

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ

Пыриг Я.И., ХНАДУ

Аннотация. Рассмотрены применяемые в разных странах мира показатели температурной чувствительности дорожных битумов. На основе пенетрационных зависимостей рассматриваемых показателей установлена их применимость к оценке температурной чувствительности применяемых в дорожной отрасли Украины окисленных битумов.

Ключевые слова: битум, пенетрация, температура размягчения, температурная чувствительность.

Введение

Нефтяные битумы, применяемые в качестве вяжущих веществ в асфальтобетонных дорожных одеждах автомобильных дорог, являются термопластичными материалами, свойства которых при изменении температуры изменяются в широких пределах. Принимая во внимание, что битум играет важнейшую роль в обеспечении качества асфальтобетона, в частности, его реологических, низкотемпературных и пластических свойств, им следует уделять повышенное внимание.

В настоящее время качество органических вяжущих, используемых в дорожном строительстве, устанавливается на основе ряда условных и фундаментальных показателей. К первым относятся: консистенция вяжущего, оцениваемая по глубине проникания иглы; температуры размягчения и хрупкости; растяжимость. Фундаментальными являются динамическая и кинематическая вязкости, включенные в стандарты ЕС, а также показатели, входящие в американскую систему Superpave. В то же время очень мало внимания уделяется объективному установлению и рациональному нормированию показателей температурной чувствительности вяжущих. При этом степень изменения показателей качества битумов с изменением температуры при эксплуатации, в виду разнообразия сырья, из которого их изготавливают, многообразия технологических особенностей их получения, сложного группового состава и реологического типа, может кардинально отличаться. Это, в свою очередь, сильно затрудняет проектирование асфальтобетонных смесей, выбор марки битума и достоверное прогнозирование поведения вяжущего и асфальтобетона для конкретных условий эксп-

луатации автомобильной дороги. Ввиду этого вопрос выбора достоверного показателя температурной чувствительности битумов и его нормирование является актуальным.

Анализ публикаций

В настоящее время в Украине, так же, как и в странах Европейского Союза, в качестве основного показателя температурной чувствительности используется «индекс пенетрации» (IP) [1–3]. В США, Канаде и странах, применяющих американскую систему оценки качества битумов, температурную чувствительность вяжущих оценивают такими показателями, как пенетрационно-вязкостное число (penetration-viscosity number – PVN), вязкостно-температурная чувствительность (viscosity-temperature susceptibility – VTS) и коэффициент пенетрации (penetration ratio – PR) [4]. Несмотря на различие названий показателей температурной чувствительности, в их основе лежит одинаковый принцип, основанный на учете изменения значений какого-либо выбранного показателя качества с изменением температуры в границах принятого диапазона. Существующее разнообразие применяемых показателей температурной чувствительности затрудняет сопоставление приводимых в литературе данных и ставит вопрос их объективности, а также целесообразности применения в дорожной отрасли Украины.

Показатель «индекс пенетрации» был предложен в 1936 г. Дж. Пфейфером и Ван Доормалем [5]. За его основу авторами было принято предположение о линейности изменения значений пенетрации в узком температурном диапазоне, а область применения была ограничена битумами, обладающими ньютоновскими свойствами [6]. Исходя из

этого, первоначально для расчета IP авторами была предложена формула (1)

$$IP = \frac{20 - 500 \cdot A}{1 + 50 \cdot A}, \quad (1)$$

где A – температурно-пенетрационная чувствительность, определяемая по формуле (2):

$$A = \frac{\log P_1 - \log P_2}{T_1 - T_2} \quad (2)$$

где P – глубина проникания иглы при температуре T (время погружения штока весом 100 г – 5 с).

Для удобства пользования показателем и сокращения необходимых экспериментальных данных для его расчета разработчиками было принято допущение о том, что пенетрация при температуре размягчения по методу «Кольца и шара» для многих, но не всех битумов, составляет $800 \times 0,1$ мм. Это позволило применять для расчета IP нормируемые в стандартах стран мира показатели «глубина проникания иглы при 25°C » и «температура размягчения, по методу «Кольцо и шар». В настоящее время используется видоизмененная формула [1–3] (3)

$$IP = \frac{20 \cdot T_p + 500 \cdot LgP_{25} - 1952}{T_p - 50 \cdot LgP_{25} + 120}, \quad (3)$$

где T_p – значения температуры размягчения, установленные по методу «КиШ», $^\circ\text{C}$.

Разработчиками «индекса пенетрации» [6] было экспериментально установлено, что значения IP для большинства битумов варьируются в диапазоне от минус 2,5 до 8,0, при этом меньшие значения IP свидетельствуют о более высокой температурной чувствительности. Дж. Пфейфер и Ван Доормаль [7] разделили битумы в зависимости от значений предложенного ими показателя на три группы: с $IP < \text{минус } 1,0$ (битумы, обладающие высокой температурной чувствительностью); с $IP > + 1,0$ (вязкие, характеризующиеся малой температурной чувствительностью) и $IP = \text{минус } 1,0 \dots + 1,0$ (вязкие, наиболее пригодные для использования в дорожном строительстве).

В настоящее время разные государства в зависимости от климатических и эксплуатационных особенностей условий работы дорожных покрытий, а также от сырьевых и технологических особенностей производства

дорожных битумов, используют различные пределы нормирования индекса пенетрации (например, в Украине рекомендуемым является диапазон от минус 2,0 до + 1,0; в Европейском Союзе принят диапазон от минус 1,5 до + 0,7; в странах Таможенного Союза – от минус 1,0 до +1,0).

