

УДК 691.16

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ ПО ПРОГРАММЕ SHRP

Р.А. Хамад, к.т.н., ООО «Дорожное строительство "АЛТКОМ"», г. Басра, Ирак

Аннотация. Изложена сущность американской системы оценки качества битумных вяжущих SHRP Superpave. Раскрыта методика районирования территории США по условиям работы вяжущих в покрытии. Приведены методики испытаний и конкретные технические требования к показателям, включённым в систему.

Ключевые слова: система Superpave, районирование, старение, модули сдвига, деформативность, вязкость.

ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ТА МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ ЗА ПРОГРАМОЮ SHRP

Р.А. Хамад, к.т.н., ТОВ «Дорожнє будівництво "АЛТКОМ"», м. Басра, Ірак

Анотація. Викладено сутність американської системи оцінки якості бітумних в'язучих SHRP Superpave. Розкрито методику районування території США за умовами роботи в'язучих у покритті. Наведено методики випробувань і конкретні технічні вимоги до показників, включених у систему.

Ключові слова: система Superpave, районування, старіння, модулі зсуву, деформативність, в'язкість.

TECHNICAL REQUIREMENTS AND METHODS OF BITUMEN BINDERS TESTING ACCORDING TO THE SHRP PROGRAM

R. Khamad, Ph. D. (Eng.), LLC «Road Construction "ALTKOM"», Basrah, Iraq

Abstract. The essence of the American system SHRP Superpave for assessing the bituminous binders quality is expounded. The technique of the USA territory zoning according to the working conditions of binders in the pavement is represented. The test methods and specific technical requirements to the parameters included in the system are given.

Key words: superpave system, zoning, aging, shear modulus, deformability, viscosity.

Введение

Качество асфальтобетона напрямую зависит от свойств битумного вяжущего. С началом использования асфальтобетона для дорожного строительства возникла острая необходимость создания методов оценки свойств битумных вяжущих, а затем и их классификации по определённым показателям.

Анализ публикаций

В современной истории одной из первых методик оценки качества дорожного битума

можно считать «пробу на зуб», которую практиковали дорожники до конца 19-го в США для определения степени твердости битума [1]. Вскоре после появления первого пенетрометра (1889 г.) в США с 1901 г. утвердили испытание на пенетрацию в качестве стандарта для определения консистенции дорожных битумов, после чего в 1918 г. была введена система классификации дорожных битумов по показателям пенетрации, соответствующим различным климатическим условиям США. В 1931 г. Американской ассоциацией дорожных и транспортных

служащих (AASHTO, до 1973 г. – AASHO) были утверждены стандартные технические требования к битумным вяжущим, классифицированным по показателю пенетрации. Несмотря на то, что пенетрационная система классификации позволяет оценить битумные вяжущие по показателю консистенции (твёрдости) при температуре 25 °С, она не характеризует их восприимчивость к температуре. В 1960-х гг. была разработана новая система классификации битумных вяжущих по показателю вязкости при температуре 60 °С.

Следующим принципиально важным этапом в развитии технических требований к вяжущим стала система их классификации по эксплуатационной градации PG (Performance Graded), разработанная в рамках стратегической программы научных дорожных исследований SHRP (1987–1992 гг.) и ставшая частью системы Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements – высококачественные асфальтобетонные покрытия). Отличительной особенностью этой системы является то, что она основана на использовании фундаментальных показателей, непосредственно связанных с явлениями колееобразования, усталостного разрушения и низкотемпературного растрескивания [2, 3].

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является анализ системы оценки качества битумных вяжущих SHRP Superpave, действующей с конца 90-х годов в США. Особенность данной системы заключается в показателях прочности сдвиго- и трещиностойчивости асфальтобетона.

Анализ принципов, заложенных в системе Superpave

В системе Суперпейв выбор битумного вяжущего осуществляется исходя из температурных условий в районе строительства, при которых вяжущее будет сохранять требуемое эксплуатационное состояние. В соответствии с этим маркировка вяжущего определяется двумя температурными пределами – максимальной и минимальной расчетными температурами покрытия. Стандарт AASHTO M 320 «Нормирование PG битумных вяжущих», регламентирующий технические требования к битумным вяжущим по эксплуатационной градации PG, включает в себя марки от PG 46-46 до 82-34 (табл. 1).

