битумных вяжущих любого типа.

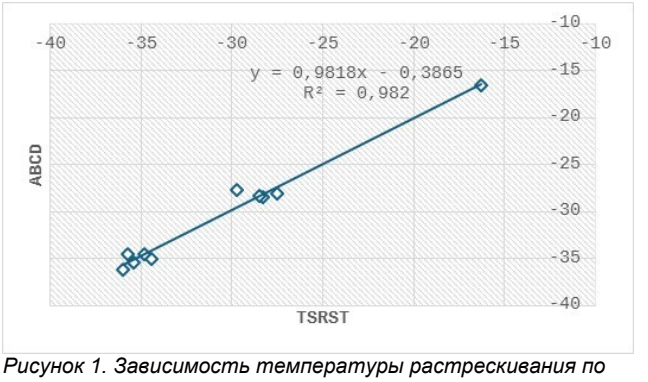


Рисунок 1. Зависимость температуры растрескивания по ABCD от температуры трещинообразования по TSRST

2.3. Корреляция между методами BBR и TSRST

График зависимости критической температуры BBR по параметру m от температуры трещинообразования по TSRST (Рисунок 2) показывает существенно более рассеянную картину. Линейная зависимость прослеживается, однако разброс точек значителен. Общий коэффициент детерминации для всей совокупности данных составил 0,778. Хотя это значение указывает на наличие статистически значимой связи, его величина недостаточна для уверенного прогнозирования поведения асфальтобетона на основе только данных BBR, особенно в инженерной практике, где требуются гарантированные показатели надёжности.

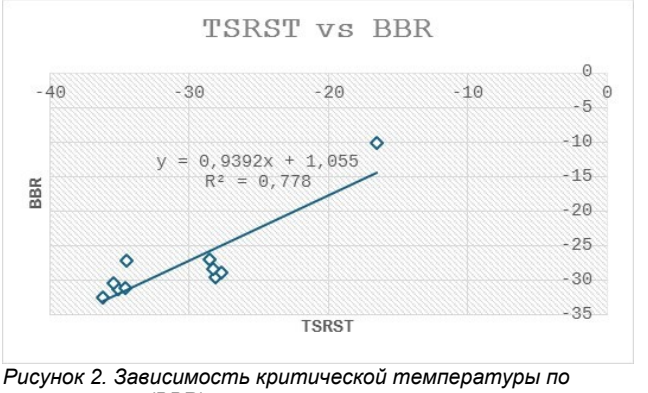


Рисунок 2. Зависимость критической температуры по параметру m (BBR) от температуры трещинообразования по TSRST

Более детальный анализ выявил ключевую причину этого разброса. При разделении данных на две группы – для модифицированных и немодифицированных вяжущих – обнаружилась выраженная тенденция:

Для немодифицированных вяжущих среднее абсолютное расхождение между результатами BBR и TSRST составило 1,6 °C, что можно считать приемлемым для практических целей.

Для модифицированных вяжущих среднее абсолютное расхождение увеличилось практически втрое – до 4,7 °C. Наиболее показателен случай вяжущего И1018, где разница достигла 7,6 °C. Это означает, что если бы выбор марки вяжущего для данного состава смеси производился только на основе BBR (T(m) = -27,1 °C), прогноз был бы неточным по сравнению с реальной трещиностойкостью асфальтобетона (T_TSRST = - 34,5 °C).

2.4. Обсуждение причин расхождений

Выявленные различия в корреляции имеют фундаментальные причины, связанные с физической сущностью методов и природой материалов.

Метод BBR измеряет реологические свойства при малых деформациях (изгиб балочки) и квазистатическом нагружении (нагрузка прикладывается на 240 с). Он хорошо описывает поведение битума в области линейной вязкоупругости и эффективен для классификации немодифицированных битумов. Однако для модифицированных вяжущих, обладающих выраженными упругими свойствами и сложной нелинейной реологией, реакция на малое медленное нагружение может не отражать механизм хрупкого разрушения при быстром охлаждении под действием высоких термических напряжений. Полимерная матрица может «маскировать» истинную хрупкость битумной фазы в условиях испытания BBR.

