

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 665.775+ 665.637.8

О ПОКАЗАТЕЛЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БИТУМОВ

Я.И. Пыриг, ст. науч. сотр., к.т.н.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрен стандартный показатель качества дорожных битумов, характеризующий их температурную чувствительность – индекс пенетрации. Показано, что для корректной оценки степени термочувствительности вяжущих необходимо при расчете индекса пенетрации для отечественных остаточных битумов вместо температуры размягчения использовать значение температуры, при которой пенетрация равна $800 \times 0,1$ мм.

Ключевые слова: битум, пенетрация, температура размягчения, индекс пенетрации, эквивалентная температура.

ПРО ПОКАЗНИК ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЧУТЛИВОСТІ БІТУМІВ

Я.І. Пиріг, ст. наук. співроб., к.т.н.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто стандартний показник якості дорожніх бітумів, що характеризує їх температурну чутливість – індекс пенетрації. Показано, що для коректної оцінки ступеня термочутливості в'язучих необхідно при розрахунку індексу пенетрації для вітчизняних залишкових бітумів замість температури розм'якшення використовувати значення температури, за якої пенетрація дорівнює $800 \times 0,1$ мм.

Ключові слова: бітум, пенетрація, температура розм'якшення, індекс пенетрації, еквівалентна температура.

ABOUT THE INDICATOR OF THERMAL SENSITIVITY OF BITUMEN

Y. Pyrih, Sr. Researcher, Ph. D. (Eng.),

Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The standard indicator of the quality of road bitumen that characterizes its temperature sensitivity – penetration index is considered. It is shown that for correct estimation of the degree of thermal sensitivity of binding agents when calculating the penetration index for domestic residual bitumen it is necessary to use instead of the softening temperature the temperature value at which penetration equals $800 \times 0,1$ mm.

Key words: bitumen, penetration, softening point, penetration index, equiparation temperature.

Введение

В настоящее время нефтяные битумы широко применяются в различных отраслях промышленности и строительстве в качестве связующих или пленкообразующих материа-

лов, при этом ведущей областью применения является дорожное строительство.

В виду сложного группового состава битума и его дисперсной структуры, которая в зависимости от температуры может находиться в разных реологических состояниях, в качестве

стандартных методов оценки дорожных вяжущих принят комплекс условных показателей качества: глубина проникания иглы; температуры размягчения, хрупкости и вспышки; растяжимость; показатели, характеризующие изменение свойств вяжущего после старения (остаточная пенетрация, изменение температуры размягчения и изменение массы после прогрева), а также индекс пенетрации [1, 2]. Последний показатель характеризует температурную чувствительность битумных вяжущих и определяется степенью изменения их дисперсного состояния в зависимости от стандартных показателей качества – температуры размягчения и глубины проникания иглы при 25 °С.

Анализ публикаций

Нефтяные дорожные битумы, являясь вяжущими веществами в составе асфальтобетонов, подвергаются значительным температурным воздействиям, диапазон которых определяется конструкцией дорожной одежды и климатическими условиями местности. Для объективной оценки применимости битума той или иной марки в качестве вяжущего вещества при приготовлении асфальтобетонных смесей, а также для прогнозирования поведения битума в эксплуатационных условиях в составе асфальтобетонов, необходимо, наряду со стандартными условно-реологическими показателями качества, иметь и характеристику, которая бы позволяла оценить восприимчивость вяжущего к колебаниям температуры.

В первой половине прошлого века зарубежными и отечественными исследователями был предложен ряд показателей температурной чувствительности битумов, которые позволяли оценить их поведение с изменением температуры [3, 4]. В качестве таких методов применялись [3]:

– показатель, основанный на соотношении пенетраций, определенных при температурах 0 °С, 25 °С и 46,1 °С:

$$K = \frac{P_{46,1}^{50} - P_0^{200}}{P_{25}^{100}}, \quad (1)$$

где $P_{46,1}^{50}$ – пенетрация, определенная при температуре 46,1 °С и времени погружения штока весом 50 г – 5 с; P_0^{200} – пенетрация,

определенная при температуре 0 °С и времени погружения штока весом 200 г – 60 с; P_{25}^{100} – пенетрация, определенная при температуре 25 °С и времени погружения штока весом 100 г – 5 с.

