

Temperature dependences of bitumen binders mechanical characteristics

Teltayev B.B.

bagdatbt@yahoo.com

Kazakhstan Highway Research Institute, Almaty, Kazakhstan

Key words: Bitumen, polymers, temperature, complex shear modulus, phase angle, stiffness, dynamic shear rheometer, beam bending rheometer.

Abstract: In the paper temperature dependences of bitumen binders mechanical characteristics are investigated. For investigation pure road viscous bitumen of grade BND-100/130 and polymer modified binders obtained by mean of adding of polymers Butonal NS 198, Elvaloy 4170, Calprene 501, polymer Calprene 501 and polyphosphoric acid have been taken. Testing of bitumen binders has been carried out by experimental way in laboratory conditions. At high (46 ... 88 °C) and medium (4 ... 40 °C) temperatures the complex shear modulus and phase angle of bitumen binders have been measured on the dynamic shear rheometer. At low (-18 ... -35 °C) temperatures their stiffness has been measured on the beam bending rheometer. It has been stated that modification of the bitumen with polymers significantly increases its mechanical characteristics in high, medium and low temperatures. Intervals of temperature within of which any polymer modified bitumen shows the best mechanical behavior have been found.

УДК 691.163

Температурная зависимость механических характеристик битумных вяжущих

Телтаев Б.Б.

bagdatbt@yahoo.com

Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: Битум, полимеры, температура, комплексный сдвиговой модуль, фазовый угол, жесткость, динамический сдвиговой реометр, реометр с изгибаемой балкой.

Аннотация: В статье изучаются температурные зависимости механических характеристик битумных вяжущих. Для исследования взяты чистый дорожный вязкий битум марки БНД-100/130 и полимербитумные вяжущие, приготовленные путем добавки в чистый битум полимеров Butonal NS 198, Elvaloy 4170, Calprene 501, полимера Calprene и полифосфорной кислоты. Испытания битумных вяжущих выполнены экспериментальным путем в лабораторных условиях. При высоких (46 ... 88 °C) и средних (4 ... 40 °C) температурах комплексный сдвиговой модуль и фазовый угол битумных вяжущих был определен на динамическом сдвиговом реометре, а при низких (-18 ... -35 °C) температурах их жесткость – на реометре с изгибаемой балкой. Установлено, что модифицирование битума полимерами существенно повышает его как высоко- и среднетемпературные, так и низкотемпературные механические характеристики. Найдены температурные пределы, в которых разные полимербитумы показывают наилучшее механическое поведение.

Битум является одним из основных материалов для приготовления дорожного асфальтобетона, который в настоящее время широко применяется во всем мире. Но, как известно, асфальтобетон имеет ряд недостатков. Так, при высоких температурах на асфальтобетонном покрытии могут появиться остаточные деформации в виде колеи. При низких температурах возникают сквозные поперечные температурные трещины. Под многократным действием нагрузок от колес автомобилей появляются усталостные трещины. Некоторое количество указанных выше дефектов может привести к разрушению конструкции дорожной одежды.

В настоящее время общеизвестно, что механическое поведение асфальтобетона обусловлено реологическими свойствами битума. Поэтому для улучшения эксплуатационного поведения

асфальтобетона улучшают свойства битумов. Одним из эффективных способов повышения устойчивости битума к механическим и климатическим воздействиям является его модификация полимером.

В последние годы Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт приступил к углубленному исследованию свойств битумов и полимербитумных вяжущих с использованием как стандартных, так и нестандартных методов и приборов. Часть полученных результатов были доложены в международных научных форумах и опубликованы в международных изданиях.

Настоящая статья по своему содержанию является логическим продолжением опубликованных ранее работ [1-3] и в ней исследована температурная зависимость механических характеристик наиболее часто используемого в дорожном строительстве битума марки БНД-100/130 и полимербитумных вяжущих, полученных на его основе. Рассматриваемый чистый битум был произведен Павлодарским нефтехимическим заводом из сырой нефти Западной Сибири (Россия) способом прямого окисления. Полимербитумные вяжущие были приготовлены в лабораторных условиях путем добавки в чистый битум полимеров Butonal NS 198 (в количестве 3,0 % от массы битума), Elvaloy 4170 (1,4 %), Calprene 501 (4,5 %) и полимера Calprene 501 (4,0 %) + полифосфорной кислоты (PPA – 0,02 %).

