

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 3, Number 301 (2015), 67 – 76

A method of determining of relaxation function bitumen**B.B. Teltayev**bagdatbt@yahoo.com

Kazakhstan Highway Research Institute, Almaty, Kazakhstan

Key words: Bitumen, hot mix asphalt, stiffness, relaxation function, temperature-time superposition.

Abstract: On the example of viscous oil road bitumen of BND-90/130 grade, determining of its relaxation function at low temperatures (-12 °C ... -35 °C) with using of bending beam rheometer results is shown. The bitumen has been produced by Pavlodar processing plant from crude oil of Western Siberia (Russia) and it meets the requirements of standard ST RK 1373-2005. The stiffness curves of the bitumen at different temperatures and loading time from 8 to 240 s have been constructed. The bitumen stiffness master curve at temperature of -22,2 °C has been plotted and the temperature-time superposition function has been determined. The temperature-time superposition function has been fitted by a semilogarithm dependence with high accuracy ($R^2 = 0,989$). Discrete values of the relaxation modulus have been calculated on the modified Hopkins-Hamming algorithm. Fitting of the stiffness master curve and the relaxation function has been carried out by an equation with three parameters. Using the Hirsch model the relaxation function of the fine graded (type B) hot mix asphalt has been determined. It has been stated that at temperature of -22,2 °C starting from loading time $t = 0,001$ s the relaxation function of the bitumen significantly influences the hot mix asphalt relaxation function.

УДК 625.7/8:691.163

**Об одном способе построения функции
релаксации битума****Б.Б Телтаев**bagdatbt@yahoo.com

Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт Алматы, Казахстан

Ключевые слова: Битум, асфальтобетон, жесткость, функция релаксации, температурно-временная суперпозиция.

Аннотация: На примере вязкого дорожного битума марки БНД-90/130 показан способ построения его функции релаксации при низких температурах (-12 °C ... -35 °C) по результатам испытания на реометре с изгибаемой балкой. Построена обобщенная кривая жесткости битума при приведенной температуре -22,2 °C и определена функция температурно-временной суперпозиции. Дискретные значения модуля релаксации вычислены по модифицированному алгоритму Гопкинса-Хемминга. Сглаживание обобщенной кривой жесткости и функции релаксации выполнено трехпараметровым уравнением. Используя модифицированную модель Хирша, определена функция релаксации мелкозернистого асфальтобетона типа Б.

1. Введение

Битумы в дорожном строительстве необходимы для приготовления асфальтобетонов и являются одним из основных дорожных материалов, как в Казахстане, так и за рубежом [1, 2]. Известно, что битумы являются вязкоупругим материалом, механические свойства которого зависят от температуры и длительности действия нагрузки [3, 4]. Важной характеристикой вязкоупругих свойств битумов и асфальтобетонов, приготовленных с их использованием, является функция релаксации [5]. Существует много методов прямого экспериментального определения функции релаксации вязкоупругих материалов и способов её построения, используя результаты измерения других вязкоупругих характеристик [6, 7].

В настоящей работе на примере вязкого нефтяного дорожного битума марки БНД-90/130 продемонстрирован способ построения его функции релаксации при низких температурах по результатам испытания на реометре с изгибаемой балкой.

Таблица 1. Максимальные прогибы битумной балки при разных температурах и длительности нагружения

Температур а, °С	Максимальный прогиб битумной балки (мм) при длительности нагружения (с)					
	8	15	30	60	120	240
-12,2	1,8727	2,2569	2,8873	3,8355	5,2606	6,6477
-14,1	1,5303	1,8671	2,4361	3,3104	4,5057	5,4708
-18,0	0,7274	0,8700	1,1020	1,4503	1,9708	2,6989
-20,4	0,6386	0,7609	0,9603	1,2647	1,7250	2,4035
-22,2	0,5394	0,6372	0,7958	1,0377	1,3906	1,8947
-24,1	0,3359	0,3974	0,4969	0,6472	0,8709	1,1811
-27,3	0,2873	0,3343	0,4150	0,5518	0,7855	1,1563
-30,3	0,2124	0,2457	0,2976	0,3802	0,5072	0,6847
-32,2	0,1379	0,1588	0,1932	0,2489	0,3355	0,4605
-34,9	0,1045	0,1182	0,1406	0,1771	0,2355	0,3208

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

2.1. Битум

Для испытания на реометре с изгибаемой балкой был выбран вязкий нефтяной дорожный битум марки БНД-90/130, который в настоящее время наиболее часто используется в дорожном строительстве в Казахстане. Он был произведен Павлодарским нефтехимическим заводом из сырой нефти Западной Сибири (Россия) способом прямого окисления. Битум удовлетворяет требованиям стандарта СТ РК 1373-2005 /8/. Его основные стандартные показатели в исходном состоянии, после кратковременного и длительного старений представлены в таблице 2.