– система показателей Хольмса, Коллинса и Шильда, согласно которой температурная чувствительность битума характеризовалась различными показателями качества: для области низких температур – соотношение значений пенетраций, определенных при 25 °С (время погружения штока весом 100 г – 5 с) и 0 °С (время погружения штока весом 250 г – 60 с); для области нормальных рабочих температур – показатель, определяемый по номограммам, представляющий собой соотношение температуры размягчения и пенетрации; для области повышенных температур – показатель текучести, определяемый по номограммам, в зависимости от температуры размягчения, значения глубины проникания иглы, определенной при 25 °С и вязкости Фуруля при 135 °С;

– показатель чувствительности, основанный на соотношении значения пенетрации, определенной при 25 °С (время погружения штока весом 100 г – 5 с), и времени в секундах при испытании американским поплавком при 80 °С;

– показатель индекса SPT (S – температура размягчения по «КиШ», P – твердость по консисометру, T – температура), представляющий собой соотношение разности значений твердости битума, определенных на консисометре при разных температурах, к температуре размягчения, определенной на приборе «КиШ» [5]

$$SPT = \frac{P_0 - P_{46,1}}{T_{\text{КиШ}}}, \quad (2)$$

где P_0 – твердость битума, определенная на консисометре при температуре 0 °С; $P_{46,1}$ – твердость битума, определенная на консисометре при температуре 46,1 °С; $T_{\text{КиШ}}$ – температура размягчения, определенная по методу «Кольцо и шар».

Представленные выше показатели термочувствительности битумов отличались громоздкостью, необходимостью использования дополнительного нестандартного оборудова-

ния и ограниченностью применения, вызванной невозможностью определения ряда параметров для всех марок битумов (например, невозможностью определения пенетрации при 46,1 °С стандартным оборудованием у битумов марок БНД 200/300 и др.).

В 1936 г. Дж. Пфейфером и Ван Доормалем был предложен показатель температурной чувствительности битумов, названный «индексом пенетрации» (ИП) [6]. Данный показатель может быть определен по номограммам, либо рассчитан по формуле

$$\text{ИП} = \frac{20 \cdot T_p + 500 \cdot \text{Lg} \Pi_{25} - 1952}{T_p - 50 \cdot \text{Lg} \Pi_{25} + 120}, \quad (3)$$

где T_p – значения температуры размягчения по методу «КиШ», °С; Π_{25} – значение пенетрации, определенной при 25 °С (время погружения штока весом 100 г – 5 с).

При установлении показателя «индекс пенетрации» Дж. Пфейфер и Ван Доормаль применили некоторые допущения, в числе которых были:

- пенетрация, определенная удлиненной иглой, для многих, но не всех битумов, при температуре размягчения по методу «Кольцо и шар» должна быть равна 800×0,1 мм [6–8];
- нулевое значение индекса пенетрации (ИП=0) относится к мексиканскому битуму, имеющему пенетрацию 200×0,1 мм при 25 °С [4, 8];
- вязкость при температуре размягчения для большинства битумов составляет 1200 Па·с [7, 8];
- применимость индекса пенетрации ограничена битумами, обладающими ньютоновскими свойствами [4, 8].

В зависимости от значения ИП разработчики показателя предложили разделять битумы на 3 типа [6]:

- к типу «N» были отнесены битумы, индекс пенетрации которых находится в пределах от минус 1,0 до + 1,0. Битумы этого типа наиболее пригодны для применения в дорожном строительстве.
- тип «Z» – битумы, значение ИП которых ниже минус 1,0, за счет отсутствия дисперс-

ной фазы; обладают большой температурной чувствительностью, что проявляется повышенной хрупкостью при понижении температуры.