Чистый битум марки БНД-100/130 удовлетворяет требованиям стандарта СТ РК 1373-2013 [4], а полимербитумные вяжущие – требованиям стандарта СТ РК 1025-2010 [5]. Основные стандартные показатели чистого битума и полимербитумных вяжущих представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Основные стандартные показатели битума

Показатель	Единица измерения	Требования СТ РК 1373-2013	Значение
Пенетрация, 25 °С, 100 гр, 5с	0,1 мм	100-130	98
Индекс пенетрации PI	-	-1,0... +1,0	-0,96
Растяжимость: 25 °С	см	≥ 65	139
0 °С		≥ 4,0	5,5
Температура размягчения	°С	≥ 43	45,3
Температура хрупкости	°С	≤ -20	-24,6
Динамическая вязкость, 60 °С	Па·с	≥ 75	174,2
Кинематическая вязкость	мм ² /с	≥ 180	409,0

Таблица 2 – Основные стандартные показатели полимербитумных вяжущих

Показатель	Единица измерения	Значение			
		Butonal NS 198	Elvaloy 4170	Calprene 501	Calprene 501+ PPA
Пенетрация, 25 °С, 100 гр, 5с	0,1 мм	76	80	52	47
Растяжимость: 25 °С	см	115	49	64	49
0 °С		25	7,3	16	13,5
Температура размягчения	°С	63,8	67	76	77,3
Температура хрупкости	°С	-24,2	-25,1	-23,7	-20,6

Механические характеристики битумных вяжущих исследованы в соответствии с положениями современной технической системы Supergravel, разработанной в США с участием специалистов многих стран мира [6, 7].

Испытание битумных вяжущих при высоких температурах от 46 °С до 88 °С было выполнено на динамическом сдвиговом реометре (рисунок 1) по стандарту США AASHTO T 315-2008 [8] в исходном состоянии и после кратковременного искусственного состаривания. В испытаниях на образец вяжущего в форме круглой пластинки толщиной 1 мм и диаметром 25 мм прикладывалось сдвиговое напряжение, изменяемое во времени по синусоидальному закону. Частота деформирования составляла $\omega = 10$ рад/с. Для достижения теплового равновесия образец вяжущего предварительно выдерживался при температуре испытания не менее 10 минут. Были измерены комплексный сдвиговой модуль (G^*) и фазовый угол (δ) вяжущих.

Динамический сдвиговой реометр также был использован для испытания битумных вяжущих при средних температурах от 4 °С до 40 °С по стандарту AASHTO T 315-2008 [8] после двойного (кратковременного и долговременного) искусственного состаривания. Испытываемые образцы вяжущих имели форму круглой пластинки толщиной 2 мм и диаметром 8 мм. Частота деформирования составляла $\omega = 10$ рад/с.



Рисунок 1. Динамический сдвиговой реометр

Испытание битумных вяжущих при низких температурах -18, -24, -30 и -35 °С было осуществлено на реометре с изгибаемой балкой (рисунок 2) по стандарту AASHTO T 313-2008 [9] после двойного искусственного состаривания. Образцы вяжущих для испытания имели форму балки с размерами 6,25x12,5x125 мм. Перед испытанием образцы выдерживались при температуре испытания в течение 60 минут. Вначале испытания к образцу автоматически прикладывается нагрузка величиной 980 мН в течение 1 секунды и она сохраняется постоянной в течение последующих 240 с. Автоматически измеряется прогиб середины балки и вычисляются значения жесткости вяжущего (S) в разные моменты времени.