Таблица 2. Основные стандартные показатели битума

Показатель	Требование СТ РК 1373-2005 (исходное состояние)	Значение показателя		
		в исходном состоянии	после кратковременного старения	после длительного старения
Пенетрация (25 °С, 100 гр, 5 с), 0,1 мм	90-130	98	69	44
Индекс пенетрации	-1,0 ... +1,0	-0,96	-0,26	+0,34
Температура размягчения, °С	≥ 43	45,3	51	58,3
Температура хрупкости, °С	≤ -20	-24,6	-23	-21,2
Динамическая вязкость (60 °С), Па·с	≥ 75	174,2	416,7	1510
Кинематическая вязкость, мм ² /с	≥ 180	409	-	-
Растяжимость, см:				
-25 °С	≥ 65	139	-	-
-0 °С	≥ 4,0	5,5	-	-

2.2. Испытание

Испытание битумных вяжущих при десяти низких температурах (-12,2; -14,1; -18,0; -20,4; -22,2; -24,1; -27,3; -30,3; -32,2 и -34,9) было осуществлено на реометре с изгибаемой балкой (рисунок 1) 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 1. Реометр с изгибаемой балкой

3. ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ РЕЛАКСАЦИИ БИТУМА

3.1. Жесткость битума

Жесткость битума по результатам испытания на реометре с изгибаемой балкой вычисляется по формуле [12]:

$$S(t) = \frac{P \cdot \ell^3}{4 \cdot b \cdot h \cdot \delta(t)}, \quad (1)$$

где $S(t)$ - жесткость битума в момент времени t ;

$\delta(t)$ - максимальный прогиб битумной балки в момент времени t ;

P - нагрузка;

b , h , ℓ - ширина, высота и длина битумной балки.

Вычисленные по формуле (1) значения жесткости испытанного битума при разных температурах и длительности нагружения, используя данные таблицы 1, представлены в таблице 3. Для наглядности и осуществления дальнейших необходимых действий кривые жесткости битума, построенные по данным таблицы 3, показаны на рисунке 2. Как следовало ожидать, жесткость битума как типичного вязкоупругого материала с уменьшением температуры и длительности нагружения повышается, а с повышением температуры и длительности нагружения, наоборот, уменьшается.

Таблица 3. Жесткость битумной балки при разных температурах и длительности нагружения

Температура, °C	Максимальный прогиб битумной балки (мм) при длительности нагружения (с)					
	8	15	30	60	120	240
-12,2	42,477	35,246	27,55	20,739	15,121	11,966
-14,1	52,226	42,805	32,807	24,143	17,738	14,609
-18,0	109,637	91,667	72,369	54,989	40,466	29,549
-20,4	125,075	104,971	83,175	63,155	46,303	33,232
-22,2	148,349	125,58	100,552	77,112	57,543	42,233

-24,1	237,641	200,865	160,643	123,337	91,657	67,584
-27,3	278,523	239,364	192,818	145,015	101,871	69,203
-30,3	375,972	325,016	268,335	210,038	157,446	116,63
-32,2	581,988	505,391	415,404	322,443	239,214	174,28
-34,9	768,314	679,262	571,044	453,353	340,929	250,277