- тип «R» – битумы, значение ИП которых больше 1,0; проявляют ярко выраженные коллоидные свойства и обладают малой температурной чувствительностью и низкой склонностью к охрупчиванию.

Предложенный показатель термочувствительности битумов нашел широкое применение и в дальнейшем был введен в европейские, а позднее – и в отечественный (ГОСТ 22245-76 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия») нормативные документы, регламентирующие показатели качества битумов. В настоящее время индекс пенетрации в неизменном виде сохраняется как в стандарте стран ЕС [2], так и стандарте Украины (ДСТУ 4044-2001) и межгосударственном стандарте стран СНГ (ГОСТ 22245-90). В то же время, из-за присущих показателю недостатков, он рядом отечественных и зарубежных исследователей подвергался критике, вплоть до исключения его из перечня регламентируемых стандартных показателей качества дорожных битумов [9, 10].

Цель и постановка задачи

Показатель ИП, согласно требованиям ДСТУ 4044-2001, относится к показателям, на основании которых осуществляются приемочные, типовые, приемо-сдаточные, сертификационные испытания, и на основании несоответствия значений показателя индекса пенетрации нормируемым стандартом требованиям может быть принято решение о некачественности вяжущего.

Целью выполненной работы являлось установление, на примере отечественных окисленных битумов, корректности применения показателя ИП. В качестве объектов исследования были приняты данные из литературных источников, промышленно-применяемые битумы, а также экспериментальные битумы, полученные компаундированием перекисленных битумов.

Экспериментальные данные

Одним из основных принципов, положенных в основу разработки системы оценки тепло-

стойкости битумов по индексу пенетрации, было равенство для всех битумов значений пенетрации при температуре размягчения $800 \times 0,1$ мм [3, 4, 6]. Однако такое условие выполняется в основном лишь для остаточных и малопарафинистых битумов, характеризующихся структурой типа «золь» [11], а для окисленных битумов, особенно вязких и высоковязких, для которых характерна структура «гель» и «золь-гель», это условие не выполняется [9].

Из вышесказанного следует предложение о применении для расчета индекса пенетрации отечественных окисленных битумов, вместо значений температуры размягчения (T_p), значений эквивалентной температуры [12], при которой глубина проникания иглы составляет $800 \times 0,1$ мм (T_{800}).

Проверка высказанного предложения показала (рис. 1), что для большинства принятых в исследовании окисленных битумов условие равенства температур T_p и T_{800} не выполняется. При этом с уменьшением значений глубины проникания иглы от $200 \times 0,1$ мм до $40 \times 0,1$ мм разница в значениях T_p и T_{800} увеличивается до $10\text{--}11$ °C (рис. 2), что соответственно сказывается на значениях показателя индекса пенетрации.

Из рассмотренных в работе битумов (91 объект) при определении значения ИП по показателю T_{800} 24 битума не удовлетворяют требованиям ДСТУ 4044-2001.

Кроме того, для окисленных битумов при расчете индекса пенетрации по значению T_p не реализуется физическая сущность показателя ИП, заключающаяся в характеристике степени коллоидности битума.

Достоверность этого может быть проиллюстрирована на примере модельных вяжущих, приготовленных в лаборатории кафедры ТДСМ путем окисления двух исходных битумов и последующего их компаундирования (табл. 1).

В первой группе вяжущих при увеличении значений пенетрации с $48 \times 0,1$ мм до $160 \times 0,1$ мм не прослеживаются закономерности изменения значения индекса пенетрации, определенного по T_p : для битума с пенетрацией $48 \times 0,1$ мм индекс пенетрации составляет 0,39, для битума с $P_{25} = 77 \times 0,1$ мм – минус 0,28, для битума с $P_{25} = 123 \times 0,1$ мм – минус 0,73 и для битума с $P_{25} = 77 \times 0,1$ мм – 0,12. В то же время при расчете индекса пенетрации по температуре T_{800} такая закономерность прослеживается – значение индекса пенетрации закономерно изменяется с 2,39 до 0,38.