Кратковременное состаривание битумных вяжущих, которое моделирует состаривание вяжущего в процессе приготовления асфальтобетонной смеси и во время её укладки и уплотнения, выполнено по стандарту AASHTO T 240-2008 [10] в вертикальной тонкопленочной вращающейся печи. Их долговременное состаривание, моделирующее охрупчивание вяжущего в процессе эксплуатации дороги, осуществлено по стандарту США ASTM 6521-2008 [11] в специальном сосуде высоких температуры и давления.



Рисунок 2. Реометр с изгибаемой балкой

На рисунке 3 представлены графики зависимости комплексного сдвигового модуля исследуемых битумных вяжущих в исходном состоянии от температуры, а на рисунке 4 – графики температурной зависимости их фазового угла. Из рисунка 3 видно, что модификация битума полимерами увеличивает комплексный сдвиговой модуль. Эффект модификации существенно проявляется по мере понижения температуры. При этом наибольший эффект получен в случае модификации полимером Calprene 501 и полифосфорной кислотой.

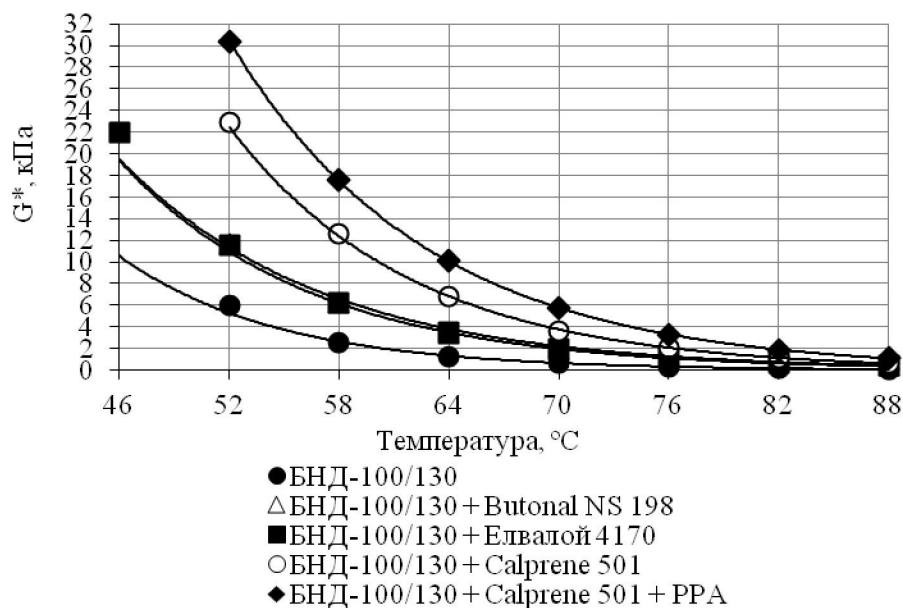


Рисунок 3. Зависимость комплексного сдвигового модуля вяжущих в исходном состоянии от температуры

