

ГРУПОВИЙ СКЛАД БІТУМІВ ЯК ОСНОВА ЇХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Маляр В.В.¹, Повзун О.І.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Донецький національний технічний університет

Анотація. Розглянуто взаємозв'язок між компонентами групового складу бітумів та показниками їх температурних властивостей. Запропоновано кількісний метод визначення температур розм'якшеності та крихкості, оснований на врахуванні питомого впливу олив, смол і асфальтенів на склад бітумів.

Ключові слова: температура розм'якшеності, температура крихкості, нафтові вуглеводні, ароматичні вуглеводні, петролейно-бензольні смоли, спирто-бензольні смоли, асфальтени.

Вступ

Властивості бітумних в'язучих, як і інших матеріалів, зумовлені складом, структурою та станом. Склад і структура безпосередньо пов'язані між собою, оскільки структура визначається взаємним співвідношенням, розподілом у ній структуроутворювальних елементів і характером зв'язків між ними. Нині прийнято вважати, що бітуми можуть мати три типи структури: золь, золь-гель і гель [1]. У тлумаченні А. Колбановської, яке було високо оцінено в роботі [2], це відповідає структурам другого, третього та першого типів. В обох випадках середовище є мальтеновою групою вуглеводнів, а фазою є асфальтени. Середовище та фаза можуть мати сприятливі або несприятливі властивості для утворення того чи іншого типу структур. Розбіжності в складі впливають на реологічні та технічні показники якості бітумів.

Аналіз публікацій

Існує чимало досліджень взаємозв'язку технічних показників якості бітумів з їх груповим складом. Зазвичай усім їм властивий емпіричний характер [3–6].

Найбільш інформативним для диференціації типів бітуму є індекс колоїдної нестабільності, що визначається як відношення суми асфальтенів і парафіно-нафтових вуглеводнів до суми ароматичних вуглеводнів і смол [2]. У цьому ж дослідженні наведено рівні кореляції технічних властивостей (пенетрації, індексу пенетрації та температури розм'якшеності) зі складом і структурою різних бітумів.

Встановлено, що найкраща кореляція з індексами колоїдної нестабільності, вмістом асфальтенів, індексом взаємодії та індексом множинної кореляції спостерігається для індексу пенетрації, температури розм'якше-

ності та часу релаксації за температури 60 °С. Водночас кореляція майже відсутня в разі пенетрації. Це може бути пов'язано з тим, що через тип структури пенетрація суттєво змінюється за різних температур (окрім 25 °С).

Мальтенове середовище бітумів утворюється сумішшю різноманітних насичених ароматичних вуглеводнів і смол. Фазою є асфальтени, що розрізняються за складом, будовою та молекулярною масою та можуть набухати в середовищі або взаємодіяти з ним. Наприклад, ліофобні асфальтени термічного крекінгу мають на 5–7 % знижену здатність до структуроутворення, ніж асфальтени вакуумної перегонки та асфальтени окислення важких гудронів.

З огляду на те, що до дорожніх бітумів крекінг-асфальтени не належать, надалі можна виходити з принципу сумісності асфальтенів із різними компонентами мальтенового складника. Це дає змогу застосувати правило адитивності – середньозваженого показника, запропонованого М. Гордоном і Д. Тейлором [7], яке визначається за відомими значеннями показника компонента, помноженого на його вміст. Щодо бітумів це правило може бути застосоване до компонентів їх мальтенового складника:

$$P_6 = \frac{P_1 \cdot C_1 + P_2 \cdot C_2 + \dots + P_n \cdot C_n}{C_1 + C_2 + \dots + C_n}, \quad (1)$$

де P_6 – показник бітуму; $C_1, C_2, \dots, C_n$ – вміст вуглеводнів, $P_1, P_2, \dots, P_n$ – показник компонента.

У дослідженні [8] наведено найважливіші властивості вуглеводнів, що містяться в складі мальтенового середовища. Це стосувалося температур крихкості та розм'якшеності па-

рафіно-нафтових, моноциклічних, біциклічно-ароматичних, поліциклічно-ароматичних вуглеводнів, а також петролейно-бензольних і спирто-бензольних смол. Варто зазначити, що температури склування цих компонентів для різних бітумів були встановлені в роботі [9].

Оскільки правило адитивності є справедливим лише для компонентів дисперсійного середовища, у визначенні цих показників необхідно додатково зважати на роль асфальтенової фази як структуроутворювального складника в мальтеновому середовищі. На думку А. Колбановської, перехід від ейнштейнівської ділянки зміни в'язкості зі збільшенням вмісту тонкодисперсного наповнювача до ділянки різкого зростання в'язкості відповідає межах 15–17 % асфальтенів. Структуроутворювальна роль полімерів типу стирол-бутадієн-стирол із більш розгалуженою структурою та вищою молекулярною масою, ніж у асфальтенів, спостерігається вже за умови вмісту полімеру понад 3–4 % [10].

Також відомо, що межа структурного впливу асфальтенів на температуру розм'якшеності після їх додавання в мальтенове середовище відповідає 10 %. У цьому разі додавання кожного наступного 1 % асфальтенів призводить до підвищення температури розм'якшеності на 1,2 °C.