Существенным недостатком IP является принятое его разработчиками допущение, касающееся соответствия пенетрации битума при температуре размягчения значению $800 \times 0,1$ мм. Это условие выполняется для ряда дистилляционных битумов, характеризующихся ньютоновским типом течения, и маловязких битумов. Для вязких и высоковязких вяжущих, а также окисленных и модифицированных полимерами или энергосберегающими добавками битумов, значения пенетрации при температуре размягчения могут существенно отличаться от $800 \times 0,1$ мм [6, 8, 9]. Поэтому более корректным при определении IP является использование формул (1)–(2), в которых вместо температуры размягчения применяется температура, при которой пенетрация составляет $800 \times 0,1$ мм (T_{800}) [10, 11].

Также к недостаткам индекса пенетрации можно отнести его относительно низкую точность, зависящую от погрешности измерения глубины проникания иглы при 25°C и температуры размягчения. Так, например, для битума марки БНД 40/60 при допускаемой стандартом на метод определения температуры размягчения погрешности в 1°C , значения индекса пенетрации могут изменяться на 0,3 единицы. Согласно нормам EN 12591 [2] допускается сходимость в IP , равная 0,3 единицы, а воспроизводимость – 0,5 единицы, что составляет практически четвертую часть регламентируемого диапазона значений IP от минус 1,5 до + 0,7. Кроме всего прочего, показатель «индекс пенетрации» характеризует температурную чувствительность битумов в относительно узком эксплуатационном диапазоне, ограниченном температурами от + 25°C до + 65°C .

Еще одним показателем температурной чувствительности битумов, ориентированным на изменение значений пенетрации битумов с изменением температуры, является показатель «коэффициент пенетрации» (PR), устанавливаемый по формуле (4) [12]

$$PR = \frac{P_4}{P_{25}} \cdot 100, \quad (4)$$

где P_4 – глубина проникания иглы при температуре 4 °С и погружении штока весом 200 г в течение 60 с; P_{25} – глубина проникания иглы при температуре 25 °С и погружении штока весом 100 г в течение 5 с.

Этот показатель широко применялся как дополнительный при оценке качеств битума в ряде штатов США и Канады [13], а также был нормирован в технических условиях на битумы в Индии (IS 73:1992). В соответствии со значениями PR их более низкие значения свидетельствуют о высокой температурной чувствительности вяжущих.

К достоинству показателя PR можно отнести простоту в его определении, поскольку в технических условиях на битумы во многих странах мира значения пенетрации, измеряемые при температурах 4 °С или 0 °С и 25 °С, являются нормируемыми, следовательно, дополнительных испытаний битумов для расчета значения показателя «коэффициент пенетрации» не требуется. Согласно [13] существует хорошая корреляция значений IP и PR с групповым составом битумов, в частности, с содержанием асфальтенов.

Недостатками PR , так же, как и «индекса пенетрации», является сравнительно низкая точность, зависящая от точности измерения глубины проникания иглы при 25 °С, и особенно при 4 °С, а также еще более узкий, чем у показателя IP , диапазон температур, для которого устанавливается коэффициент температурной чувствительности. Вероятно, из-за этого рассматриваемый показатель в настоящее время применяется редко.

В 1963 г. в США была введена в действие вязкостная система оценки качества битумов (ASTM D3381), в соответствии с которой маркировка битумов осуществлялась не по пенетрации, а по значениям кинематической вязкости, определенной при 60 °С. В вязкостную систему были включены два новых показателя – динамическая вязкость при 60 °С и кинематическая вязкость при 135 °С, нормирование которых подтолкнуло к созданию нового показателя – вязкостно-температурная чувствительность (VTS). Основу предложенного Институтом Асфальта показателя VTS [12, 14] составляла прямолинейная в логарифмических координатах температурно-вязкостная зависимость. Большие значения показателя VTS указывают на большую температурную чувствительность вяжущего.

Для вычисления VTS применяется формула (5)

$$VTS = \frac{\log(\log \eta_2) - \log(\log \eta_1)}{\log T_1 - \log T_2}, \quad (5)$$

где η_1 и η_2 – вязкости в сантипуазах, установленные при температурах T_1 и T_2 в градусах Кельвина.

Существенным достоинством показателя «вязкостно-температурная чувствительность» является простота его определения, ввиду использования значений вязкости, устанавливаемых в соответствии с требованиями технических условий на битумы, и относительно широкий температурный диапазон, для которого устанавливается температурная чувствительность. К недостаткам VTS можно отнести то, что он характеризует чувствительность вяжущих лишь в диапазоне технологических температур и не применим для оценки температурной чувствительности в области эксплуатационных температур. Кроме того, метод, вероятно, не может быть применен для модифицированных вяжущих, поскольку область линейности температурно-вязкостных зависимостей в этом случае сместится в область более высоких температур.

Одним из основных недостатков показателя вязкостно-температурной чувствительности, из-за чего он подвергается критике исследователей [12, 14], является сравнительно малое различие в значениях для битумов, вязкость которых может различаться на порядок [12, 14].