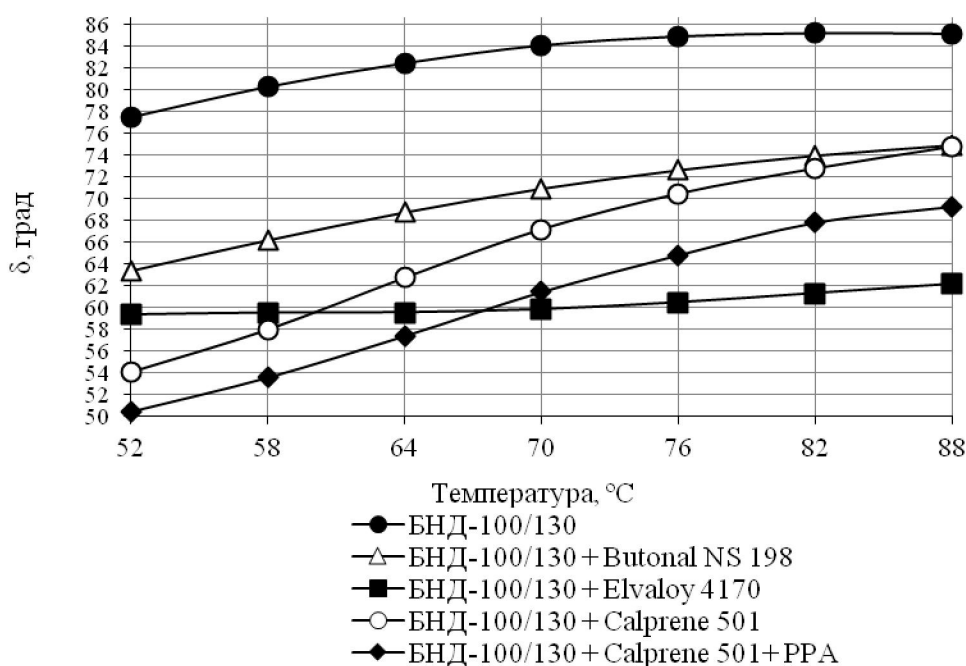


Рисунок 4. Зависимость фазового угла вяжущих в исходном состоянии от температуры

Из теории вязкоупругости [12] известно, что способность деформироваться вязкоупругого тела упруго или пластично можно характеризовать фазовым углом: чем меньше фазовый угол, тем больше тело деформируется упруго. Рисунок 4 показывает, что наибольшей способностью деформироваться упруго в рассмотренных пределах температуры обладает также битум, модифицированный полимером Calprene 501 и полифосфорной кислотой. Наименьшую упругость имеет чистый битум. Все рассмотренные полимеры повышают способность вяжущих деформироваться упруго. У всех битумных вяжущих, кроме модифицированного полимером Elvaloy 4170, с повышением температуры способность деформироваться упруго существенно понижается. Полимербитумное вяжущее с Elvaloy 4170 в указанных пределах температуры практически сохраняет постоянным способность упруго деформироваться и при температурах от 70 °C до 88 °C обладает наибольшей упругостью среди всех битумных вяжущих.

В технической системе Supergravel принято характеризовать способность битумных вяжущих сопротивляться образованию колеи в составе асфальтобетона при высоких температурах через так называемый показатель колееустойчивости $G^*/\sin(\delta)$ [6, 7, 13]. Графики температурной зависимости показателя колееустойчивости испытанных битумных вяжущих в исходном состоянии и после кратковременного состаривания представлены на рисунках 5 и 6. Как следовало ожидать, характер изменения показателя колееустойчивости в зависимости от температуры остается такой же как у комплексного сдвигового модуля (рисунок 3). В исходном состоянии наибольший показатель $G^*/\sin(\delta)$ имеет полимербитум с Calprene 501 и полифосфорной кислотой, а наименьший – чистый битум. Полимербитумы с Butonal NS 198, Elvaloy 4170 и Calprene 501 занимают промежуточные положения.

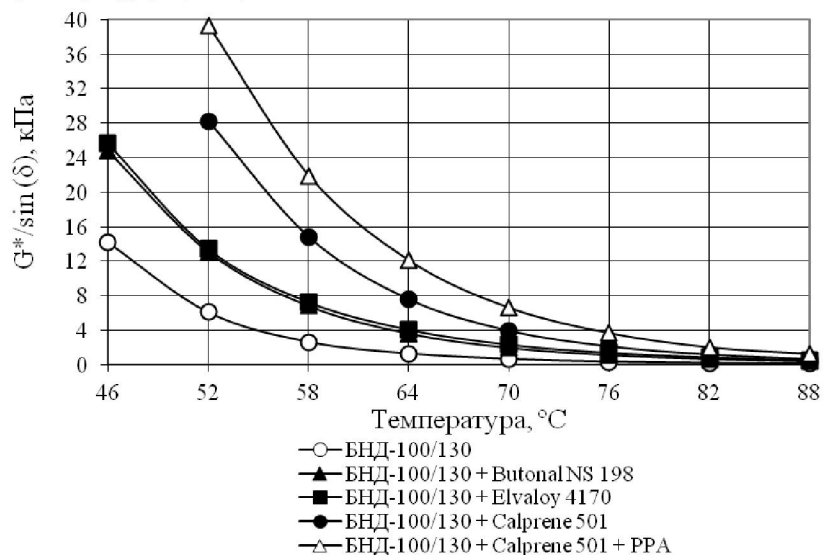


Рисунок 5. Зависимость показателя колееустойчивости битумных вяжущих в исходном состоянии от температуры