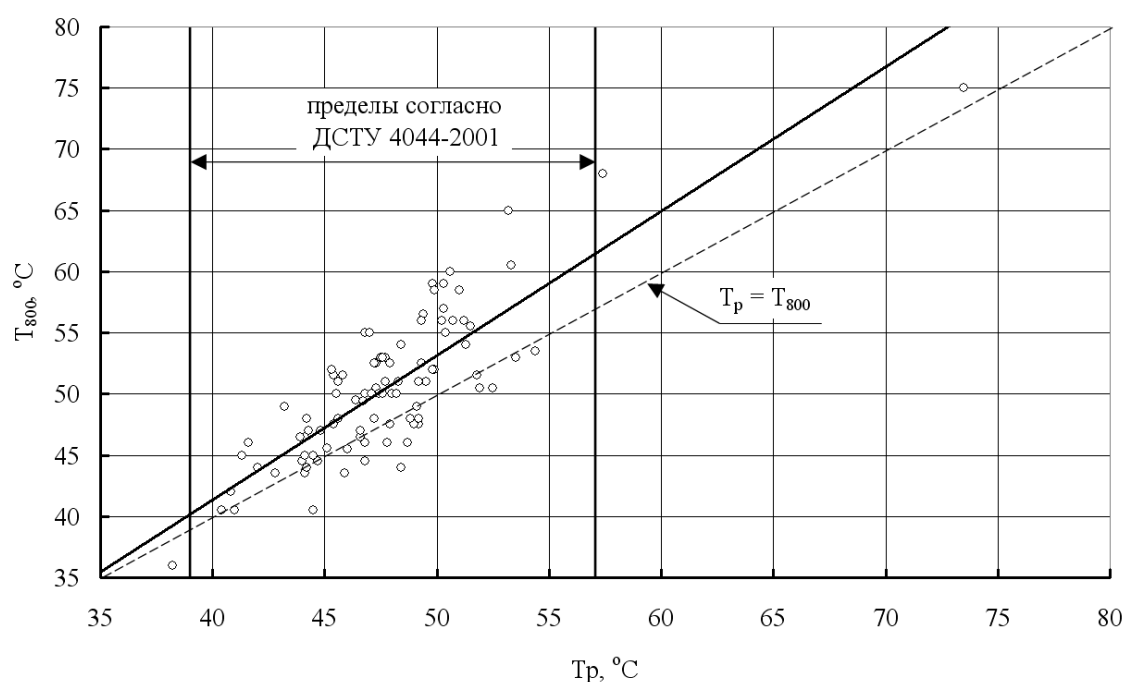


Рис. 1. Зависимость температуры, отвечающей пенетрации $800 \times 0,1$ мм (T_{800}), от температуры размягчения (T_p)

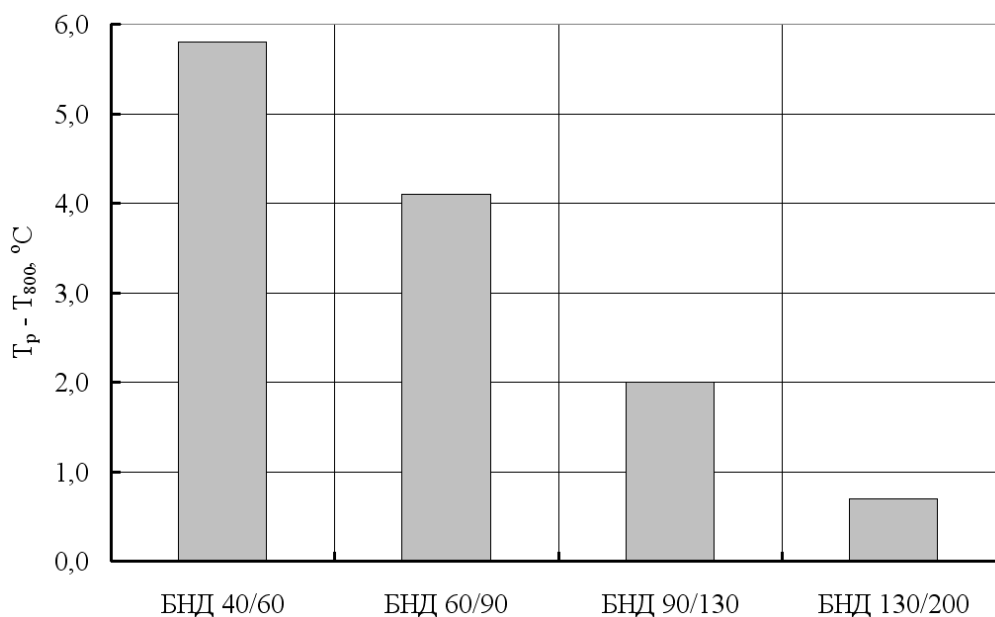
Рис. 2. Зависимость средних значений $T_p - T_{800}$ от марки битумов