Показатель «пенетрационно-вязкостное число» (PVN) был предложен канадским исследователем N.W. McLeod'ом в качестве альтернативы показателя вязкостно-температурной чувствительности [4, 12, 14]. Для расчета PVN используются значения стандартных показателей битумов – пенетрация, определенная при 25 °С, и вязкость, измеренная, обычно, при температурах 60 °С и 135 °С. Расчет PVN выполняется по формулам (6)–(7)

$$PVN_{(25-60)} = -1,5 \frac{6,489 - 1,590 \cdot \text{Log} P_{25} - \text{Log} \eta_1}{1,050 - 0,2234 \cdot \text{Log} P_{25}}, \quad (6)$$

где η_1 – значение динамической вязкости при температуре 60 °С, в пуазах; P_{25} – значение пенетрации при температуре 25 °С.

$$PVN_{(25-135)} = -1,5 \frac{4,258 - 0,7967 \cdot \text{Log}P_{25} - \text{Log}\eta_2}{0,795 - 0,1858 \cdot \text{Log}P_{25}}, \quad (7)$$

где η_2 – значение кинематической вязкости при температуре 135 °С, в стоксах.

Чем ниже значение показателя PVN , тем больше температурная чувствительность вяжущего. В зависимости от значений показателя PVN , который для дорожных битумов должен находиться в диапазоне от 0 до минус 1,5, N.W.McLeod разбил вяжущие на три группы: «А» характеризуется низкой температурной чувствительностью (значение PVN больше минус 0,5); «В» характеризуется средней температурной чувствительностью (значение PVN находится в пределах от минус 0,5 до минус 1,0); «С» характеризуется высокой температурной чувствительностью (значение PVN меньше минус 1,0).

Явным достоинством PVN можно считать возможность установления температурной чувствительности для различных диапазонов температур – эксплуатационная для температур 25 °С...60 °С и технологическая – в диапазоне температур 25 °С...135 °С. Согласно данным разработчика показателя [12], значения PVN являются одинаковыми для битума, применяемого для устройства асфальтобетонных слоев, и битума, впоследствии экстрагированного из асфальтобетонного покрытия.

К недостаткам показателя можно отнести более слабую, чем у IP и PR , корреляцию с групповым составом битумов [13], а также существенное влияние на значение PVN точности измерения пенетрации при 25 °С (при изменении значений глубины проникания иглы при 25 °С на $1 \times 0,1$ мм, значение PVN изменится на 0,1 ... 0,2 единицы).

На основе анализа литературных данных можно сделать вывод об актуальности исследований температурной чувствительности дорожных битумных вяжущих. Вместе с тем, в связи с принятием в Украине гармонизированного европейского стандарта ДСТУ EN 12591:2017 (EN 12591:2009, IDT) «Битум и битумные вяжущие. Технические требования к дорожным битумам» и переработкой национального стандарта ДСТУ 4044-2001 [1], а также нормированием в этих национальных документах показателей вязкости при 60 °С и 135 °С, актуальным становится вопрос о применимости таких показателей, как PVN и

VTS для оценки окисленных битумов, используемых в дорожной отрасли Украины.

Цель и задачи исследования

Целью выполненной работы являлась экспериментальная проверка обоснованности и эффективности использования широко применяемых в настоящее время показателей PVN , VTS и PR для оценки температурной чувствительности окисленных битумов, применяемых в дорожной отрасли Украины, а также установление возможных зависимостей между этими показателями.

Экспериментальная проверка показателей температурной чувствительности

В качестве объектов исследования были приняты следующие вяжущие: битумы производства Лисичанского НПЗ, изготовленные по австрийской технологии «Битурокс» – ЛБ1...ЛБ4; производства фирмы Nupas – НБ1...НБ4 и модельные вяжущие, полученные окислением в лабораторной окислительной установке – Б1...Б6).

Для принятых в работе вяжущих были определены стандартные показатели качества (пенетрация при 0 °С и 25 °С, температура размягчения, дуктильность при 25 °С), значения которых приведены в табл. 1.

Кроме стандартных показателей, для каждого вяжущего установлена пенетрация (нагрузка – 100 г, время нагружения – 5 с) в диапазоне температур от +5 °С до +35 °С (табл. 2) и на основании полученных результатов построены температурно-пенетрационные зависимости, по которым для каждого вяжущего графически установлены значения температур, соответствующих пенетрации $800 \times 0,1$ мм (T_{800}). Полученные значения температуры T_{800} для большинства битумов отличаются от значений температуры размягчения (T_p), что свидетельствует о невыполнении принятого Дж. Пфайфером и Ван Доормалем допущения о равенстве этих температур и, следовательно, может существенно исказить значения индексов пенетрации, рассчитанных по температуре размягчения.

Для каждого битума при помощи пластовискозиметра ротационного ПВР-2 были установлены значения динамической вязкости в широком диапазоне температур (+60 °С...+160 °С) и скоростей сдвига ($1,6 \dots 200 \text{ с}^{-1}$). На основе полученных данных построены вязкостно-температурные зависимости

ти, по которым установлены значения вязкости при температурах 60 °С и 135 °С.