Таблица 1 Градация битумных вяжущих по эксплуатационной категории PG

		Макс. температура покрытия, °С						
		46	52	58	64	70	76	82
Мин. температура покрытия, °С	-10	-	52-10 (25)	-	64-10 (31)	70-10 (34)	76-10 (37)	82-10 (40)
	-16	-	52-16 (22)	58-16 (25)	64-16 (28)	70-16 (31)	76-16 (34)	82-16 (37)
	-22	-	52-22 (19)	58-22 (22)	64-22 (25)	70-22 (28)	76-22 (31)	82-22 (34)
	-28	-	52-28 (16)	58-28 (19)	64-28 (22)	70-28 (25)	76-28 (28)	82-28 (31)
	-34	46-34 (10)	52-34 (13)	58-34 (16)	64-34 (19)	70-34 (22)	76-34 (25)	82-34 (28)
	-40	46-40 (7)	52-40 (10)	58-40 (13)	64-40 (16)	70-40 (19)	-	-
	-46	46-46 (4)	52-46 (7)	-	-	-	-	-
		* В скобках приведены средние эксплуатационные температуры покрытия ($T_{\max} - T_{\min} / 2 + 4$)						
		* Серым выделены марки с рабочим диапазоном больше 92 °С, что требует модификации исходных битумов						

Расчетные температуры дорожного покрытия, являющиеся критерием для выбора марки битумного вяжущего, вычисляются по формулам, рекомендованным Асфальтовым институтом [4]. В расчете максимальной температуры покрытия используется усредненный максимум семи последовательных самых жарких дней, а в расчете минимальной температуры покрытия – усредненная температура самого холодного дня года. Эти температуры определяются по данным ближайших к району строительства метеостанций, полученных не менее чем за двадцатилетний период с учетом заданного уровня надежности. В зависимости от места положения и климатических особенностей участка строительства, температура покрытия может существенно отличаться от температуры воздуха – от нескольких градусов зимой и до 20 °С и более летом. Во многих странах уже разработаны государственные карты районирования, позволяющие однозначно выбрать марку битумного вяжущего по градации PG.

Концепция температурной градации PG основана на том, что битумное вяжущее должно отвечать заданным механическим показателям при соответствующих его марке тем-

пературах. Эти показатели являются общими для всех марок и должны обеспечивать два основных требования. Во-первых, достаточную податливость вяжущего при низких температурах – для уменьшения опасности температурного растрескивания дорожного покрытия зимой. Во-вторых, необходимый уровень вязкоупругих свойств – для обеспечения достаточной устойчивости асфальтобетона к накоплению усталостных и остаточных деформаций при средних и высоких температурах. При этом требования Суперпейв к механическим показателям вяжущего при высоких температурах определены для умеренной транспортной нагрузки. Для более тяжелых условий движения требуется назначать максимальную марочную температуру «перескоком» через одну или две марки. К типичным примерам подбора сортов «перескоком» можно отнести такие условия: на одну марку – для умеренного грузового движения; на одну-две марки – при медленном движении и на перекрестках; на две марки – для тяжелого грузового движения. Кроме того, предусмотрен выбор вяжущего на одну марку (на 6 °С) выше при наличии одного из факторов и на две марки (на 12 °С) – при наличии обоих, что обеспечивает более высокие механические показатели вяжущего при тех же температурных условиях.

Дифференцируемый подход к условиям испытаний вяжущих в зависимости от критических условий их работы

Технические условия к битумным вяжущим, предусмотренные системой Суперпейв, относятся к образцам, которые являются репрезентативными по отношению к вяжущему в покрытии, причем на той стадии эксплуатации, когда намечаются те или иные виды разрушения. Поэтому механические свойства, имеющие отношение к колееобразованию, определяют на оригинальных образцах (наиболее «мягких») и на образцах, подвергшихся старению в тонком слое, имитирующем (по мнению разработчиков) твердение вяжущего при типичных условиях производства и укладки горячих асфальтобетонов.

Свойства, которые имеют отношение к усталостному растрескиванию и термическому разрушению, определяют на образцах, прошедших процедуру длительного лабораторного состаривания, призванного моделировать повышение жесткости битумных вяжу-

щих за счет долговременного окисления в условиях многолетней эксплуатации в дорожном покрытии.