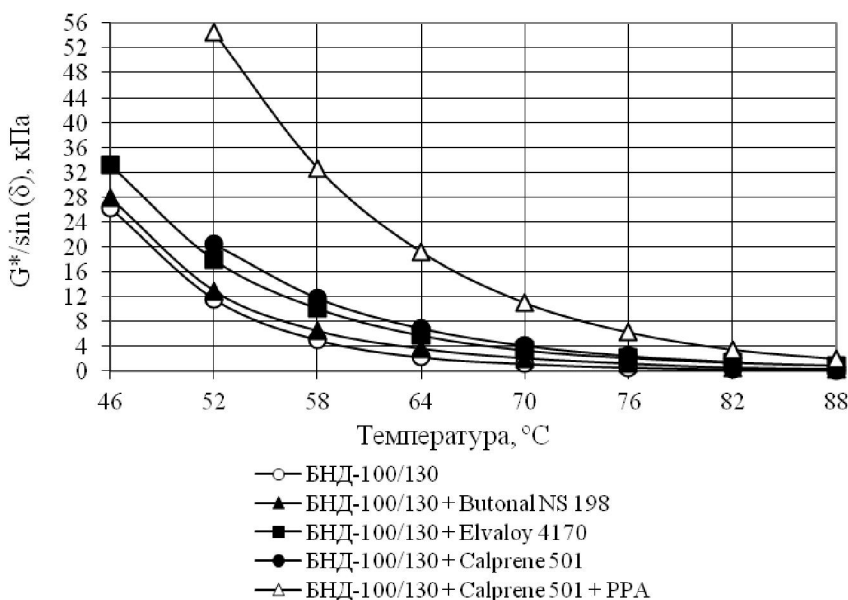


Рисунок 6. Зависимость показателя колееустойчивости битумных вяжущих после кратковременного состаривания от температуры

На наш взгляд, для анализа с точки зрения практического использования более полезным является температурная зависимость показателя $G^*/\sin(\delta)$ битумных вяжущих после кратковременного состаривания, так как накопление колеи на асфальтобетонном покрытии начинается только после его устройства. Из рисунка 6 видно, что колееустойчивость полимербитума с Calprene 501 и полифосфорной кислотой существенно выше, чем остальных вяжущих. Наименьшую колееустойчивость имеют чистый битум и полимербитум с Butonal NS

198. Также видно, что кроме полимербитума с Calprene 501 и полифосфорной кислотой, все остальные вяжущие проявляют близкие значения показателя колееустойчивости.

В соответствии с положениями Supergrape, способность битумных вяжущих сопротивляться усталостному трещинообразованию характеризуется показателем $G^* \cdot \sin(\delta)$ при средних температурах [6, 7, 13]. При этом принято, что чем меньше значение показателя $G^* \cdot \sin(\delta)$, тем больше вяжущее устойчиво усталостному трещинообразованию. Графики зависимости показателя усталостной трещиностойкости битумных вяжущих от средних температур после двойного состаривания показаны на рисунке 7.