Таблица 1 – Показатели качества принятых в работе битумов

Битум	Пенетрация, 0,1 мм,					Температура размягчения (Т _р), °С	Растяжимость, см	Т ₈₀₀ , °С	Т _{р-800} , °С
	100 гр, 5 с		200 гр, 60 с						
	при температуре								
	5	15	25	35	0				
НБ1	3	16	60	231	10	48,9	>100	44,0	4,9
НБ2	4	27	84	271	13	45,7	>100	44,0	1,7
НБ3	6	48	141	445	29	43,0	>100	40,0	3,0
НБ4	15	66	189	546	41	39,2	>100	38,0	1,2
ЛБ1	7	19	50	125	18	53,8	74	54,0	-0,2
ЛБ2	10	22	75	210	24	49,5	> 100	48,5	1,0
ЛБ3	14	32	105	313	33	47,0	> 100	44,5	2,5
ЛБ4	23	57	172	463	51	42,6	> 100	40,0	2,6
Б6	7	23	40	75	24	60,6	12	64,5	-3,9
Б5	11	30	61	150	30	52,6	44	54,5	-1,9
Б4	14	35	82	213	36	47,9	85	50,0	-2,1
Б3	22	48	120	319	47	44,6	89	45,5	-0,9
Б2	24	52	130	349	48	43,3	>100	44,5	-1,2
Б1	26	65	179	-	53	41,2	>100	41,0	0,2

По установленным экспериментальным данным для принятых в исследовании битумов были рассчитаны значения показателей температурной чувствительности, которые представлены в табл. 2.

При расчете показателей температурной чувствительности приняты поправки: для

определения показателя PR вместо значений пенетрации, установленной при 4 °С, что соответствует нормам США, принято значение пенетрации при 0 °С, что является более характерным для отечественной практики; вместо значений кинематической вязкости при 135 °С использовались значения динамической вязкости, измеренные при 135 °С, а для перехода к значениям кинематической вязкости для всех битумов была принята условная плотность 1000 кг/см³.

Анализ значений температурной чувствительности, характеризующихся разными методами, позволяет обратить внимание на следующее.

Показатели индекса пенетрации, рассчитанные по температуре размягчения (IP_{Tr}) и температуре T_{800} (IP_{800}), различаются, при этом для большинства битумов наблюдаются более заниженные значения показателя IP_{800} . На такую тенденцию обращали внимание и американские исследователи [15]. При этом для вяжущих, произведенных из одного сырья с использованием единых технологических приемов, наблюдаются устойчивые закономерности изменения значений IP_{800} с изменением их пенетрации, в то время как для IP_{Tr} такие закономерности отсутствуют, что может свидетельствовать о большей корректности методики определения индекса пенетрации по температуре T_{800} .

Таблица 2 – Показатели температурной чувствительности принятых в работе битумов

Битум	П ₂₅ , 0,1 мм	Вязкость, пуаз, при температуре		Аномалия вязкости при		IP _{Tr}	IP ₈₀₀	VTS	PVN ₂₅₋₁₃₅	PVN ₂₅₋₆₀	PR
		60 °С	135 °С	60 °С	135 °С						
		НБ1	60	3390	23,7						
НБ2	84	2510	13,8	0,98	0,98	-1,08	-1,61	2,67	1,42	-0,07	15
НБ3	141	1510	5,8	0,98	1,00	-0,30	-1,46	3,09	0,83	0,28	21
НБ4	189	1410	4,3	1,00	1,00	-0,64	-1,20	3,30	0,76	0,78	22
ЛБ1	50	14130	14,3	0,83	0,95	-0,29	-0,25	3,29	0,79	0,81	36
ЛБ2	75	5010	8,6	0,84	0,97	-0,32	-0,59	3,27	0,57	0,46	32
ЛБ3	105	2510	6,0	0,96	1,00	-0,01	-0,80	3,27	0,47	0,31	31
ЛБ4	172	790	4,4	0,95	1,00	0,36	-0,70	3,04	0,66	-0,10	30
Б6	40	6310	32,5	0,53	0,96	0,61	1,33	2,47	1,60	-0,31	60
Б5	61	5010	14,1	0,78	0,96	-0,08	0,36	2,92	1,03	0,11	49
Б4	82	3160	8,7	0,80	0,98	-0,51	0,07	3,09	0,91	0,13	44
Б3	120	1360	6,7	0,81	1,00	-0,33	-0,03	2,94	0,96	-0,13	39
Б2	130	1050	6,9	0,83	1,00	-0,49	-0,08	2,81	0,94	-0,28	37
Б1	179	900	5,0	0,90	1,00	-0,02	-0,11	2,99	0,90	0,14	30

Примечание: П₂₅ – пенетрация, измеренная при 25 °С; IP_{Tr} – индекс пенетрации, определенный по формуле (3).

О большей корректности IP_{800} также свидетельствует зависимость между индексом пенетрации и коэффициентом пенетрации. Учитывая, что оба эти показателя характеризуют чувствительность битумов в температурном диапазоне положительных эксплуатационных температур (от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ для PR и от $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ для IP), для которого характерна прямолинейность температурно-пенетрационной зависимости, между показателями IP и PR должна существовать закономерность. Вместе с тем американскими исследователями [13] на основе анализа значительного количества вяжущих установлено отсутствие такой закономерности.

При сопоставлении для принятых в работе окисленных битумов значений показателя IP_{800} со значениями PR установлены линейные зависимости (рис. 1), которые свидетельствуют о возможной корреляции между этими показателями температурной чувствительности.