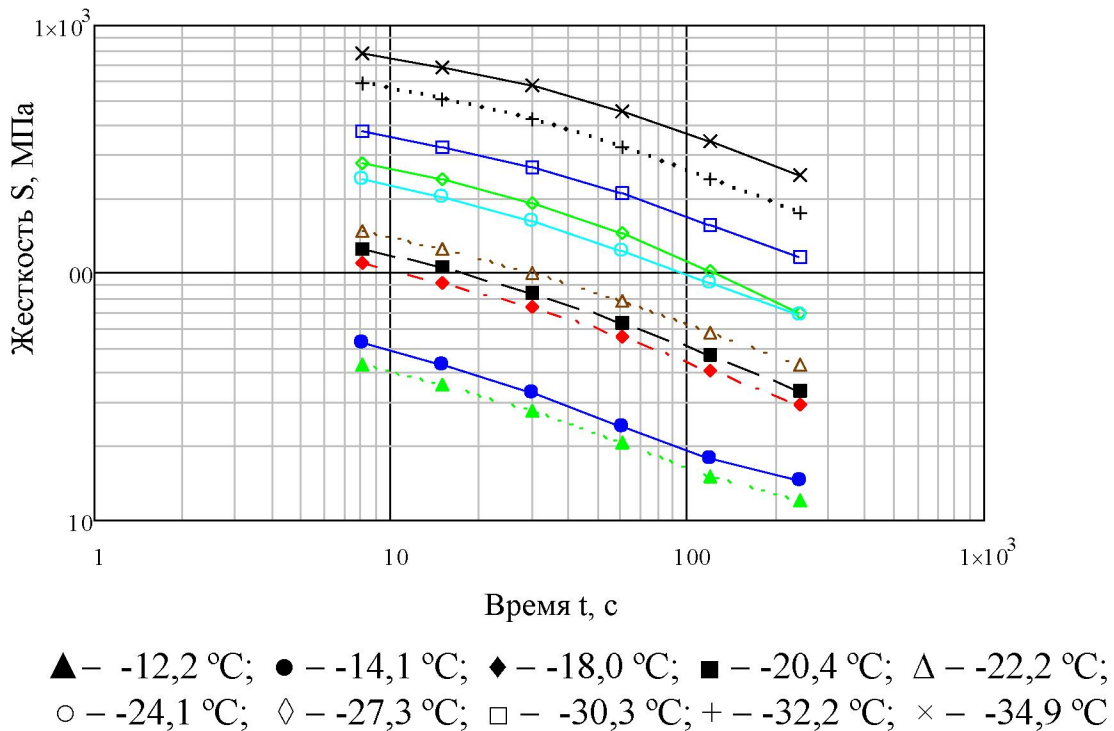


Рисунок 2. Кривые жесткости битума при разных температурах

3.2. Обобщенная кривая жесткости и температурно-временная суперпозиция

Попытаемся теперь путем сдвига кривых жесткости битума, показанных на рисунке 2, совместить их в одну общую кривую. Выберем для этого в качестве базовой (приведенной) температуру, равную -22,2 °C. Все остальные кривые жесткости будем сдвигать в горизонтальном направлении. Полученная обобщенная кривая жесткости при приведенной температуре -22,2 °C показана на рисунке 3. Как видно, удалось получить для исследуемого битума единую обобщенную кривую жесткости при указанной температуре.

Построим зависимость между величинами горизонтального (по оси времени) сдвига кривых жесткости (коэффициента приведения a_T) и соответствующими температурами. Величины сдвигов и соответствующих температур даны в таблице 4.

Таблица 4. Величины сдвигов по оси времени при разных температурах

Температура, °C	Коэффициент приведения	Температура, °C	Коэффициент приведения
-12,2	1 27,4	-24,1	3,5
-14,1	1 16,2	-27,3	5,2
-18,0	1 2,4	-30,3	16,1
-20,4	1 1,6	-32,2	62,2
-22,2	1	-34,9	152,8