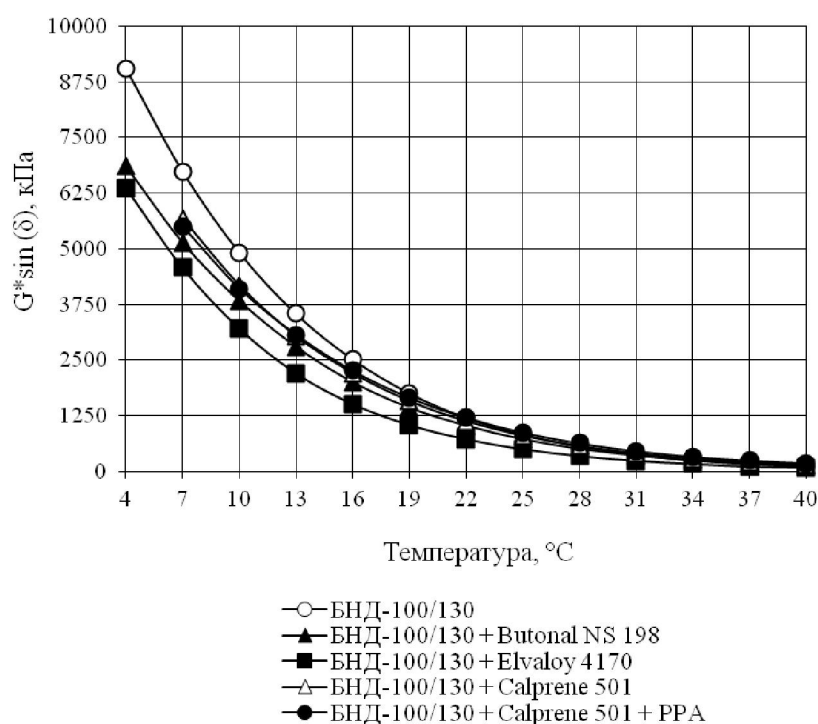


Рисунок 7. Зависимость показателя усталостной трещиностойкости битумных вяжущих после двойного состаривания от температуры

Из этого рисунка можно установить, что наибольшую усталостную трещиностойкость имеет полимербитум с Elvaloy 4170, а наименьшей – чистый битум. Промежуточное и практически одинаковое по показателю усталостной трещиностойкости положение занимают полимербитумы с Butonal NS 198, Calprene и Calprene + полифосфорная кислота.

При очень низких температурах, особенно достигаемых с высокой скоростью охлаждения, на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог появляются поперечные температурные трещины. Известно, что с понижением температуры жесткость битумного вяжущего повышается, что вызывает увеличение жесткости асфальтобетона. Он становится хрупким. Поэтому в настоящее время принято, чтобы асфальтобетон при низких температурах не был чрезмерно жестким и на нем не появились низкотемпературные трещины, жесткость битумного вяжущего не должна быть чрезмерно высокой [13]. Техническая система Supergrape в качестве одной из показателей, характеризующих устойчивость битумного вяжущего к низкотемпературному трещинообразованию, рекомендует жесткость (S) при длительности действия нагрузки $t = 60$ с [6, 7].

На рисунке 8 представлены графики зависимости жесткости испытанных битумных вяжущих при $t = 60$ с от температуры. Видно, что у всех вяжущих жесткость повышается с понижением температуры. Эффект модификации битума ощутим. Все полимербитумы показали более низкие значения жесткости по сравнению с чистым битумом. Этот эффект растет по мере понижения температуры. В интервале температуры от -18 °C до -24 °C все полимербитумы имеют практически одинаковую жесткость, а в интервале от -26 °C до -30 °C наименее трещиностойким является полимербитум с Elvaloy 4170. В области отрицательных температур от -32 °C до -35 °C самым трещиностойким из всех испытанных

битумных вяжущих является полимербитум с Butonal NS 198.