Метод ABCD, является разрушающим методом, он моделирует процесс накопления термических напряжений в условиях ограниченной усадки, что гораздо ближе к реальным условиям в дорожном покрытии. В момент растрескивания проявляются все структурные особенности материала, включая

влияние полимерной модификации. Поэтому ABCD адекватно улавливает, как достоинства модификации (повышенную деформационную способность, отодвигающую момент хрупкого разрушения), так и потенциальные проблемы (неоднородность структуры).

Метод TSRST является «золотым стандартом» в мировой практике для асфальтобетона. Высокая корреляция с ABCD подтверждает, что при низкотемпературном растрескивании асфальтобетона доминирующую роль действительно играет битумное вяжущее, а влияние минеральной части может быть нивелировано при корректном испытании самого вяжущего.

Таким образом, можно констатировать, что метод BBR, оставаясь надежным инструментом для классических битумов, не является адекватным для достоверной оценки низкотемпературной трещиностойкости модифицированных битумных вяжущих. Его продолжение в качестве обязательного метода для всех типов вяжущих создаёт риск методологической ошибки при проектировании долговечных покрытий для холодного климата.

3. Научно-обоснованные предложения по актуализации нормативной базы

На основании представленных результатов исследований сформулированы конкретные предложения по совершенствованию национальных стандартов в области нормирования битумных вяжущих.

3.1. Предложение по изменению ГОСТ Р 58400.2-2019 «Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические условия с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок»

Обоснование: Стандарт устанавливает требования к вяжущим разных типов (S – стандартные, H, V, E – в подавляющем большинстве модифицированные) и предписывает для всех них обязательный контроль низкотемпературных свойств по ГОСТ Р 58400.8 (BBR). Исследования подтверждают, что BBR не обеспечивает достоверной оценки для типов H, V, E. Использование ABCD показало высокую корреляцию с поведением асфальтобетона для всех типов.

Предлагаемая редакция: В разделе стандарта, устанавливающем методы контроля, необходимо дифференцировать требования:

«Для битумных вяжущих марок типов H, V и E метод определения низкотемпературных свойств по ГОСТ Р 58400.8 (реометр изгибающей балочки, BBR) не применяется. Обязательным методом оценки низкотемпературных характеристик для данных типов вяжущих является метод определения температуры растрескивания при помощи устройства ABCD в соответствии с ГОСТ Р 58400.11. Для битумных вяжущих марки типа S методика ГОСТ Р 58400.8 сохраняется как обязательная».

3.2. Предложение по изменению ГОСТ Р 58400.3-2019 «Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения марки с учетом температурного диапазона эксплуатации»

Обоснование: Данный стандарт регламентирует процедуру назначения марки вяжущего, где нижняя температурная граница определяется на основе критических температур, полученных методом BBR (T(S) и T(m)). Внесение изменений в ГОСТ Р 58400.2 потребует синхронного пересмотра данного порядка для модифицированных вяжущих.

Предлагаемая редакция: В раздел, описывающий определение нижнего значения марки, необходимо внести дополнение:

«Нижнее значение марки в соответствии с ГОСТ Р 58400.2 для битумных вяжущих типа S определяется по критическим температурам, полученным методом BBR (ГОСТ Р 58400.8). Для битумных вяжущих типов H, V и E нижнее значение марки определяется по температуре растрескивания, установленной методом ABCD (ГОСТ Р 58400.11).»

Ожидаемые эффекты от реализации предложений:

Повышение точности и достоверности нормирования: Устранение систематической ошибки при оценке модифицированных вяжущих, что позволит корректно сопоставлять их свойства с климатическими условиями региона строительства.

Улучшение прогноза долговечности покрытий: Снижение риска несоответствия между лабораторной оценкой вяжущего и фактическим поведением асфальтобетона в покрытии. Ожидается сокращение случаев преждевременного низкотемпературного растрескивания.

Стимулирование внедрения инновационных материалов: Создание справедливой и технически обоснованной системы оценки для модифицированных вяжущих, что будет способствовать их более широкому и грамотному применению.

Экономический эффект: В долгосрочной перспективе – увеличение межремонтных сроков службы дорожных покрытий, сокращение затрат на их содержание и ремонт, оптимизация расходов на материалы за счёт обоснованного выбора.