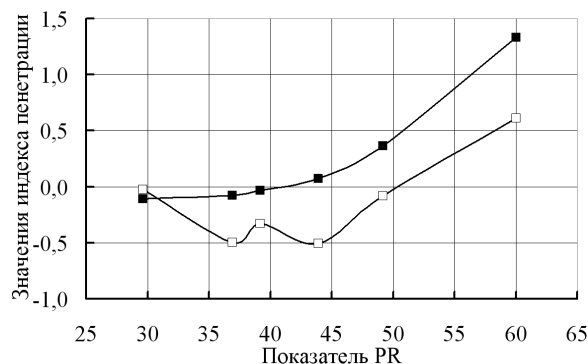


Рис. 1. Зависимости между показателями «индекс пенетрации» (\square – IP_{Tr} , \blacksquare – IP_{800}) и «коэффициент пенетрации» модельных битумов

Показатель PR , в отличие от индекса пенетрации IP_{800} является более чувствительным к изменению температурной чувствительности битумов, отличающихся структурным типом и технологией изготовления. На рис. 2 приведены пенетрационные зависимости показателей PR и IP_{800} типичных дистилляционных типов, относящихся к структурному типу «золь» (битумы фирмы Nynas), и окисленных битумов (модельные битумы), относящихся к структурному типу «золь-гель» и «гель».

Так, для дистилляционных битумов Nynas в диапазоне пенетрации от $60 \times 0,1$ мм до $189 \times 0,1$ мм (изменяется в 3,15 раза) показатель PR возрастает в 1,29 раза, в то время

как для окисленных модельных битумов в диапазоне пенетраций от $61 \times 0,1$ мм до $179 \times 0,1$ мм (изменение составляет 2,93 раза) PR возрастает в 1,63 раза. При этом у дистилляционных битумов с возрастанием пенетрации температурная чувствительность уменьшается, что подтверждается увеличением значений показателей IP и PR . Для окисленных битумов характерна противоположная зависимость – увеличение температурной чувствительности (т.е. снижение значений IP и PR) с увеличением пенетрации вяжущего (рис. 2).

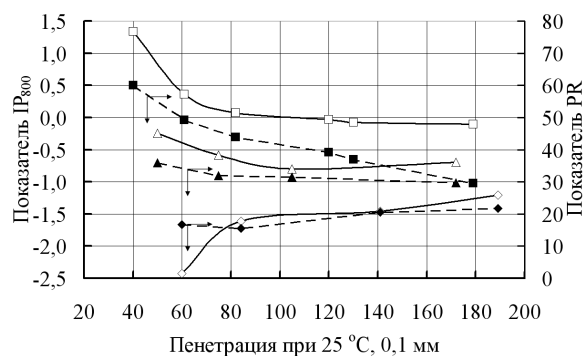


Рис. 2. Пенетрационные зависимости показателя PR (темные значки) и IP_{800} (светлые значки) для битумов: \square – модельных, \diamond – Nynas, Δ – Лисичанского НПЗ

При рассмотрении показателя «вязкостно-температурная чувствительность», в связи с тем, что в его основу положена линейность в логарифмических координатах температурно-вязкостной зависимости оказывается под сомнением возможность применения VTS для оценки окисленных битумов. Представленные на рис. 3 логарифмические температурно-вязкостные зависимости, дистилляционных битумов Nynas (НБ3 и НБ4) и модельных окисленных битумов (Б2 и Б1), имеющих, соответственно, близкие значения пенетрации при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, иллюстрируют отсутствие линейности у окисленных битумов в диапазоне температур $60\text{...}135\text{ }^{\circ}\text{C}$. Причинами этого являются особенности реологического типа окисленных битумов и наличие у них при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ аномалии вязкости (табл. 2), что приводит к занижению значений показателей VTS . Кроме этого, у окисленных битумов, изготовленных из одного сырья по одной технологии, с изменением значений пенетрации не наблюдается закономерное изменение значений показателя «вязкостно-температурная чувствительность» (рис. 4).

Корреляция между показателями «индекс пенетрации» и «вязкостно-температурная чувствительность» для окисленных битумов не установлена. Устранение влияния аномалии вязкости на значения показателя VTS для окисленных битумов возможно путем сужения температурного диапазона, используемого для расчета температурной чувствительности (например, температурным диапазоном $90\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 135\text{ }^{\circ}\text{C}$).

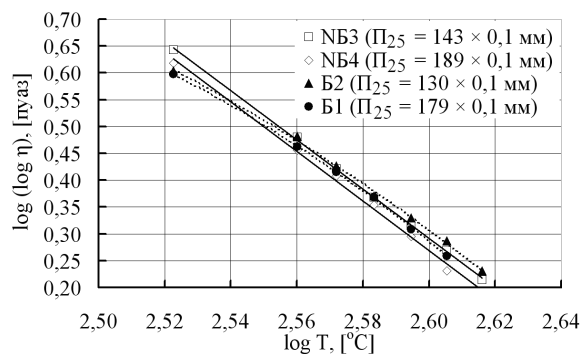


Рис. 3. Температурно-вязкостные зависимости для модельных битумов и битумов Nynas

