

УДК 691.16

М. К. ПАКТЕР, И. В. КАНДАЕВА, И. П. ЖУКОВ, А. Ю. МИРОНЕНКО, Т. С. ВОВК, А. В. МИРОШНИЧЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

О РАСЧЕТНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ХРУПКОСТИ БИТУМОВ И БИТУМОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложен способ уменьшения погрешности при расчетном определении температуры хрупкости битумов (T_{xp}) по методу С. Л. Вдовиченко (по Π_{25} и T_p) за счет использования корреляций расчетных и экспериментальных значений T_{xp} . Показано, что эти корреляции различаются для битумов различного происхождения. Предложенный способ позволяет использовать метод С. Л. Вдовиченко также для расчетного определения T_{xp} модифицированных вязких дорожных битумов и синтетических битумоподобных вяжущих.

вязкие дорожные битумы, битумы, модифицированные полимерами (БМП), битумоподобные вяжущие вещества, температура хрупкости битумов

Температура хрупкости битума (T_{xp}) – важный показатель его качества, поскольку является нижней границей интервала пластичности, а также – нижним температурным пределом эксплуатационного применения асфальтобетонных дорожных покрытий [1]. Этот показатель нормируется ДСТУ 4044-2001 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия».

Вместе с тем экспериментальное определение T_{xp} по Фраасу (ГОСТ 11507-78 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу») связано с серьезными погрешностями, которые могут достигать 1...5 °С [1].

В качестве альтернативы экспериментальному определению T_{xp} предложены аналитические (расчетные методы), исходными данными для которых служат характеристики физических свойств битумов (температура размягчения T_p , пенетрация при 25 °С (Π_{25}) и 0 °С, индекс пенетрации, динамическая вязкость, эквивалентные температуры для $\Pi = 31$ дмм и $\Pi = 800$ дмм) [1–7].

Однако и эти расчетные методы связаны с погрешностью в несколько градусов.

Цель данной работы – наметить подходы к уменьшению этих расчетных погрешностей при определении аналитическим (расчетным) методом температуры хрупкости дорожных битумов.

В настоящее время отсутствует единое мнение о том, каким фундаментальным свойствам битума соответствует T_{xp} [1]. Однако это температура, близкая к температуре стеклования, при которой отсутствует сегментальная подвижность крупных молекул и перескоки мономерных молекул. Согласно [5, 8] T_p битума соответствует вязкость $\eta_{Tp} \approx 1\,500$ Па·с, а $\eta_{Tp} \approx 10^{11} \dots 10^{12}$ Па·с. В свою очередь, вязкость связана с пенетрацией при температуре ее измерения [5, 9].

Отсюда следует связь T_{xp} с вязкостью, а через нее – с T_p и пенетрацией (и совсем не обязательно с Π_{25}). Поскольку вязкость и связанные с ней свойства битумов зависят от их группового химического состава (ГХС), молекулярной массы, строения и полярности групповых компонентов, распределения их по молекулярным массам (ММР) и типам функциональностей (РТФ) [5, 9–13], нетрудно понять, что предложенные расчетные методы не могут обеспечить высокую точность определения T_{xp} для битумов различного происхождения и состава.

Однако можно предположить, что применение расчетного метода к битумам-аналогам (имеющим сходный ГХС и близкие по своим параметрам компоненты) может быть скорректировано таким образом, что обеспечит приемлемую точность определения T_{xp} .

Для проверки этого предположения мы использовали метод С. Л. Вдовиченко [6, 7] применительно к вязким дорожным битумам (по ДСТУ 4044-2001); битумам, модифицированным полимерами, и синтетическим битумоподобным вяжущим [14].

© М. К. Пактер, И. В. Кандаева, И. П. Жуков, А. Ю. Мироненко, Т. С. Вовк, А. В. Мирошниченко, 2016

Расчет выполнялся по методике и номограммам, приведенным в работе [7]: по значениям Π_{25} и T_p для данного образца битума находили коэффициент теплочувствительности битума (K_T) по соответствующей номограмме. Затем по номограмме для определения температуры хрупкости находили T_{xp} , используя найденный K_T и T_p в качестве входных параметров.