Заключение

Проведённое комплексное исследование подтвердило гипотезу о необходимости дифференциации нормативной базы для оценки низкотемпературных свойств битумных вяжущих в зависимости от их типа.

Метод ABCD (ГОСТ Р 58400.11) продемонстрировал исключительно высокую прогностическую способность, показав почти идеальную корреляцию ($R^2 = 0,982$) с референтным методом TSRST для асфальтобетона. Он является адекватным, быстрым и надёжным инструментом для оценки низкотемпературной трещиностойкости как немодифицированных, так модифицированных битумных вяжущих.

Метод BBR (ГОСТ Р 58400.8), сохраняя свою валидность для классических битумов (тип S), показал недостаточную корреляцию с поведением асфальтобетона ($R^2 = 0,778$) и значительные расхождения (в среднем 4,7 °C) при испытании модифицированных вяжущих (типы H, V, E).

На основании эмпирических данных разработаны и обоснованы конкретные предложения по актуализации ключевых национальных стандартов – ГОСТ Р 58400.2 и ГОСТ Р 58400.3.

Реализация данных предложений станет значимым шагом в совершенствовании технического регулирования в дорожной отрасли России. Она позволит создать научно обоснованную, практико-ориентированную систему оценки материалов, обеспечивающую повышение надёжности, долговечности и экономической эффективности автомобильных дорог в условиях экстремальных климатических воздействий, характерных для большей части территории страны. Дальнейшие исследования целесообразно направить на расширение базы данных для различных видов модификаторов и на разработку новых методов, основанных на выявленных корреляциях.

Литература

1. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2000.
2. Потапов С.Н., Ярмоленко В.В. Реология битумов и асфальтобетонов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
3. Bahia, H.U., Anderson, D.A. The SHRP Binder Rheological Parameters: Why Are They Required and How Do They Compare to Conventional Properties // Preprint, Transportation Research Board, 1994.
4. Jung, D.H., Vinson, T.S. Low-Temperature Cracking: Test Selection // Strategic Highway Research Program, SHRP-A-400, 1993.
5. Ярмоленко, В.В. Долговечность асфальтобетонных покрытий. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 300 с.
6. Симчук Е.Н., Харпаев А.В., Рожков И.М. Современные подходы к моделированию старения битумных вяжущих материалов в лабораторных условиях // Дороги и мосты. 2022. № 2 (48). С. 274–306. EDN: HUWSYA
7. Рожков И.М., Харпаев А.В., Симчук Е.Н., Небратенко Д.Ю. Растрескивание вяжущих методом ABCD: обоснование температурных расчетов // Дороги и мосты. 2024. № 52/2. С. 347-366.
8. ГОСТ Р 58400.8-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения жесткости и ползучести битума при отрицательных температурах с помощью реометра, изгибающего балочку (BBR). – М.: Стандартинформ, 2019.
9. Isacsson, U., Zeng, H. Relationships between bitumen chemistry and low temperature behaviour of asphalt // Construction and Building Materials. – 1997. – Vol. 11, No. 2. – P. 83-91.
10. Авербах, Б.И., Берг Б.В. Полимербитумные вяжущие и полимерасфальтобетоны. – М.: Химия, 1988. – 192 с.
11. Stock, A.F., Arand, W. Low temperature cracking in polymer modified binders // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 1993. – Vol. 62. – P. 23-46.
12. Hesp, S.A.M., Terlouw, T., Vonk, W.C. Low temperature performance of SBS modified asphalt mixes // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2000. – Vol. 69. – P. 540-573.
13. FHWA Report. Asphalt Binder Cracking Device (ABCD): Project Overview. – FHWA, 2008.
14. AASHTO TP10. Standard Test Method for Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength. – Washington, D.C.: AASHTO, 2007.
15. ГОСТ Р 58400.11-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения температуры растрескивания при помощи устройства ABCD. – М.: Стандартинформ, 2019.
16. Sui, C., Farrar, M.J., Harnsberger, P.M., et al. New low-temperature performance-grading method: using the Asphalt Binder Cracking Device // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2010. – Vol. 2179. – P. 49-56.