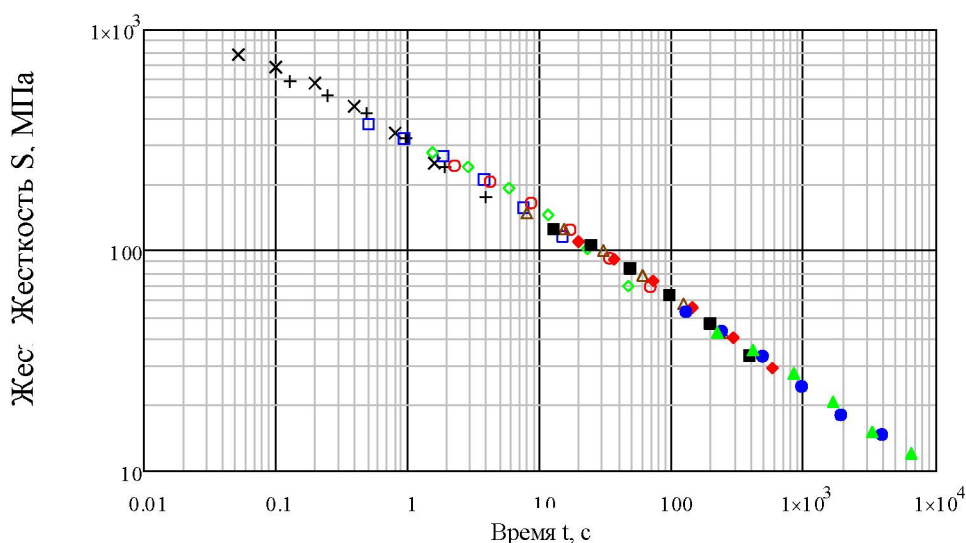


Рисунок 3. Обобщенная кривая жесткости битума при температуре $-22,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Построенный по данным таблицы 4 график зависимости коэффициента приведения от температуры показан на рисунке 4. Четко видно, что полученную зависимость можно трактовать как билинейную. Правая ветвь этой зависимости в пределах температуры от $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеет малый наклон и показывает, что с понижением температуры жесткость битума повышается с относительно малой скоростью. Её левая ветвь показывает, что в пределах температуры от $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура очень сильно влияет на жесткость битума. Малое изменение температуры вызывает существенное изменение жесткости битума.

Одним из важных характеристик вязкоупругих материалов в области отрицательных температур является так называемая температура стеклования [7, 13]. Она определяется как температура, при достижении которой подвижность молекул материала резко уменьшается. Билинейный характер зависимости и очень большой наклон левой ветви графика на рисунке 4 наводят на мысль о том, что, возможно, точка пересечения прямых линий, проходящих по правой и левой ветвям зависимости, соответствует температуре стеклования битума. Определенная по указанному способу на графике рисунка 4 температура стеклования равна примерно $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$.

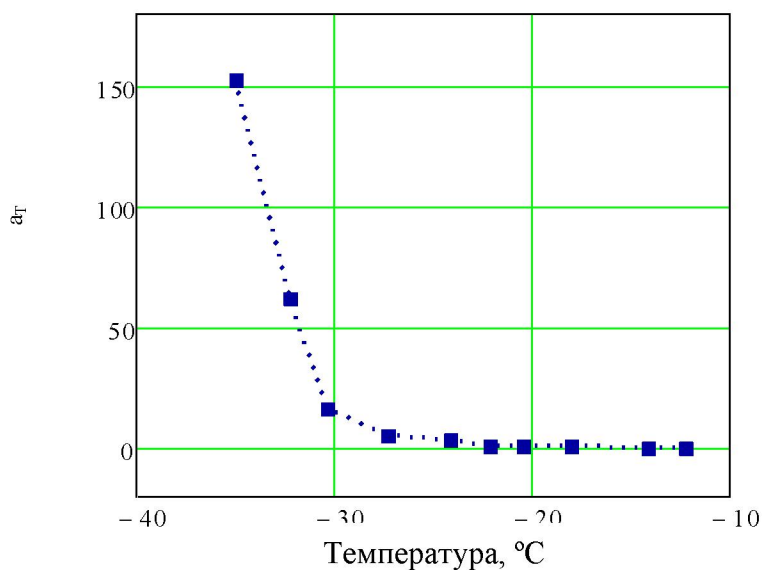


Рисунок 4. Зависимость коэффициента приведения от температуры

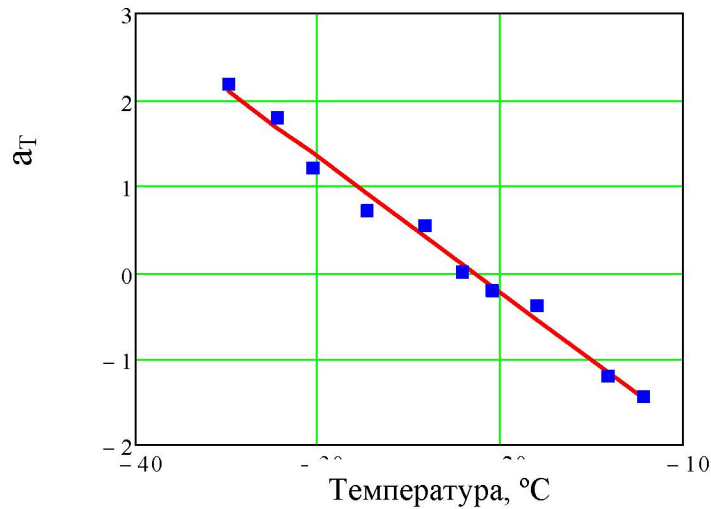


Рисунок 5. Зависимость коэффициента приведения от температуры в полулогарифмических координатах

Зависимость, показанная на рисунке 4, на полулогарифмических координатах превращается в линейную (рисунок 5), которая с высокой достоверностью ($R^2 = 0,989$) описывается следующим уравнением:

$$\lg a_T = -3,358 - 0,156 \cdot T, \quad (2)$$

где a_T - коэффициент приведения;

T - температура, °C.