З поданих у дослідженні [9] результатів випливає, що збільшення вмісту асфальтенів у окислених (індустріальних) та залишкових дорожніх бітумах по-різному позначається на параметрах температури крихкості та склування.

Відповідно, у цій роботі для ілюстрації запропонованого методу встановлення температури крихкості окислених і залишкових бітумів будуть прийняті різні початкові значення $T_{кр}$ їх компонентів. Це також пов'язано з тим, що методи визначення групового складу, традиційно прийняті в Україні та в Європі (метод SARA), суттєво різняться один від одного.

Зокрема в методі SARA до мальтенової фракції додають насичені вуглеводні (парафіни та нафтени), ароматичні вуглеводні та смоли. Водночас, згідно з традиційним методом, склад мальтенів містить: парафіно-нафтові (ПН), моноциклічні (МЦ), біциклічні (БЦ), поліциклічно-ароматичні (ПЦ) вуглеводні, а також петролейно-бензольні (ПБС) та спирто-бензольні смоли (СБС).

Зважаючи на окреслені обставини, під час оцінювання впливу асфальтенів на темпера-

туру крихкості мальтенового середовища прийнято підхід, викладений у праці [9]. Відповідно до нього додавання до мальтенового середовища 1 % асфальтенів у разі окислених дорожніх бітумів призводить до підвищення температури крихкості на 0,5 °C.

Мета й постановка завдання

Мета роботи – показати безпосередній кількісний зв'язок між груповим складом бітумів та їх властивостями. Для досягнення окресленої мети використано здатність вуглеводнів до сумісності, внаслідок чого формуються системи з відносно передбачуваними механічними властивостями.

Результати дослідження

Для перевірки надійності запропонованого підходу було оброблено результати досліджень А. Колбановської, Л. Гохмана, А. Quedvile та ін. [11–13]. Крім цього, основну увагу приділено об'єктам, груповий склад і властивості яких визначено за традиційними методиками. Це було вжито з метою зменшення можливих викривлень результатів через зниження відтворюваності внаслідок використання різних методик, лабораторій і виконавців.

Очевидно, що різниця в методах визначення групового складу (застосування різних розчинників і методик) неминуче призводить до отримання неоднакових значень температур розм'якшеності та крихкості. Проте, якщо відомі температури розм'якшеності та крихкості компонентів досліджуваних в'язучих, визначені одним із прийнятих способів (як це описано в роботі [9]), можна стверджувати, що принцип середньозваженого показника є застосовним для різних об'єктів.

Відповідно до інформації, наведеної в табл. 1, роль вуглеводнів і смол щодо температур розм'якшеності та крихкості зводиться до такого. Унаслідок переходу від парафіно-нафтових вуглеводнів (39 °C) до біциклічних і поліциклічно-ароматичних вуглеводнів температура розм'якшеності знижується майже на 30 °C, а в разі смол за умови переходу від петролейно-бензольних до спирто-бензольних зменшується на 36 °C (відповідно, 37 °C і 73 °C).

Фактично смолистий складник може забезпечувати теплостійкість бітумів улітку (температура розм'якшеності, наприклад, для бітумів із пенетрацією 50/70 у стандарті ЄС [14] нормується на рівні 46–54 °C, у стандарті України – 49–55 °C).

Таблиця 1 – Властивості компонентів мальтенового складника бітумів

Показники властивостей	Складники					
	оливи				смоли	
	ПН	МЦ	БЦ	ПЦ	ПБС	СБС
Температура розм'якшеності, °C	39	20	10	11	37	73
Температура крихкості, °C	-70	-50	-30	-32	1	22

Однак крихкість смол (1–22 °C) природно усуває таку можливість. Прикладом цього можуть бути дистильційні бітуми, що відрізняються від типових окислених за однакової пенетрації вищою (на 3–4 °C) температурою крихкості та нижчою (на 5 °C) температурою розм'якшеності.

Водночас низька температура крихкості парафіно-нафтових вуглеводнів могла б забезпечити тріщиностійкість бітумів. Проте це неможливо через низькі температури розм'якшеності та слабке прилипання (у 2–4 рази гірше, ніж у смол) до кам'яних матеріалів (особливо до гранітних) парафіно-нафтових вуглеводнів. Окрім того, парафіно-нафтові вуглеводні (оливи) менш стійкі до старіння, ніж смоли.

У цьому контексті властивості складників бітумів є надзвичайно суперечливими. Отже, лише оптимальне їх співвідношення та сумісність можуть забезпечити необхідний у виробничих і експлуатаційних умовах комплекс властивостей бітумів. Суперечність також спостерігається у впливі асфальтенів на розглянуті тут показники. Асфальтени регулюють консистенцію бітумів, що оцінюється за в'язкістю, пенетрацією, когезією, модулем зсуву та іншими властивостями. Збільшуючи температуру розм'якшеності, вони водночас підвищують і температуру крихкості. Суперечливий вплив складників на формування властивостей бітумів детально викладено в праці [15].