Коэффициент теплочувствительности битума K_T определяется как отношение перепада уровней вязкости при температуре определения пенетрации (25°C) и T_p (метод К и Ш) к величине этого температурного интервала (выраженного разностью обратных температур) [6]:

$$K_T = \frac{\lg \eta_{25} - \lg \eta_{T_p}}{\left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T_p} \right)}$$

Эта формула подтверждает приведенные выше рассуждения о связи T_{xp} с Π_{25} и T_p через вязкость битума и о неизбежности отклонений расчетных значений T_{xp}^p от экспериментальных T_{xp}^3 .

В табл. 1 приведен пример такого расчета (исходные данные взяты из [15, с. 214 / табл. 10.11]).

Таблица 1 – Расчет T_{xp} по методике [6, 7]

Битум	Π_{25} , дмм	T_p , $^\circ\text{C}$	T_{xp}^3 , $^\circ\text{C}$	K_T	T_{xp}^p , $^\circ\text{C}$	T_{xp}^H , $^\circ\text{C}$	ΔT_{xp}^p , $^\circ\text{C}$	ΔT_{xp}^H , $^\circ\text{C}$
БНД 40/60	53	53	-17	0,81	-13	-10	-4	-3
БНД 60/90	75	49	-19	0,82	-14	-12	-5	-2
БНД 90/130	96	47	-21	0,80	-16	-15	-5	-1
БНД 130/200	145	43	-23	0,78	-20	-17	-3	-3

Здесь $\Delta T_{xp}^p = T_{xp}^3 - T_{xp}^p$, $\Delta T_{xp}^H = T_{xp}^p - T_{xp}^H$, T_{xp}^H – максимально допустимое значение T_{xp} по ДСТУ 4044-2001.

Как видно из табл. 1, расчет дает завышенное значение T_{xp}^p по сравнению с фактическим (T_{xp}^3) и заниженное, по сравнению с максимально допустимым (T_{xp}^H). Такой вариант вполне приемлем для входного и операционного контроля T_{xp} битумов производственными дорожными лабораториями (вместо экспериментального определения, как это предполагается рядом авторов [1, 6, 7]).

На рис. 1а приведены парные линейные корреляции между T_{xp}^3 и T_{xp}^p для битумов из табл. 1 [15] и битумов другого происхождения, но также удовлетворяющих требованиям ДСТУ 4044 (взяты из [5]), прямые обозначены I и II, соответственно.

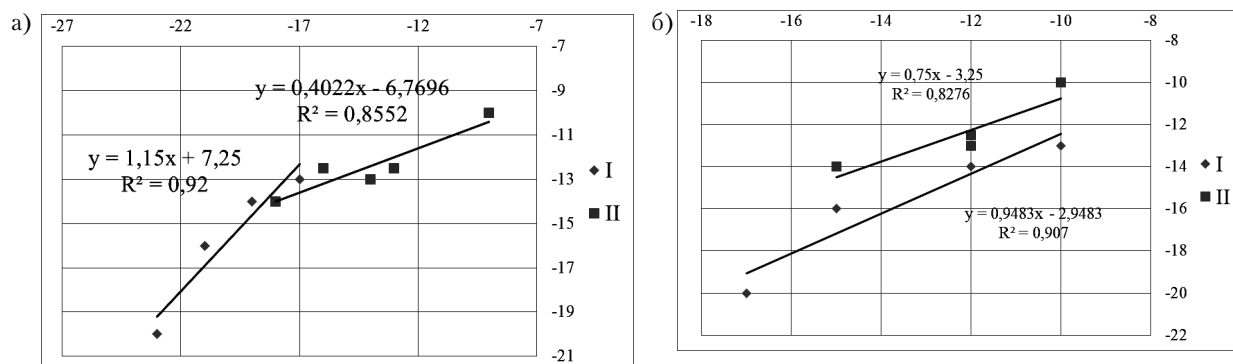


Рисунок 1 – Корреляции между значениями T_{xp} : а) корреляции между значениями T_{xp}^3 (ось абсцисс) и T_{xp}^p (ось ординат); б) то же между T_{xp}^H (ось абсцисс) и T_{xp}^p (ось ординат).