Выражение (2) представляет собой уравнение, описывающее температурно-временную суперпозицию для исследуемого битума. Имея аналитическое выражение для обобщенной кривой жесткости (рисунок 3) и уравнение температурно-временной суперпозиции, можно построить кривые жесткости битума в широких пределах изменения температуры и времени нагружения.

3.3. Сглаживание обобщенной кривой жесткости

Для аналитического описания (сглаживания) обобщенной кривой жесткости принята функция следующего вида:

$$S(t) = \frac{S_g}{\left[1 + \left(\frac{S_g \cdot t}{q_0} \right)^{q_1} \right]^{\frac{1}{q_2}}}, \quad (3)$$

где $S(t)$ - жесткость битума, МПа;

S_g - жесткость стеклования битума, МПа;

t - время, с;

q_0, q_1, q_2 - коэффициенты.

Процесс сглаживания был осуществлен с помощью прикладного математического пакета Маткад, используя алгоритм Левенберга-Марквардта [14]. Значения жесткости стеклования битума было принято равным $S_g = 3\,000$ МПа [15]. Установлены следующие значения коэффициентов сглаживания: $q_0 = 27,7539$; $q_1 = 0,3138$, $q_2 = 0,7775$.

Таким образом, сглаживающая функция обобщенной кривой жесткости битума при температуре $-22,2$ °C имеет следующий окончательный вид:

$$S(t) = \frac{3000}{\left[1 + \left(\frac{3000 \cdot t}{27,7539}\right)^{0,3138}\right]^{\frac{1}{0,7775}}} \quad (4)$$

Графически результат сглаживания обобщенной кривой жесткости битума показан на рисунке 6. Видно, что результат сглаживания получился удовлетворительным. Вычисленное значение среднеквадратического отклонения составило 5,1 %.

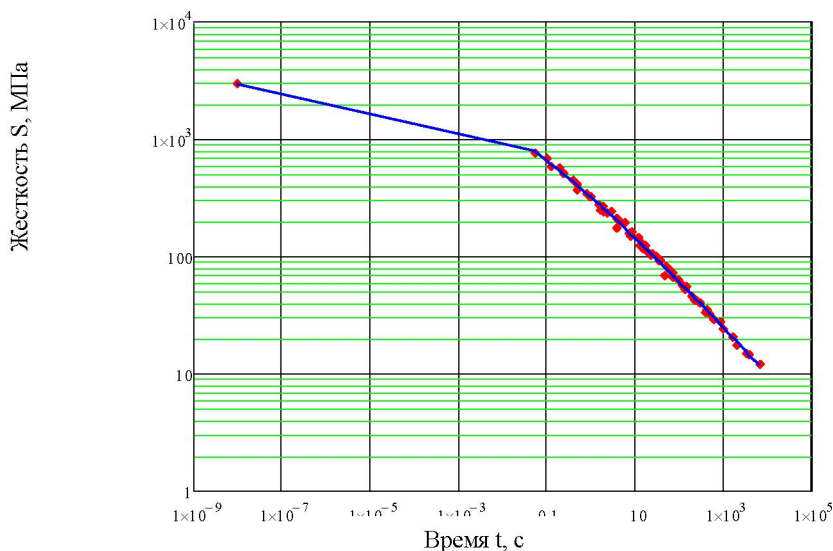


Рисунок 6. Сглаживание обобщенной кривой жесткости битума при температуре $-22,2^{\circ}\text{C}$.