Таблица 1 Показатели качества модельных битумов

Группа	Битум	$\Pi_{25},$ 0,1 мм	$T_p,$ $^\circ\text{C}$	$T_{800},$ $^\circ\text{C}$	$T_p - T_{800},$ $^\circ\text{C}$	ИП по T_p	ИП по T_{800}	$K_{\text{стд}}$
1	11	48	57,4	68,0	-10,6	0,39	2,39	0,364
	12	77	49,4	56,5	-7,1	-0,28	1,48	0,164
	13	123	43,2	49,0	-5,8	-0,73	1,13	< 0,084
	14	160	42,8	43,5	-0,7	0,12	0,38	< 0,084
2	21	50	53,3	60,5	-7,2	-0,41	1,12	0,493
	22	56	50,3	57,0	-6,7	-0,87	0,69	0,188
	23	94	45,4	51,5	-6,1	-0,86	0,89	0,095
	24	132	41,6	46,0	-4,4	-1,07	0,47	0,088

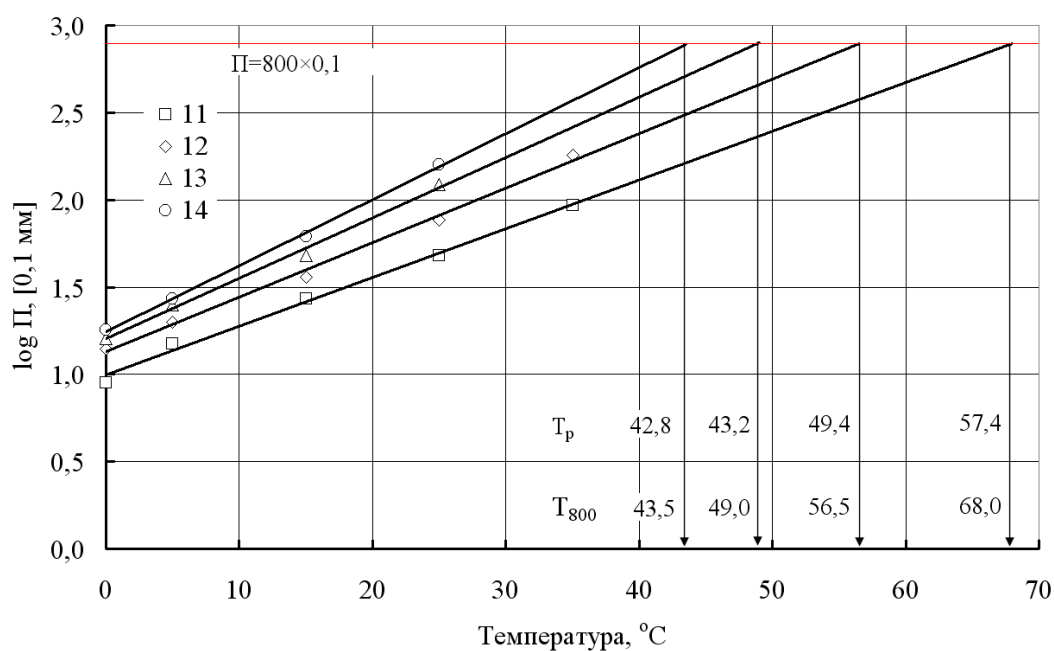


Рис. 3. Температурно-пенетрационная зависимость битумов

На рис. 3 представлены температурно-пенетрационные зависимости битумов, использованные для графического определения значения T_{800} , которые наглядно иллюстрируют, как меняется консистенция рассматриваемых вяжущих с изменением температуры – с уменьшением индекса пенетрации растет динамика изменения консистенции вяжущего с увеличением температуры. Данные закономерности подтверждаются и для битумов второй группы.

Таким образом, для корректности использования индекса пенетрации в качестве показателя температурной чувствительности остаточных битумов необходимо внести изменения в нормативные документы на методы испытания дорожных нефтяных битумов и технические условия. Для определения температуры T_{800} может быть использована разработанная еще в 2006 г. на кафедре ТДСМ ХНАДУ методика М 218-02071168-609:2006 «Методика определения показателя теплостойкости битумных вяжущих на замену температуры размягчения», которая регламентировала установление расчетным путем температуры, при которой пенетрация составляет $800 \times 0,1$ мм.

Выводы

В работе установлено, что вычисление индекса пенетрации по температуре размягчения для окисленных битумов является некорректным, поскольку не выполняется одно из основных допущений разработчиков показателя температурной чувствительности вяжущих о равенстве для всех битумов температуры размягчения температуре, при которой пенетрация составляет $800 \times 0,1$ мм. Для окисленных битумов погрешность вычисления ИП увеличивается с уменьшением значений пенетрации вяжущих. Предложено для корректности оценки температурной чувствительности окисленных битумов заменить в формуле определения ИП температуру размягчения температурой T_{800} .