Как видно из рис. 1а, коэффициент корреляции (R) и детерминации (R^2) достаточно высоки в обоих случаях, что подтверждает определяющее влияние структурных параметров битумов (которые находят отражение в температурной зависимости вязкости через показатели Π_{25} и T_p) на T_{xp} . Однако различие в ГХС, ММР, РТФ и т. д., приводят к разному отличию этих зависимостей, не говоря уже о том, что Π_{25} и T_p не могут в полной мере характеризовать изменение вязкости с изменением температуры.

На рис. 16 представлены корреляции T_{xp}^p (T_{xp}^a) для тех же образцов битума (I и II). Здесь тоже наблюдаются хорошие корреляции, а линии регрессии почти параллельны. Это подтверждает предположение о том, что для битумов различной природы (состава, структурной организации) должны существовать различные уравнения регрессии $T_{xp}^p = f(P_{25}, T_p)$.

На рис. 2 приведены корреляции T_{xp}^p (T_{xp}^a) для битумоподобных вяжущих из работы [14]. И даже в этом случае получена очень хорошая корреляция, хотя битумоподобные вяжущие по своей природе не являются нефтяными битумами, а получены из коксохимического сырья ароматической природы.

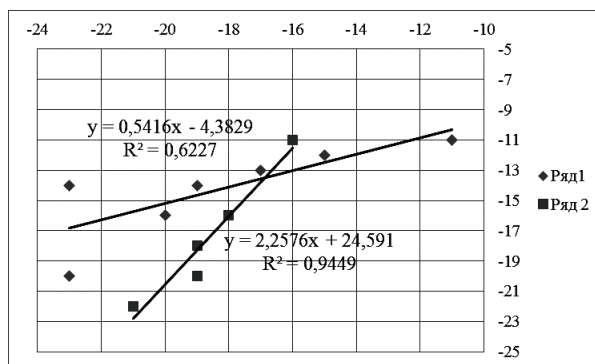


Рисунок 2 – Корреляции между значениями T_{xp}^a и T_{xp}^p для битумов вязких дорожных [5] (ряд 1) и битумоподобных вяжущих [14] (ряд 2).

Аналогичная корреляция имеет место для модифицированных битумов (рис. 3). Для битумов, модифицированных блоксополимером «стирол – бутадиев – стирол» (СБС) корреляция заметно хуже (рис. 3 (ряд 1)). Скорее всего, это связано со сложными закономерностями процесса взаимодействия полимера СБС с ГХС, битума, что отражается на мицеллярной структуре модифицированных битумов (тем более, что корреляция не обязательно должна быть линейной).

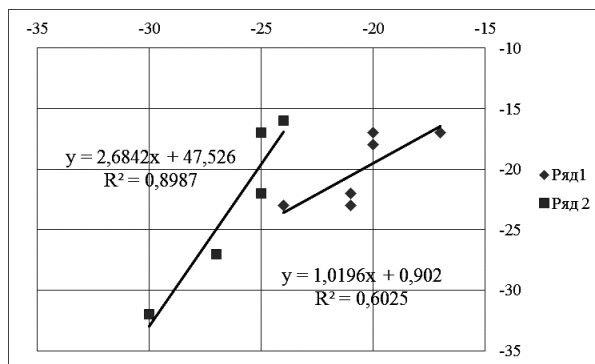


Рисунок 3 – Корреляции между значениями T_{xp}^a и T_{xp}^p для битумов, модифицированных СБС [15, с. 215] (ряд 1) и олигомерным каучуком с инициатором полимеризации [5, с. 213] (ряд 2).

Полученные корреляционные зависимости сведены в табл. 2.