При этом используется двухстадийное старение. На первой стадии оно производится в специальной печи RTFO (Rolling Thin-Film Oven – испытание в печи вращающейся тонкой пленки). Эта процедура предусматривает вращения цилиндрических колб, так, чтобы пленка вяжущего, покрывающая внутреннюю часть сосуда, непрерывно перетекала в условиях высоких температур и подачи воздуха. Таким образом, непрерывно обновляемая поверхность повышает испарение лёгких фракций битума, а тонкая пленка увеличивает интенсивность взаимодействия битумного вяжущего с воздухом [5]. Испытание производится при следующих условиях: навеска вяжущего в каждой колбе – $35 \pm 0,5$ г; температура – 163 ± 1 °С; расход воздуха на выходе из обдувающей трубки – $4 \pm 0,1$ л/мин; продолжительность испытания – 85 мин. По окончании испытания образцы вяжущего извлекаются из колб, сначала самотеком, а затем остатки собираются специальным скребком.

На второй стадии старение осуществляется посредством выдерживания образцов вяжущего в специальной установке при повышенной температуре и давлении PAV (Pressure Aging Vessel – сосуд для состаривания под давлением). Высокое давление способствует поступлению воздуха в среду вяжущего, что увеличивает количество кислорода, доступного для реакции с молекулами битумного вяжущего, а высокая температура ускоряет темпы окисления. Согласно данным разработчиков, метод PAV способен воспроизвести эффект старения вяжущего в дорожном покрытии, происходящего за 5–10 лет эксплуатации, всего за 20 часов [6]. Старение битумного вяжущего по методу PAV производится только на образцах, состаренных в RTFO при следующих условиях: навеска вяжущего в каждом поддоне – $50 \pm 0,5$ г (диаметр поддона – 140 мм, что обеспечивает слой вяжущего при испытании приблизительно 3,2 мм); температура – $90 \pm 0,5$ °С, $100 \pm 0,5$ °С и $110 \pm 0,5$ °С в зависимости от марки вяжущего (меньшая температура для битумов, которые будут эксплуатироваться в холодных климатических зонах, а большая – соответственно в жарких районах); давление воздуха – $2,1 \pm 0,1$ МПа; продолжительность

испытания – $20 \text{ ч} \pm 10 \text{ мин}$. Снижение избыточного давления по окончании испытания должно выполняться за $9 \pm 1 \text{ мин}$, благодаря чему сводится к минимуму образование воздушных пузырьков. Тем не менее для удаления оставшегося количества воздуха пробу вяжущего после PAV переливают в тару достаточного объема (чтобы слой вяжущего в ней составлял 15–40 мм) и подвергают дегазации в специальной камере под вакуумом, глубиной $15 \pm 2,5 \text{ кПа}$ по отношению к атмосферному давлению, при температуре $170 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 мин.

Особенности испытаний и технических требований в системе SHRP

Система классификации битумных вяжущих по эксплуатационной категории PG предусматривает определение механических свойств при трех эксплуатационных темпе-

ратурах: максимальной, средней и минимальной. Значения этих температур зависят от марки вяжущего (табл. 1). Кроме того, классификация предусматривает определение показателя динамической вязкости при $135 \text{ }^\circ\text{C}$ для гарантии минимально необходимых технологических свойств вяжущего. Принципиальная схема основных методов и средств для определения классификационных свойств битумных вяжущих по градации PG приведена на рис. 1.

В США стандарты технических требований и методов испытания битумных вяжущих и асфальтобетона разрабатываются и издаются AASHTO или ASTM (American Society for Testing and Materials – Американское общество по испытаниям и материалам). В то же время большинство стандартов AASHTO и ASTM, касающихся системы Superpave, имеют свои адаптированные EN-аналоги.