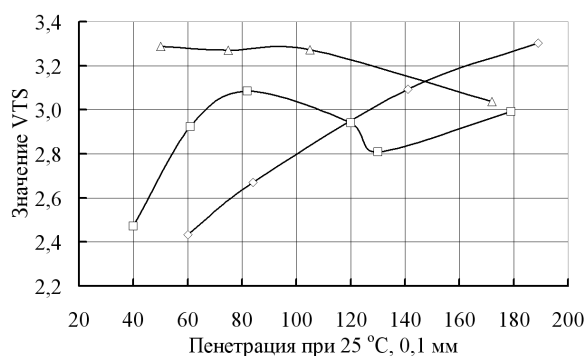


Рис. 4. Пенетрационные зависимости показателя вязкостно-температурной чувствительности битумов: □ – модельных, ◇ – Nynas, Δ – Лисичанского НПЗ

При рассмотрении значений показателя «пенетрационно-вязкостное число» (PVN), рассчитанных для принятых в работе дистилляционных и окисленных битумов, проявляется влияние структурного типа битума на значения PVN_{25-60} и PVN_{25-135} . Приведенные на рис. 5 данные иллюстрируют отсутствие пенетрационной зависимости PVN_{25-60} для модельных окисленных битумов, которые по структурному типу близки к типу «гель» (особенно высоковязкие вяжущие). В то же время для рассмотренных дистилляционных битумов и окисленных битумов, которые по структурному типу близки к типу «золь» (битумы ЛБ1 ... ЛБ4), наблюдается

закономерно изменяемая пенетрационная зависимость и PVN_{25-60} и PVN_{25-135} .

Сравнение пенетрационных зависимостей PVN дистилляционных и окисленных битумов, также, как и пенетрационных зависимостей PR , указывает на противоположные тенденции изменения температурной чувствительности: при увеличении значений глубины проникания иглы температурная чувствительность, характеризуемая PVN_{25-60} у дистилляционных битумов понижается, а у окисленных битумов повышается; температурная чувствительность, характеризуемая PVN_{25-135} , у дистилляционных битумов повышается значительно, в то время как у окисленных битумов повышение либо невелико, либо остается без изменений (например, у модельных битумов при увеличении пенетрации от $61 \times 0,1$ мм до $179 \times 0,1$ мм значение PVN_{25-135} изменяется с 1,03 до 0,9).

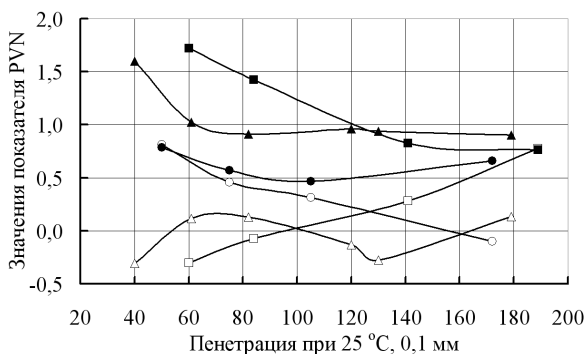


Рис. 5. Пенетрационные зависимости показателей PVN для битумов: □ – Nynas, Δ – модельных, О – Лисичанского НПЗ (светлые – PVN_{25-60} , темные – PVN_{25-135})

Зависимости между индексами пенетрации (как IP_{Tr} , так IP_{800}) и пенетрационно-вязкостными числами (как PVN_{25-60} , так и PVN_{25-135}) для принятых в исследовании окисленных битумов не установлены, что согласуется с отсутствием таких зависимостей для дистилляционных битумов, применяемых в США [15].

Выводы

1. В работе, на основе экспериментально установленных значений пенетрации и вязкости, для дистилляционных и окисленных битумов определены значения наиболее распространенных в настоящее время показателей температурной чувствительности: индекс пенетрации, коэффициент пенетрации, вязкостно-температурная чувствительность, пенетрационно-вязкостное число.

2. Установлена возможность совместного применения показателей IP_{800} и PR для оценки температурной чувствительности битумных вяжущих в диапазоне температур $0\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Применимость показателей VTS и PVN_{25-60} ограничивается оценкой температурной чувствительности для дистилляционных битумов. Присущая окисленным битумам (особенно высоковязким) при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ аномалия вязкости может служить причиной нарушения линейности температурно-вязкостных зависимостей в диапазоне $60\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 135\text{ }^{\circ}\text{C}$, наличие которой положено в основу показателя вязкостно-температурной чувствительности.

4. Для принятых в работе вяжущих на основе пенетрационных зависимостей показателей IP , PR и PVN обнаружена противоречивость в оценке температурной чувствительности битумов, произведенных по разным технологиям: с повышением пенетрации дистилляционных вяжущих их температурная чувствительность, оцениваемая показателями IP , PR и PVN_{25-135} , уменьшается, а температурная чувствительность окисленных битумов, оценивая теми же показателями, увеличивается.

5. Для оценки температурной чувствительности окисленных битумов, применяемых в дорожной отрасли Украины, с учетом особенностей их реологического типа, сырья и технологии приготовления, наиболее подходящим является показатель «индекс пенетрации», определяемый по температуре T_{800} .