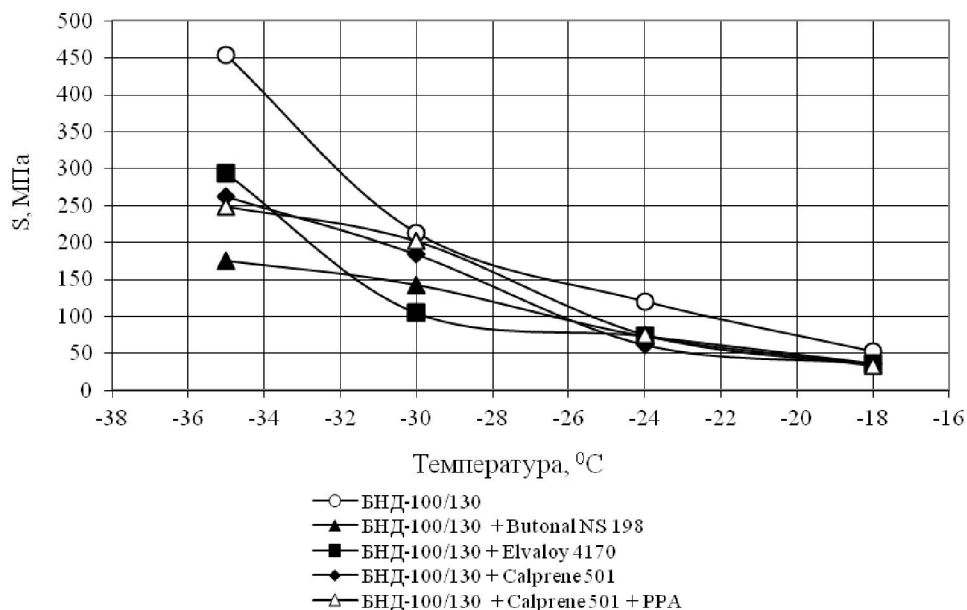


Рисунок 8. Зависимость жесткости битумных вяжущих от температуры при $t = 60$ с

На основе изложенных выше результатов исследования я температурной зависимости механических характеристик битумных вяжущих можно сделать следующие выводы:

1. Механические характеристики битумных вяжущих сильно зависят от температуры. Комплексный сдвиговой модуль G^* при высоких температурах (46 ... 88 °C) и жесткость при низких температурах (-18 ... -35 °C) изменяются в среднем в 3 раза при изменении температуры на 8-12 °C.

2. Модифицирование битумов полимерами существенно улучшает его механические свойства. При этом имеются температурные пределы, в которых разные полимербитумы показывают наилучшее механическое поведение.

3. При высоких температурах самым колебустойчивым из испытанных вяжущих оказался полимербитум с Calprene 501 и полифосфорной кислотой.

4. Наибольшую усталостную трещиностойкость при средних температурах (4 ... 40 °C) имеет полимербитум с Elvaloy 4170.

5. Самым устойчивым к образованию низкотемпературных трещин в интервале температуры от -32 °C до -35 °C является полимербитум с Butonal NS 198, а в интервале от -26 °C до -30 °C – полимербитум с Elvaloy 4170. При температуре от -18 °C до -24 °C все полимербитумы имеют практически одинаковую устойчивость к низкотемпературному трещинообразованию.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Teltayev B., Kaganovich E. Thermal resistance of blown bitumens to the conditions of sharp-continental climate. Journal of Applied Sciences. 2012. 12(12). Pp. 1297-1302.

[2] Teltayev B., Izmailova G., Amirbayev Y. Rheological properties of oxidized bitumen with polymer additive. Journal of Applied Sciences. 2015. 15(1). Pp. 129-137.

[3] Teltayev B., Kaganovich E. Bitumen and asphalt concrete requirements improvement for the climatic conditions of The Republic of Kazakhstan. Proceedings of the XXIVth World Road Congress. Mexico. 2011. CD.

[4] СТ РК 1373-2013. Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – Астана, 2013. – 16 с.

[5] СТ РК 1025-2010. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блок-сополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия. – Астана, 2010. – 10 с.

[6] AASHTO M 320. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder, 2008.

[7] Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Superpave Series No. 1. Third Edition, Asphalt Institute, Inc., 2003, pp. 1-59.

[8] AASHTO T 315. Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, 2008.

[9] AASHTO T 313. Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the

Bending Beam Rheometer, 2008.

[10] AASHTO T 240. Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test), 2008.

[11] ASTM D 6521. Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel, 2008.