3.4. Функция релаксации битума

Одним из надежных способов вычисления модуля релаксации вязкоупругого материала по известным данным ползучести является алгоритм И. Гопкинса и Р. Хемминга /16/. В работе /5/ указанный алгоритм был усовершенствован и предложена более эффективная рекуррентная формула следующего вида:

$$E_m = \frac{2 - E_{m-1} \cdot [D(t_m - t_{m-1}) - D(0)]}{D(0) + D(t_m - t_{i-1})} - \frac{\sum_{i=1}^{m-1} (E_{i-1} + E_i) \cdot [D(t_m - t_{i-1}) - D(t_m - t_i)]}{D(0) + D(t_m - t_{i-1})}, \quad (5)$$

где E_m, E_{m-1} - модули релаксации в моменты времени t_m и t_{m-1} соответственно;

E_i, E_{i-1} - модули релаксации в моменты времени t_i и t_{i-1} соответственно;

$D(0)$ - мгновенная податливость;

$D(\dots)$ - податливость при длительности нагружения (...).

При использовании рекуррентной формулы (5) следует учитывать, что:

1. Интересующий промежуток времени $0 < t < t_m$ разбивается на интервалы $[t_{i-1}, t_i]$.
2. Необходимо задавать значение мгновенного модуля релаксации, равного обратной мгновенной податливости:

$$E_0 = \frac{1}{D(0)}. \quad (6)$$

3. Также необходимо задавать значение модуля релаксации E_1 в начальный момент времени t_1 , которое вычисляется по формуле:

$$E_1 = \frac{3 - \frac{D(t_1)}{D(0)}}{D(0) + D(t_1)}. \quad (7)$$

Значения модулей релаксации E_0 и E_1 являются стартовыми для работы рекуррентной формулы (5). При этом время t_1 надо выбирать так, чтобы отношение $D(t_1)/D(0)$ не было больше 3.

Процесс последовательного вычисления значений модуля релаксации битума по рекуррентной формуле (5) с учетом выражений (6) и (7) был осуществлен с помощью пакета Маткад, используя алгоритм Левенберга-Марквардта [14].

Полученная функция релаксации битума представлена на рисунке 7. Она сглажена следующим аналитическим выражением:

$$E(t) = E_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{E_0 \cdot t}{q_0} \right)^{q_1} \right]^{-\frac{1}{q_2}}, \quad (8)$$

где $E(t)$ - функция релаксации, МПа;

E_0 - мгновенный модуль упругости, равный 3 000 МПа;

t - время, с;

q_0, q_1, q_2 - коэффициенты.

В результате сглаживания функции релаксации битума при температуре $-22,2$ °С установлены следующие значения коэффициентов: $q_0 = 11,7157$; $q_1 = 0,3400$; $q_2 = 0,8349$.

Таким образом, аналитическое выражение функции релаксации рассматриваемого битума при температуре $-22,2$ °С имеет следующий окончательный вид:

$$E(t) = 3\,000 \cdot \left[1 + \left(\frac{3\,000 \cdot t}{11,7157} \right)^{0,34} \right]^{-\frac{1}{0,8349}}. \quad (9)$$

Вычисленное значение среднеквадратического отклонения составило всего лишь 0,564 %.

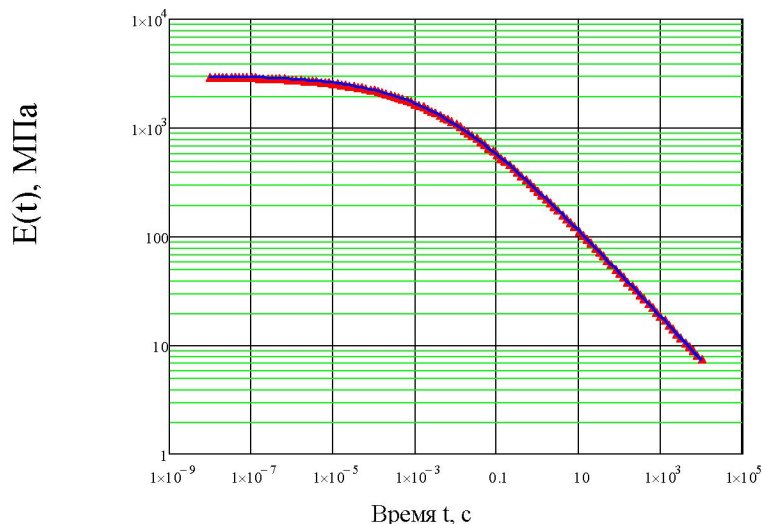


Рисунок 7. Функция релаксации битума при температуре $-22,2$ °С

4. ФУНКЦИЯ РЕЛАКСАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Имея функцию релаксации битума и используя одну из моделей для эффективного модуля композитного материала, можно построить функцию релаксации асфальтобетона. Для этого используем модифицированную модель Хирша [17]:

$$E_{аб}(t) = P_c(t) \cdot [E_{agg} \cdot V_{agg} + E_b(t) \cdot V_b] + [1 - P_c(t)] \cdot \left[\frac{V_{agg}}{E_{agg}} + \frac{(1 - V_{agg})^2}{E_b(t) \cdot V_b} \right]^{-1}, \quad (10)$$

$$P_c(t) = 0,1 \cdot \ln[E_b(t)] + 0,609, \quad (11)$$

где $E_{аб}(t)$ - функция релаксации асфальтобетона;