Литература

1. ДСТУ 4044-2001. Битуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2001-06-27]. Вид. офіц. К.: Держстандарт України, 2001. 32 с.
2. EN 12591:2009. Bitumen and bituminous binders. Specifications for paving grade bitumens. [Published 2009-15-09]. Brussels. European committee for standardization, 2009. 36 p.
3. Read J., Whiteoak D. The Shell Bitumen Handbook. London, UK: Thomas Telford Publ., 2003. 460 p.
4. Button Joe W., Epps Jon A., Little Dallas N., Gallaway Bob M. Asphalt temperature susceptibility and its effect on pavements. *Transportation Research Record 843* / Washington DC.: Transportation Research Board, 1982. P. 118–126.
5. Pfeiffer J.P.H., Doormaal Van The Rheological Properties of Asphaltic Bitumen. *Journal of Institute of Petroleum*. 1936. Vol. 22. P. 414–440.
6. Битумные материалы: асфальты, смолы, пеки /

ред. А.Дж. Хойберг. Москва: Химия, 1974. 248 с.

7. Шапиро Г. Л., Никишина Е. Н. Изучение восприимчивости дорожных битумов к изменению температуры. *Исследование органических вяжущих дорожно-строительных материалов*. 1947. Вып. V. С. 64–92.
8. Schweyer H. E. Asphalt rheology in the near-transition temperature range. *Highway Research Record*. 1973. № 468. P. 1–15.
9. Wang D., Tetteh-Wayoe H., Anderson K. O. Low temperature properties of asphalt cements and mixtures used in the C-SHRP Lamont test road in Alberta. Edmonton, Alberta: University of Alberta, 1992. 33 p.
10. Золотарев В. А., Пыриг Я. И., Галкин А. В. Эквипенетрационная температура как альтернатива температуре размягчения битума. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2007. № 2. С. 36–39.
11. Heukelon W. Une methode ameliee de caracterisation des bitumes par leurs proprietes mecaniques. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. 1975. № 76. P. 55–64.
12. McLeod N. W. Relationship of paving asphalt temperature susceptibility as measured by PVN to paving asphalt specifications, asphalt paving mixture design and asphalt pavement performance. *Association of Asphalt Paving Technologists Proc.* 1989. P. 410–489.
13. Evaluation of asphalt properties and their relationship to pavement performance / G. Thenoux et. al. Federal Highway Administration Report FHWA-OR-RD-88-02-1, 1988. 259 p.
14. McLeod N. W. PVN as a measure of paving asphalt temperature susceptibility, and its relationship to paving asphalt specifications, paving mixture design and pavement performance. *Canadian Technical Asphalt Association*. 1989. P. 382–452.
15. Finn F. N., Yapp M. T., Coplantz J. S., Durrani A. Z. Asphalt Properties and Relationship to Pavement Performance. Literature Review (SHRPTask 1.4). Richmond, CA, 1990. 404 p.

References

1. Bitumy neftjanye dorozhnye vjazkie. Tehnicheskie uslovija [Viscous petroleum road bitumens. Specifications]. (2001). *DSTU 4044-2001 from 27th July 2001*. Kyiv: Gosstandart Ukrainy [in Ukrainian].
2. Bitumen and bituminous binders – Specifications for paving grade bitumens. (2009). *EN 12591:2009*. Brussels: European committee for standardization.
3. Read, J., & Whiteoak, D. (2003). *The Shell Bitumen Handbook*. London, UK: Thomas Telford Publ.
4. Button, J. W., Epps, J. A., Little, D. N., & Gallaway, B. M. (1982). Asphalt temperature susceptibility and its effect on pavements.

- Transportation Research Board*, 843, 118-126.
5. Pfeiffer, J. P. H. & Doormaal, V. (1936). The Rheological Properties of Asphaltic Bitumen. *Journal of Institute of Petroleum*. 22, 414-440.
 6. Hojberga, A. D. (1974). *Bitumnye materialy: asfal'ty, smoly, peki [Bituminous materials: asphalts. Tars and pitches]*. Moscow: Himija.
 7. Shapiro, G. L., Nikishina, E. N. (1947). Izuchenie vospriimchivosti dorozhnyh bitumov k izmeneniju temperatury [A study of the susceptibility of road bitumens to a change in temperature]. *Issledovanie organicheskikh vjzhashhkih dorozhno-stroitel'nyh materialov. Sbornik statej Dorizdat*, 5, 64-92 [in Russian].
 8. Schweyer, H. E. (1973). Asphalt rheology in the near-transition temperature range. *Highway Research Record*, 468, 1-15.
 9. Wang, D., Tetteh-Wayoe, H., & Anderson, K. O. (1992). *Low temperature properties of asphalt cements and mixtures used in the C-SHRP Lamont test road in Alberta*. Edmonton, Alberta: University of Alberta.
 10. Zolotarev, V. A., Pyrig, J. I., & Galkin, A. V. (2007). Jekvipenetracionnaja temperatura kak al'ternativa temperature razmjagchenija bituma [Equivalent temperature as an alternative to the softening temperature of bitumen], 2, 36-39 [in Russian].
 11. Heukelon, W. (1975). Une methode ameliee de caracterisation des bitumes par leurs proprietes mecaniques. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 76, 55-64.
 12. McLeod, N. W. (1989). Relationship of paving asphalt temperature susceptibility as measured by PVN to paving asphalt specifications, asphalt paving mixture design and asphalt pavement performance. *Association of Asphalt Paving Technologists Proc.*, 410-489.
 13. Thenoux, G., Bell, C. A., Wilson, J. E., Eakin, D., & Schroeder, M. (1988). *Evaluation of asphalt properties and their relationship to pavement performance*. Federal Highway Administration Report FHWA-OR-RD-88-02-1.
 14. McLeod, N. W. (1989). PVN as a measure of paving asphalt temperature susceptibility, and its relationship to paving asphalt specifications, paving mixture design and pavement performance. *Canadian Technical Asphalt Association*. 382-452.
 15. Finn, F. N., Yapp, M. T., Coplantz, J. S., & Durrani, A. Z. (1990). *Asphalt Properties and Relationship to Pavement Performance. Literature Review (SHRP Task 1.4)*. California.