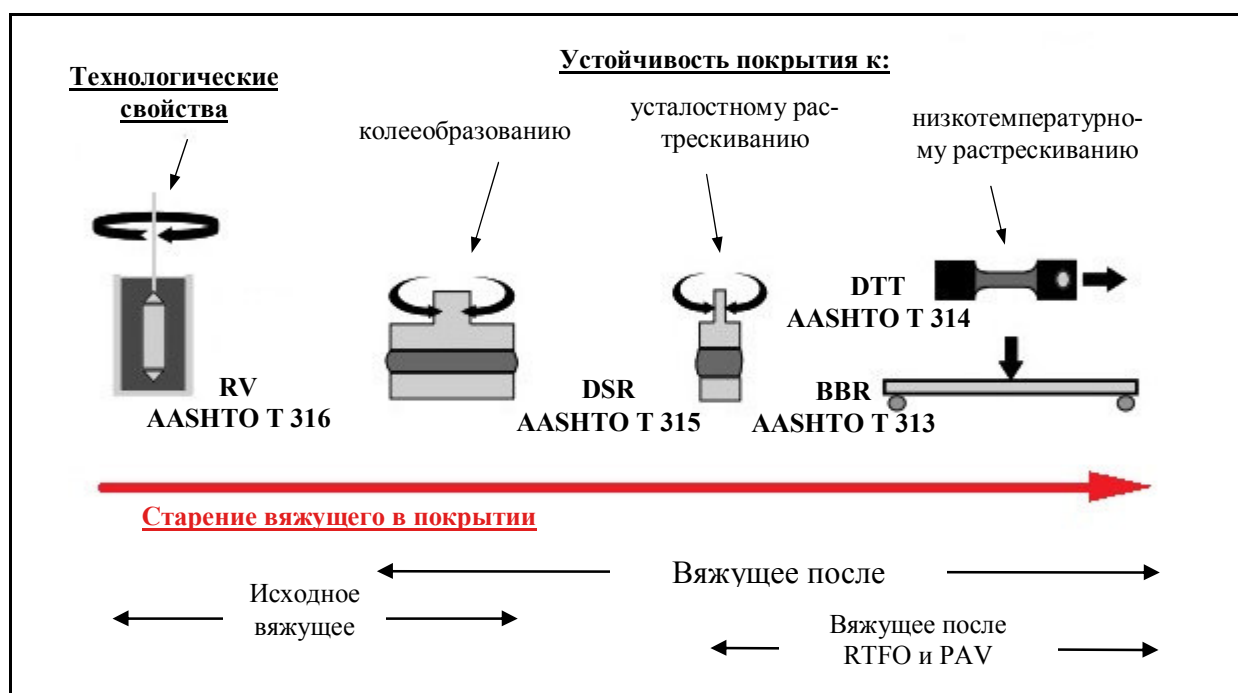


Рис. 1. Принципиальная схема основных средств для определения классификационных свойств битумных вяжущих по градации PG

Определение реологических свойств битумных вяжущих

Оно осуществляется в соответствии со стандартом AASHTO T 315 «Определение реологических свойств битумного вяжущего с использованием реометра динамического сдвига DSR». Этот метод предназначен для определения комплексного модуля сдвига (G^*) и угла сдвига фаз (δ), которые отвечают за

классификацию битумного вяжущего по максимальной и средней эксплуатационным температурам. Требования классификации PG ко всем маркам вяжущего, исходя из условия обеспечения устойчивости асфальтобетона к образованию пластических деформаций, следующие: образцы исходного вяжущего (не подвергшегося процедурам состаривания) при расчетной максимальной температуре должны удовлетворять условие

$G^*/\sin \delta \geq 1$ кПа, а образцы после RTFOT – $G^*/\sin \delta \geq 2,2$ кПа. Тестирование исходного вяжущего наряду с вяжущим, состаренным по методу RTFO, вызвано соображениями подстраховки на случай, если вяжущее не отреагирует должным образом на технологические условия производства асфальтобетона (т.е. оно не подвергнется должному старению). Требование классификации PG ко всем маркам вяжущего, исходя из условия обеспечения устойчивости асфальтобетонного покрытия к усталостному растрескиванию, сводится к следующему: образцы, состаренные в RTFO и PAV, при расчетной средней температуре должны удовлетворять условие $G^* \cdot \sin \delta \leq 5000$ кПа. Подробная информация о требованиях системы Superpave к битумному вяжущему и их обосновании дана в работе [7].

Испытание на синусоидальный динамический сдвиг производится следующим образом. Тонкий слой вяжущего помещается между двумя параллельными пластинами испытательного прибора DSR (Dynamic Shear Rheometer – реометр динамического сдвига), а затем подвергается осцилляционному сдвигу за счет вращения верхней пластины относительно нижней с частотой 10 рад/с (1,59 Гц). Для испытаний используются два типа-размера образцов с соответствующими им температурными диапазонами: образцы диаметром $25 \pm 0,05$ мм и высотой 1 мм – для вычисления $G^*/\sin \delta$ в температурном диапазоне $46 \div 82$ °С с шагом 6 °С; образцы диаметром $8 \pm 0,02$ мм и высотой 2 мм – для вычисления $G^* \cdot \sin \delta$ в температурном диапазоне $10 \div 46$ °С с шагом 3 °С. Образцы вяжущего наносятся непосредственно на пластину прибора или заливаются в специальные силиконовые формы, где формируются образцы-«таблетки», которые затем переносятся на пластины.