$E_b(t)$ - функция релаксации битума;

$P_c(t)$ - функция контактного объема;

E_{agg} - модуль упругости каменного заполнителя;

V_{agg} - относительный объем каменного заполнителя, в долях единицы;

V_b - относительный объем битума, в долях единицы.

Примем для гранитного щебня $E_{agg} = 30\,000$ МПа и для наиболее часто используемого мелкозернистого асфальтобетона типа Б $V_{agg} = 0,845$, $V_b = 0,107$.

Вычисленная по выражению (10) функция релаксации асфальтобетона в сравнении с функцией релаксации битума показана на рисунке 8. Видим, что функция релаксации асфальтобетона имеет более высокие значения и начиная с $t = 0,001$ с на её величину оказывает существенное влияние функция релаксации битума.

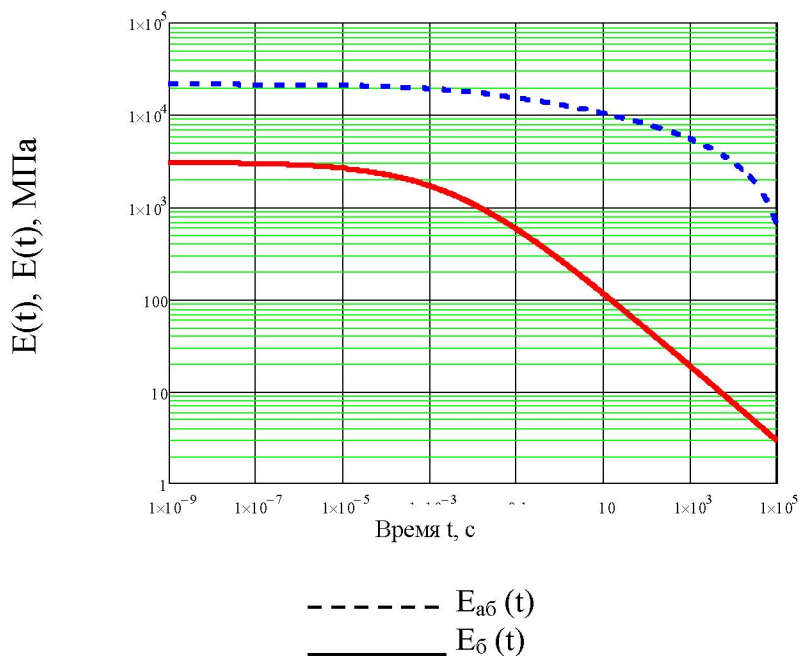


Рисунок 8. Функции релаксации асфальтобетона и битума при температуре $-22,2$ °C

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Papagiannakis A., Masad E. Pavement Design and Materials. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2008.
- [2] Yoder, E.J., Witzak, M.W. Principles of Pavement Design. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 1975, 736 p.
- [3] Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М.: Транспорт, 1973. - 264 с.

- [4] Руденская И.М. Нефтяные битумы. – М.: Высшая школа, 1964. – 42 с.
- [5] Радовский Б.С., Телтаев Б.Б. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям. – Алматы: «Білім» баспасы, 2013. – 152 с.
- [6] Tschoegl N.W. The phenomenological theory of linear viscoelastic behavior. Heidelberg, Springer-Verlag, 1989, 769 p.
- [7] Ferry J.D. Viscoelastic Properties of Polymers. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1980.
- [8] СТ РК 1373-2005. Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вяжущие. Технические условия. – Астана, 2005. – 24 с.
- [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] Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Superpave Series No. 1. Third Edition, Asphalt Institute, Inc., 2003, p. 1-59.
- [13] Bahia H.U., Anderson D.A. Glass transition behavior and physical hardening of asphalt binders. Journal of the Association of asphalt paving technologists. Vol. 62, 1993, p. 93-129.
- [14] Макаров Е.Г. Маткаад: Учебный курс (+CD). – Санкт-Петербург: Питер, 2009. – 384 с.
- [15] Christensen D.W., Anderson D.A. Interpretation of dynamic mechanical test data for paving grade asphalt cements. Journal of the Association of asphalt paving technologists. Vol. 61, 1992, p. 67-116.
- [16] Hopkins I.L., Hamming C.L. On creep and relaxation. Journal of applied physics. 28, 1957, p. 19-32.
- [17] Marasteanu M., Velasquez R., Falchetto A.C., Zofka A. Development of a simple test to determine the low temperature creep compliance of asphalt mixtures. Final report for Highway IDEA project 133. June 2009. Innovations deserving exploratory analysis (IDEA) programs. TRB of the National Academies, USA.