Improving the methodological framework for determining the low-temperature characteristics of bituminous binders: a comprehensive analysis of the BBR, ABCD, and TSRST methods and pathways for updating the regulatory framework

Kharpaev A.V., Simchuk E.N., Rozhkov I.M.
Scientific Research Institute of Transport and Construction complex

JEL classification: L61, L74, R53

The paper reports on a comprehensive comparative study of existing methods for assessing the low-temperature performance of bituminous binders and asphalt mixtures. A key focus is the inadequacy of conventional tests (especially BBR) in capturing the rheology of modern polymer-modified binders. The experimental program comprised preparing a series of asphalt mixes with different binders, subjecting asphalt concrete specimens to the TSRST, and testing the recovered binders using BBR and ABCD. The resulting empirical evidence supports clear, scientifically grounded revisions to national standards: tailoring test methods to binder type, removing BBR from the mandatory list for modified binders, and adopting ABCD as the primary method for evaluating their low-temperature cracking resistance.

Keywords: low-temperature cracking, bituminous binder, modified binder, asphalt concrete, TSRST method (Thermal Stress Restrained Specimen Test), BBR method

(Bending Beam Rheometer), ABCD method (Asphalt Binder Cracking Device), rheology, standardization, correlation analysis, durability of road pavements.

References

1. SNiP 23-01-99. *Building Climatology*. – Moscow: Gosstroy Rossii, 2000.
2. Potapov S.N., Yarmolenko V.V. *Rheology of Bitumens and Asphalt Concretes*. – Moscow: Transport, 1990. – 240 p.
3. Bahia, H.U., Anderson, D.A. The SHRP Binder Rheological Parameters: Why Are They Required and How Do They Compare to Conventional Properties // Preprint, Transportation Research Board, 1994.
4. Jung, D.H., Vinson, T.S. Low-Temperature Cracking: Test Selection // Strategic Highway Research Program, SHRP-A-400, 1993.
5. Yarmolenko, V.V. *Durability of Asphalt Concrete Pavements*. – Moscow: Infra-Inzheneriya, 2018. – 300 p.
6. Simchuk E.N., Kharpaev A.V., Rozhkov I.M. Modern Approaches to Modeling the Aging of Bituminous Binders under Laboratory Conditions // *Roads and Bridges*. 2022. No. 2 (48). P. 274–306. EDN: HUWSYA
7. Rozhkov I.M., Kharpaev A.V., Simchuk E.N., Nebratenko D.Yu. Cracking of Binders by the ABCD Method: Justification of Temperature Calculations // *Roads and Bridges*. 2024. No. 52/2. P. 347–366.
8. GOST R 58400.8-2019. *Automobile Roads of General Use. Petroleum Bituminous Binders. Method for Determination of Stiffness and Creep of Bitumen at Low Temperatures Using a Bending Beam Rheometer (BBR)*. – Moscow: Standartinform, 2019.
9. Isacsson, U., Zeng, H. Relationships between bitumen chemistry and low temperature behaviour of asphalt // *Construction and Building Materials*. – 1997. – Vol. 11, No. 2. – P. 83-91.
10. Averbakh, B.I., Berg B.V. *Polymer-Bitumen Binders and Polymer-Asphalt Concretes*. – Moscow: Khimiya, 1988. – 192 p.
11. Stock, A.F., Arand, W. Low temperature cracking in polymer modified binders // *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*. – 1993. – Vol. 62. – P. 23-46.
12. Hesp, S.A.M., Terlouw, T., Vonk, W.C. Low temperature performance of SBS modified asphalt mixes // *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*. – 2000. – Vol. 69. – P. 540-573.
13. FHWA Report. *Asphalt Binder Cracking Device (ABCD): Project Overview*. – FHWA, 2008.
14. AASHTO TP10. *Standard Test Method for Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength*. – Washington, D.C.: AASHTO, 2007.
15. GOST R 58400.11-2019. *Automobile Roads of General Use. Petroleum Bituminous Binders. Method for Determination of Cracking Temperature Using the ABCD Device*. – Moscow: Standartinform, 2019.
16. Sui, C., Farrar, M.J., Harnsberger, P.M., et al. New low-temperature performance-grading method: using the Asphalt Binder Cracking Device // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. – 2010. – Vol. 2179. – P. 49-56.