Пыриг Ян Иванович, к.т.н., ст. научн. сотрудник,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, 61002,
Украина, телефон +38 098-446-62-68,
pirig2000@gmail.com

Comparative analysis of road bitumen temperature susceptibility

Y. Pyrig, Senior Researcher, PhD (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. *The quality of asphalt concrete road pavements is determined by the quality of bituminous binders. Nowadays penetration, viscous systems and the Superpave system are used to specify bitumen in different countries of the world. In all systems both conventional (penetration, softening and fragility) and fundamental (viscosity, modulus, shear modulus, etc.) quality parameters are required. At the same time not enough attention is paid to bitumen temperature susceptibility, its objective determination and rational standardization for all quality systems. Till now, only the "penetration index" is used to assess the temperature sensitivity of oxidized bitumen used in the road industry of Ukraine. With the adoption of DSTU EN 12591:2017 in Ukraine and the standardization of the dynamic viscosity at 60 °C and kinematic viscosity at 135 °C for the bitumen quality assessment, the issue of applicability of such temperature susceptibility parameters as "penetration-viscosity number", "viscosity-temperature susceptibility" and "penetration ratio" for the evaluation of local bitumen quality has appeared. The parameters of temperature susceptibility are analyzed; their positive aspects and disadvantages are established. Standard quality indicators, as well as penetration and viscosity in a wide temperature range are established for the local and foreign bitumen of different grades, produced by different technologies, that are used in the work. The parameters of the temperature-penetration susceptibility of bitumens were calculated on the obtained experimental data. The possibility of joint application of penetration index, determined by the temperature of the corresponding penetration of 800 × 0.1 mm and the "penetration ratio" is determined. It is established that the parameters "penetration-viscosity number", "viscosity-temperature susceptibility" are not applicable for oxidized bitumens of viscous grades. The reason for this is the viscosity anomaly inherent in the oxidized bitumen at a temperature of 60 °C, which leads to a non-linearity of temperature-viscosity dependences in the range 60 °C ... 135 °C. The conclusion is drawn that the indicator "penetration ratio", determined according to the temperature corresponding to the penetration of 800 × 0, 1 mm., is the most suitable for assessment of the temperature susceptibility of the oxidized bitumen used in the road industry of Ukraine, taking into account the features of their rheological type, raw material and the technology of production.*

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

Порівняльний аналіз показників температурної чутливості дорожніх бітумів**Пиріг Я.І., ст. наук. співробітник, к.т.н., ХНАДУ**

Анотація. Якість асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг значною мірою визначається якістю бітумних в'язучих. В наш час для оцінки бітумів у різних країнах світу використовують пенетраційну, в'язкісну системи і систему Superpave, в яких регламентуються як умовні (пенетрація, температури розм'якшення і крихкості), так і фундаментальні (в'язкість, модуль пружності, модуль зсуву і т.д.) показники якості. У той же час у всіх системах оцінки якості бітумів дуже мало уваги приділяється об'єктивному встановленню та раціональному нормуванню показників температурної чутливості в'язучих. До сьогодні для оцінки температурної чутливості окислених бітумів, що використовуються в дорожній галузі України, застосовується тільки «індекс пенетрації». У зв'язку із введенням в дію в Україні ДСТУ EN 12591:2017, в якому як нормативні взято показники динамічної в'язкості за 60 °С і кінематичної в'язкості за 135 °С, актуальним стає питання застосовності для оцінки вітчизняних бітумів таких показників температурної чутливості, як «пенетраційно-в'язкісне число», «в'язкісно-температурна чутливість» і «коефіцієнт пенетрації». У статті виконано аналіз показників те-

мпературної чутливості, встановлено їх позитивні сторони та недоліки. Для прийнятих у роботі вітчизняних та зарубіжних бітумів різних марок, вироблених за різними технологіями, встановлено стандартні показники якості, а також пенетрацію і в'язкість у широкому температурному діапазоні. На підставі отриманих експериментальних даних розраховано показники температурно-пенетраційної чутливості бітумів. Встановлено можливість спільного застосування таких показників, як «індекс пенетрації, визначений за температури, що відповідає пенетрації 800 × 0,1 мм» і «коефіцієнт пенетрації». Встановлено, що застосовність показників «пенетраційно-в'язкісне число», «в'язкісно-температурна чутливість» обмежена дистиляційними бітумами та окисленими бітумами малов'язких марок. Причиною цього є притаманна окисленим бітумам аномалія в'язкості за температури 60 °С, що призводить до порушення лінійності температурно-в'язкісних залежностей в діапазоні 60 °С ... 135 °С. Зроблено висновок про те, що для оцінки температурної чутливості окислених бітумів, що застосовуються в дорожній галузі України, з урахуванням особливостей їх реологічного типу, сировини і технології приготування, найбільш прийнятним є показник «індекс пенетрації», який визначається за температурою, що відповідає пенетрації 800 × 0,1 мм.

Ключові слова: бітум, пенетрація, температура розм'якшеності, температурна чутливість.