[12] Tschoegl N.W. The phenomenological theory of linear viscoelastic behavior. Heidelberg, Springer-Verlag, 1989, 769 p.

[13] Радовский Б.С., Телтаев Б.Б. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям. – Алматы: «Білім» баспасы, 2013. – 152 с.

REFERENCES

[1] Teltayev B., Kaganovich E. Thermal resistance of blown bitumens to the conditions of sharp-continental climate. Journal of Applied Sciences. 2012. 12(12). Pp. 1297-1302. (in Eng.).

[2] Teltayev B., Izmailova G., Amirbayev Y. Rheological properties of oxidized bitumen with polymer additive. Journal of Applied Sciences. 2015. 15(1). Pp. 129-137. (in Eng.).

[3] Teltayev B., Kaganovich E. Bitumen and asphalt concrete requirements improvement for the climatic conditions of The Republic of Kazakhstan. Proceedings of the XXIVth World Road Congress. Mexico. 2011. CD. (in Eng.).

[4] СТ РК 1373-2013. Bitumens and bitumen binders. Oil road viscous bitumens. Technical specifications. Astana, 2013. 16 p. (in Russ.).

[5] СТ РК 1025-2010. Polymer modified bitumen binders on of block-copolymers of styrene-butadiene-styrene. Technical specifications. Astana, 2010. 10 p. (in Russ.).

[6] AASHTO M 320. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder, 2008. (in Eng.).

[7] Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Superpave Series No. 1. Third Edition, Asphalt Institute, Inc., 2003, pp. 1-59. (in Eng.).

[8] AASHTO T 315. Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, 2008. (in Eng.).

[9] AASHTO T 313. Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer, 2008. (in Eng.).

[10] AASHTO T 240. Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test), 2008. (in Eng.).

[11] ASTM D 6521. Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel, 2008. (in Eng.).

[12] Tschoegl N.W. The phenomenological theory of linear viscoelastic behavior. Heidelberg, Springer-Verlag, 1989, 769 p. (in Eng.).

[13] Radovskiy B., Teltayev B. Visco-elastic properties of asphalts based on penetration and softening point. Almaty, Publisher «Bilim», 2013. 152 p. (in Russ.).

Битумдық тұтқырғыштардың механикалық сипаттамаларының температуралық байланыстылықтары

Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

bagdatbt@yahoo.com

Тірек сөздер: Битум, полимерлер, температура, комплекстік ығысу модулы, фазалық бұрыш, қаттылық, динамикалық ығысу реометрі, иілгіш арқалықты реометр.

Аннотация: Мақалада битумдық тұтқырғыштардың механикалық сипаттарының температуралық байланыстылықтары зерттеледі. Зерттеуге МЖБ-100/130 маркалы таза жол тұтқыр битумы және осы таза битумға Vitonal NS 198, Elvaloy 4170, Calprene 501 полимерлері, Calprene 501 полимері мен полифосфор қышқылын қосу жолымен жасалған полимербитум тұтқырғыштары алынды. Битумдық тұтқырғыштарды зерттеу тәжірибелік жолмен зертхана жағдайларында орындалды. Битумдық тұтқырғыштардың үлкен (46 ... 88 °С) және орташа (4 ... 40 °С) температураларда комплекстік ығысу модулы мен фазалық бұрышы динамикалық ығысу реометрінде, ал төменгі (-18 ... -35 °С) температуралардағы қаттылығы иілгіш арқалықты реометрде анықталды. Полимермен модифицирлеу битумның үлкен, орташа және төменгі температуралардағы механикалық сипаттарын айтарлықтай арттыратыны анықталды. Әр полимер барынша жақсы механикалық сипатын көрсететін температуралық шектер табылды.

Сведения об авторе:

Телтаев Багдат Бурханбайұлы – доктор технических наук, профессор, президент АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт».

Адрес: Республика Казахстан, 050061,

г. Алматы, ул. Нурпеисова, 2а, АО «КаздорНИИ»

e-mail: bagdatbt@yahoo.com

Поступила 17.03.2015 г.