Испытания на приборе DSR производятся в автоматическом режиме при заданной температуре с погрешностью $\pm 0,1$ °С. Комплексный модуль сдвига может определяться в двух режимах нагружения: постоянной деформации или постоянного напряжения. В том и в другом случае необходимо, чтобы уровень напряженного состояния (деформации или напряжения) был равен 12 %, 10 % и 1 % для определения G^* соответственно для исходного вяжущего ($G^*/\sin \delta \geq 1$ кПа), вяжущего после RTFO ($G^*/\sin \delta \geq 2,2$ кПа) и

вяжущего после RTFO и PAV ($G^* \cdot \sin \delta \leq 5000$ кПа). Уровень напряженного состояния определяется экспериментально в автоматическом режиме путем приложения тестового напряжения, по которому назначают заданный уровень нагружения.

Оценка технологической вязкости вяжущих

Её определяют по методу стандарта AASHTO T 316 «Определение вязкости битумного вяжущего с помощью ротационного вискозиметра». Показатель вязкости, полученный с помощью этого метода, является неотъемлемым требованием к битумным вяжущим. Требование PG классификации ко всем маркам вяжущих, исходя из обеспечения нормальных технологических условий для их перекачивания, таково: динамическая вязкость при температуре 135 °С должна быть ≤ 3 Па·с.

С помощью показателя вязкости определяют также технологические температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси. Для этих технологических стадий требования AASHTO R 68 к вязкости битумного вяжущего соответственно равны $0,17 \pm 0,02$ Па·с и $0,28 \pm 0,03$ Па·с.

Для определения температур, соответствующих необходимому диапазонам значения вязкости, строят график зависимости «log вязкости от температуры». Пример такого графика, построенного по двум точкам, представлен на рис. 2.

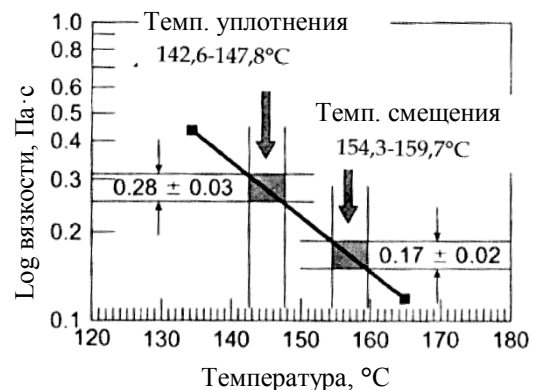


Рис. 2. Пример графика для определения технологических температур приготовления асфальтобетонной смеси [8]

Оценка трещиностойкости битумных вяжущих

Её осуществляют согласно стандарту AASHTO T 313 «Определение модуля жесткости битумного вяжущего с использованием реометра, изгибающего балку BBR». Этот метод предназначен для определения модуля жесткости (S) и коэффициента пластичности (m), которые отвечают за классификацию битумного вяжущего по минимальной эксплуатационной температуре. Требование классификации PG к любой марке вяжущего, исходя из условия обеспечения устойчивости асфальтобетона к низкотемпературному растрескиванию, таково: образцы, состаренные в RTFO и PAV, при расчетной средней температуре должны удовлетворять условиям $S \leq 300$ МПа и $m \geq 0,300$.

Определение модуля жесткости S в приборе BBR (Binding Beam Rheometer – реометр, изгибающий балку) производится по принципу испытания на ползучесть балки под действием приложенной посередине пролета постоянной нагрузки. Образец состаренного вяжущего заливается в специальную форму, а затем охлаждается, обрезается по верхнему краю формы и извлекается из неё. После этого образец (6,35 мм × 12,70 мм × 127 мм) помещают на дно термостата прибора, заполненного охлаждающей жидкостью. После охлаждения при температуре испытания ($\pm 0,1$ °C) в течение 1 ч образец-балочку помещают на опорные рифли под загрузочный шток. Приложение нагрузки осуществляется таким образом. Сначала к образцу прикладывается контактная нагрузка 35 ± 10 мН (не более чем на 10 с – для обеспечения контакта между нагрузочной головкой штока и образцом), после этого прикладывают расчетную нагрузку 980 ± 50 мН в течение $1 \pm 0,1$ с (так называемая «обжимная» нагрузка). После этого образец восстанавливается в течение $20 \pm 0,1$ с, и затем его нагружают (величина нагрузки в период нагружения не должна отклоняться более чем на ± 10 мН). Значения деформаций регистрируют автоматически при 8, 15, 30, 60, 120 и 240 с, после чего нагрузку снимают и испытание считается законченным.

Стандартом предусматривается определение S и m при времени действия нагрузки, равном 60 с [7].