Как видно из рисунков и табл. 2, наблюдаются значительные отклонения расчетных значений (T_{xp}^p) от экспериментальных (T_{xp}^a). Но для битумов-аналогов (по составу и строению) имеет место высокая степень корреляции между T_{xp}^p и T_{xp}^a .

Следовательно, для снижения погрешностей расчета T_{xp} (по показателям P_{25} и T_p) при постоянном поставщике битума (полученном на одном сырье и по одной технологии) можно воспользоваться такой корреляцией.

Таблица 2 – Параметры линейных корреляций

№ п/п	Характеристика образца	Источник данных	Рисунок (линия)	a_0	b	R	R^2
1	Битумы нефтяные вязкие дорожные	[15, с. 214]	1a (I)	+7,25	1,15	0,96	0,920
2		[5]	1a (I)	-6,77	0,40	0,92	0,850
3		[5]	2 (I)	-4,38	0,55	0,79	0,629
4	БМП (СБС)	[15, с. 215]	3 (I)	+0,90	1,02	0,78	0,603
5	БМП (олигомерный каучук с инициатором)	[5, с. 213]	3 (2)	+47,53	2,68	0,95	0,899
6	Битумоподобные вяжущие	[14]	2 (2)	+24,59	2,26	0,97	0,945

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пыриг, Я. И. Определение температуры хрупкости графо-экспериментальным методом [Текст] / Я. И. Пыриг // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2011. – Вип. 2011-1(87) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 147–150.
2. Золотарев, В. А. Обобщенные температурно-пенетрационные зависимости дорожных битумов [Текст] / В. А. Золотарев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – № 1. – С. 21–26.
3. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы [Текст] / Р. Б. Гун. – М. : Химия, 1973. – 432 с.
4. Применение ЯМР-релаксационных явлений в исследованиях свойств дорожных битумов [Текст] / Р. С. Кашаев, А. Ф. Кемалов, Р. З. Фахрутдинов, И. Н. Дияров // Проблемы производства и применения дорожных битумов : Труды Российской научно-практической конф. / Казанский гос. арх.-строит. ун-т. – Казань : [б. и.], 2001. – С. 124.
5. Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : ДорТрансНИИ, РГСУ, 2003. – 428 с.
6. Вдовиченко, С. Л. Исследование методов оценки и способа повышения долговечности по трещиностойкости асфальтобетонных покрытий в условиях БССР [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. Л. Вдовиченко. – Минск : БПИ, 1972. – 24 с.
7. Ремез, Н. И. Безаппаратурный метод оценки температуры хрупкости битумов [Текст] / Н. И. Ремез, Я. Н. Ковалев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 4. – С. 19–21.
8. Испытание дорожно-строительных материалов [Текст] / В. А. Золотарев, В. И. Братчун, А. В. Космин [и др.] ; под ред. В. А. Золотарева, А. В. Космина. – Харьков : ХНАДУ, 2012. – 368 с.
9. Радовский, Б. С. Конструирование и расчет дорожных одежд в первой половине XX столетия [Текст] : часть I / Б. С. Радовский // Дорожная техника : каталог-справочник. – СПб. : Славутич, 2013. – С. 96–123.
10. Кутьин, Ю. А. О взаимосвязи между качеством сырья и свойствами битумного вяжущего и об участии нефтепереработки в производстве полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) [Текст] / Ю. А. Кутьин, Э. Г. Теляшев, Х. Мушреф // Дорожная техника : каталог-справочник. – СПб. : Славутич, 2013. – С. 44–47.
11. Гохман, Л. М. Прочная взаимосвязь качества битумов и структуры сырья, применяемого для их производства [Текст] / Л. М. Гохман, Е. М. Гурарий, А. Р. Давыдова // Автомобильные дороги. – 2011. – № 01(950). – С. 77–83.
12. Печеный, Б. Г. Битумы и битумные композиции [Текст] / Б. Г. Печеный. – М. : Химия, 1990. – 256 с.
13. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1972. – 264 с.
14. Битумоподобные вяжущие на основе коксохимического сырья [Текст] / В. И. Братчун, Л. Д. Карат, М. К. Пактер [и др.] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2015. – Вип. 2015-1(111) : Современные строительные материалы. – С. 21–25.
15. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов ; під редакцією д.т.н. В. І. Братчуна. – Донецьк : Вид-во «Ноудіж» (Донецьке відділення), 2013. – 338 с. – ISBN 5-7763-0351-6.