Литература

1. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия: ДСТУ 4044-2001. – К.: Госстандарт Украины, 2001. – 32 с.
2. EN 12591:2009 «Bitumen and bituminous binders – Specifications for paving grade bitumens» – Brussels. European committee for standardization, 2009. – 36 p.
3. Шапиро Г.Л. Изучение восприимчивости дорожных битумов к изменению температуры / Г.Л. Шапиро, Е.Н. Никишина // Исследование органических вяжущих дорожно-строительных материалов: сб. статей Дориздат. – 1947. – Вып. V. – С. 64–92.
4. Битумные материалы: асфальты, смолы, пеки; под ред. А.Дж. Хойберга. – М.: Химия, 1974. – 248 с.
5. Крейцер Г.Д. Асфальты, битумы и пеки / Г.Д. Крейцер. – М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам, 1952. – 400 с.
6. Patent USA. Penetration index slide rule / P. M. Van Doormaal. – № 2173459. – 19.09.1939. – 5 p.
7. Read John The Shell Bitumen Handbook / John Read, Whiteoak David. – London, UK: Thomas Telford Publ., 2003. – 460 p.
8. Pfeiffer J.P.H. The Rheological Properties of Asphaltic Bitumen / J.P.H. Pfeiffer, Van Doormaal // Journal of Institute of Petroleum. – 1936. – Vol. 22. – P. 414–440.
9. Железко Е.П. О нормировании качества вязких дорожных битумов / Е.П. Железко, Т.В. Железко // Химия и технология топлив и масел. – 2007. – № 3. – С. 7–11.
10. Модифицированные битумные вяжущие. Специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве / под общ. ред. В.А. Золотарева, В.И. Братчуна. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 228 с.
11. Heukelon W. Une methode ameliorée de caracterisation des bitumes par leurs proprietes mecaniques / W. Heukelon // Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées. – 1975. – № 76. – P. 55–64.
12. Золотарев В.А. Эквивалентная температура как альтернатива температуре размягчения битума / В.А. Золотарев, Я.И. Пыриг, А.В. Галкин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2007. – № 2. – С. 36–39.

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

Статья поступила в редакцию 3 августа 2015 г.