Оценка трещиностойкости по удлинению при растяжении

Такая оценка осуществляется согласно стандарту AASHTO T 314 «Определение свойств битумного вяжущего на разрыв при прямом растяжении DTT». Этот метод испытания используется для определения напряжения и относительной деформации образца битумного вяжущего в виде «гантели» от прямого растяжения при постоянной скорости деформирования 1,0 мм/мин. Для испытания используются образцы, состаренные по аналогии с испытанием в приборе BBR – RTFO + PAV.

Метод DTT (Direct Tension Test – испытание на прямое растяжение) является альтернативным способом определения нижней эксплуатационной температуры по показателю критической температуры растрескивания ($T_{кр}$), которая определяется как точка пересечения зависимости прочности на растяжение от температуры и зависимости температурных напряжений, вычисляемых по результатам определения параметров жесткости на приборе BBR (рис. 3).

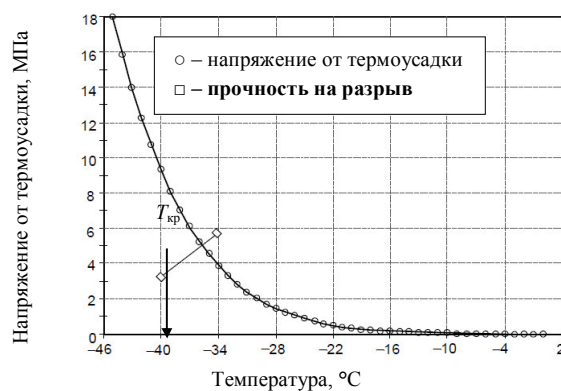


Рис. 3. Пример графика для определения критической температуры трещиностойкости [9]

Наряду с этим, относительная деформация, определяемая с помощью метода DTT, может использоваться как арбитражный показатель при оценке вяжущих, не удовлетворяющих требованиям по показателю жесткости ($S > 300$ МПа и ≤ 600 МПа; $m \geq 0,300$). При этом удовлетворительным является результат, когда относительная деформация $\geq 1,0$ %.

Выводы

Система классификации битумных вяжущих по эксплуатационной категории PG и предусмотренные ею методы испытания успешно используются уже более 20 лет. Эта система получает все большее распространение в мире. Основным ее преимуществом, по сравнению с пенетрационной классификацией битумных вяжущих, является более обоснованный учет климатических и эксплуатационных условий работы дорожного покрытия.

В то же время эта система была разработана для обычных битумных вяжущих и недостаточно адаптирована к модифицированным полимерами вяжущим. Это потребовало разработки дополнительных технических требований к модифицированным битумным вяжущим. В результате система дополнена показателем остаточной деформации при сдвиге, определяемым на приборе DSR с использованием новой методики испытания. Таким образом, система SHRP Superpave постоянно развивается и совершенствуется.

Литература

1. Roberts F.L. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction / F.L. Roberts, P.S. Kandhal, E.R. Brown and others. – 2nd edition. – Maryland: NAPA Research and Education Foundation, 1996. – 604 p.
2. Радовский Б.С. Проектирование асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв / Б.С. Радовский // Дорожная техника. – 2007. – С. 86–99.
3. Радовский Б.С. Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв / Б.С. Радовский // Дорожная техника. – 2008. – С. 12–22.
4. Superpave Mix Design: Superpave Series // Asphalt Institute. – 2001. – No. 2. – 120 p.
5. Effect of Heat and Air on Film of Asphalt Binder (Rolling Thin-Film Oven Test): AASHTO T 240. AASHTO Standards, 2013. – 12 p.
6. Accelerating Aging of Asphalt Binder Using Pressure Aging Vessel (PAV): AASHTO R 28. AASHTO Standards, 2012. – 11 p.
7. Petersen J.C. Binder Characterization and Evaluation, (SHRP-A-367) / J.C. Petersen, D.A. Anderson, R.E. Robertson, D.W. Christiansen and others. – Washington: SHRP, National Research Council. – 1994. – Vol. 1. – 152 p.
8. Asphalt Binder Testing: Technician's Manual for Specification Testing of Asphalt Binders (MS-25, 2-nd edition), Asphalt Institute, 2009. – 184 p.
9. Determination of Low-Temperature Performance Grade (PG) of Asphalt Binders: AASHTO R 49. AASHTO Standards, 2013. – 11 p.

Рецензент: В.А. Золотарёв, профессор, д.т.н., ХНАДУ.