Получено 07.12.2015

М. К. ПАКТЕР, І. В. КАНДАЄВА, І. П. ЖУКОВ, А. Ю. МИРОНЕНКО, Т. С. ВОВК,
А. В. МИРОШНИЧЕНКО
ПРО РОЗРАХУНКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КРИХКОСТІ
БІТУМІВ І БІТУМОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Запропоновано спосіб зменшення похибки при розрахунковому визначенні температури крихкості бітумів (T_{xp}) за методом С. Л. Вдовиченко (по P_{25} і T_p) за рахунок використання кореляцій розрахункових

і експериментальних значень T_{xp} . Показано, що ці кореляції розрізняються для бітумів різного походження. Запропонований спосіб дозволяє використовувати метод С. Л. Вдовиченко також для розрахункового визначення T_{xp} модифікованих в'язких дорожніх бітумів і синтетичних бітумоподібних в'язких.

в'язкі дорожні бітуми, бітуми, модифіковані полімерами (БМП), бітумно подібні в'язучі речовини, температура крихкості бітумів

MIXAIL PAKTER, IRYNA KANDAIEVA, ILYA ZHUKOV, ANASTASIA
MIRONENKO, TATYANA VOVK, ALENA MIROSHNICHENKO
ESTIMATED DETERMINING THE TEMPERATURE BRITTLENESS OF
BITUMEN AND BITUMEN MATERIALS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

A method for reducing errors in determining the estimated temperature brittleness of bitumen (T_{xp}) method S. L. Vdovichenko (by P_{25} and T_c) by using the correlation between the calculated and experimental values T_{xp} has been suggested. It is shown that these correlations are different for bitumen of different origin. The proposed method makes it possible to use the method of S. L. Vdovichenko for determining the estimated T_{xp} modified viscous road bitumen and synthetic like bitumen binders.

viscous bitumen road, bitumen, modified polymers (BMP), like bitumen binders, temperature brittleness of bitumen

Пактер Михайло Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Кандаєва Ірина Василівна – магістрант, майстер виробничого навчання кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інноваційні технології ремонту та реконструкції мостів.

Жуков Ілля Павлович – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Мироненко Анастасія Юріївна – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Вовк Тетяна Сергіївна – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення впливу фізичних та хімічних факторів на процеси зміни фізико-механічних властивостей і довговічності асфальтобетону.

Мирошниченко Альона Василівна – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення впливу фізичних та хімічних факторів на процеси зміни фізико-механічних властивостей і довговічності асфальтобетону.

Пактер Михайл Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Кандаева Ирина Васильевна – магистрант, мастер производственного обучения кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: инновационные технологии ремонта и реконструкции мостов.

Жуков Илья Павлович – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Мироненко Анастасия Юрьевна – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Вовк Татьяна Сергеевна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение влияния физических и химических факторов на процессы изменения физико-механических свойств и долговечности асфальтобетона.

Мирошниченко Алена Васильевна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение влияния физических и химических факторов на процессы изменения физико-механических свойств и долговечности асфальтобетона.

Pakter Mixail – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and lasting road concretes for building of structural layers of non-rigid road coats on the basis of modification of organic astringent and complex microstructure modification of concretes; elaboration of effective technologies of processing of technogenous raw material in to the components of compositional materials.

Kandaieva Iryna – graduate student, master of industrial training, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: innovative technology of bridge repair and reconstruction.

Zhukov Pya – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

Mironenko Anastasia – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

Vovk Tatyana – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: study of the influence of physical and chemical factors on the processes of change of physico-mechanical properties and durability of asphalt concrete.

Miroshnichenko Alena – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: study of the influence of physical and chemical factors on the processes of change of physical-mechanical properties and durability of asphalt concrete.