REFERENCES

- [1] Papagiannakis A., Masad E. Pavement Design and Materials. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2008. (in Eng.).
- [2] Yoder, E.J., Witzczak, M.W. Principles of Pavement Design. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 1975, 736 p. (in Eng.).
- [3] Kolbanovskaya A.S. Road bitumens. Moscow, Transport, 1973, 264 p. (in Russ.).
- [4] Rudenskaya I.M. Oil bitumens. Moscow, High school, 1964, 42 p. (in Russ.).
- [5] Radovskiy B., Teltayev B. *Visco-elastic properties of asphalts based on penetration and softening point. Almaty, Publisher «Bilim», 2013. 152 p. (in Russ.).*
- [6] Tschoegl N.W. The phenomenological theory of linear viscoelastic behavior. Heidelberg, Springer-Verlag, 1989, 769 p. (in Eng.).
- [7] Ferry J.D. Viscoelastic Properties of Polymers. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1980, (in Eng.).
- [8] СТ РК 1373-2005. *Bitumens and bitumen binders. Oil road viscous bitumens. Technical specifications. Astana, 2005, 24 p. (in Russ.).*
- [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] Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Superpave Series No. 1. Third Edition, Asphalt Institute, Inc., 2003, p. 1-59. (in Eng.).
- [13] Bahia H.U., Anderson D.A. Glass transition behavior and physical hardening of asphalt binders. Journal of the Association of asphalt paving technologists. Vol. 62, 1993, p. 93-129. (in Eng.).
- [14] Makarov E.G. MathCAD: Textbook (+CD). Saint Petersburg, Piter, 2009, 384 p. (in Russ.).
- [15] Christensen D.W., Anderson D.A. Interpretation of dynamic mechanical test data for paving grade asphalt cements. Journal of the Association of asphalt paving technologists. Vol. 61, 1992, p. 67-116. (in Eng.).
- [16] Hopkins I.L., Hamming C.L. On creep and relaxation. Journal of applied physics. 28, 1957, p. 19-32. (in Eng.).
- [17] Marasteanu M., Velasquez R., Falchetto A.C., Zofka A. Development of a simple test to determine the low temperature creep compliance of asphalt mixtures. Final report for Highway IDEA project 133. June 2009. Innovations deserving exploratory analysis (IDEA) programs. TRB of the National Academies, USA. (in Eng.).

БИТУМНЫҢ РЕЛАКСАЦИЯ ФУНКЦИЯСЫН БІР ТӘСІЛІ ТУРАЛЫ АНЫҚТАУДЫҢ

Б.Б.Телтаев

bagdatbt@yahoo.com

Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: Битум, асфальтобетон, қаттылық, релаксация функциясы, температура-уақыт функциясы.

Аннотация: БМЖ-90/130 маркалы тұтқыр жол мұнай битумы мысалында оның төменгі (-12 °С ... -35 °С) температуралардағы релаксация функциясын илгіш арқалықты реометрде сынау нәтижелері бойынша анықтау көрсетілген. -22,2 °С келтіру температурасында битумның қаттылығының жалпыландырылған қисық сызығы мен температура-уақыт функциясы анықталды. Релаксация модулінің дискреттік мәндері жетілдірілген Гопкинс-Хемминг алгоритмі бойынша есептелді. Қаттылықтың жалпыландырылған қисық сызығы мен релаксация функциясы үшпараметрлік теңдеумен өрнектелді. Жетілдірілген Хирш моделін пайдаланып, Б типтегі майда түйіршікті асфальтобетонның релаксация функциясы анықталды.

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 16.02.2015 г.