З огляду на ці обставини технології виробництва бітумів постійно вдосконалюються: змінюються режими технологічних процесів, диференціюються нафти, придатні для виробництва високоякісних бітумів, коригується сировина методом компаундування.

Нижче наведено приклади й результати розрахунків температур розм'якшеності та крихкості за вихідними показниками, поданими різними дослідниками. На думку А. Колбановської, передусім цікавими є бітуми, що належать до різних структурних типів. Груповий склад таких бітумів, визначений традиційним хроматографічно-адсорбційним методом (порядок обчислень і результати наведено в табл. 2 і 3).

Результати розрахунку температур розм'якшеності та крихкості бітумів (за інформацією В. Золотарьова) трьох структурних типів, а також експериментально встановлені значення цих температур подано в табл. 4. Ці бітуми виготовлені у Львівському філіалі ВНДІПК Нафтехім «МАСМА», а їх груповий склад визначено традиційним методом. Для цих бітумів, як і для бітумів, поданих у табл. 2 і 3, властиве підвищення збіжності результатів розрахункових і експериментальних температур мірою переходу від бітумів типу гель до бітумів типу золь.

У роботі [6] показано, що температура склування, встановлена дилатометричними вимірюваннями, і температура крихкості суттєво розрізняються.

Таблиця 2 – Груповий склад бітумів трьох структурних типів

Бітум	Вуглеводні, %					Смоли, %			Асфальтени
	ПН	МЦ	БЦ	ПЦ	Загалом	ПБС	СБС	Загалом	
Гель 1741	20,3	9,4	13,1	4,7	47,5	8,9	11,7	20,6	31,9
	791,7	188,0	131,0	51,7		329,3	854,1		
	-1421,0	-470,0	-393,0	-150,4		8,9	22,0		
Золь 1706	2,1	12,4	19,8	8,4	42,7	19,0	18,7	37,7	19,6
	81,9	248,0	198,0	92,4		703,0	1365,1		
	-147,0	-620,0	-594,0	-268,8		19,0	411,4		
Золь-гель 1003	13,2	9,4	21,4	8,4	46,7	19,0	12,2	29,1	24,2
	514,8	188,0	214,0	92,4		703,0	890,6		
	-924,0	-470,0	-642,0	-268,8		19,0	268,4		

Примітка: верхній рядок чисел – вміст компонента; середній – вплив температури розм'якшеності та вмісту компонентів; третій – те саме щодо температури крихкості.

Таблиця 3 – Вплив складників на формування температури розм'якшеності та температури крихкості

Типи бітумів	Вплив на температурні показники, °C					
	розм'якшення			крихкості		
	Асфальтени	Мальтени	Бітум	Асфальтени	Мальтени	Бітум
Гель (1741)	26,3	34,5	60,8/50	+16	-35,3	-19,3/-16
Золь-гель (1003)	17,2	34,4	51,6/51	+12,1	-26,6	-14,5/-15
Золь (1706)	11,8	33,4	45,2/47,0	+9,8	-14,9	-5,1/-9

Примітка: у знаменнику наведено експериментальні температури.

Таблиця 4 – Вплив складників на формування температур розм'якшеності та крихкості бітумів трьох структурних типів

Типи бітумів	Температура розм'якшеності, °C			Бітум	Температура крихкості, °C			Бітум
	Асфальтени	Оливи	Смоли		Асфальтени	Оливи	Смоли	
I – гель	21,6	2,1	13,3	56,0/63,0	14,0	-41,3	1,8	-25,5/-33
III – золь-гель	13,2	16,6	21,8	51,6/54,0	10,5	-34,7	4,7	-19,5/-24
II – золь	7,8	10,8	25,8	44,4/46,0	6,3	-23,8	4,6	-12,9/-14

Примітка: у знаменнику наведено експериментальні температури.

Відповідно до праці [6] для дорожніх бітумів із пенетрацією в межах від 27×0,1 мм до 205×0,1 мм та індексом пенетрації від -0,5 до -0,9 ця різниця становить 12–13 °C. Водночас для промислових окислених бітумів із високим індексом пенетрації вона зростає до 23–26 °C.

Подані експериментальні показники було взято до уваги під час перевірки запропоно-

ваного методу визначення температури крихкості дорожнього дистиляційного бітуму та окисленого промислового бітуму (табл. 5) відповідно до їх складів.

Розрахунок виконували на основі температури склування, а потім способом обчислення зазначених розбіжностей отримували температуру крихкості.

Таблиця 5 – Порядок розрахунку температур склування та крихкості дорожніх і промислових бітумів

Фракції, виділені розчинниками, та бітум	Параметр	Додавання складників бітуму	
		дорожній дистиляційний 180/220 з $P_{25} = 205 \times 0,1$ мм	окислений індустріальний R 90/40 з $P_{25} = 38 \times 0,1$ мм
Гептан	% T_g , °C	21,3 - 68	35 -72
Гептан – бензол	% T_g , °C	17,4 - 41	20,6 - 45
Ізопропіловий спирт	% T_g , °C	35,6 - 45	30,5 - 40
Трихлоретилен	% T_g , °C	16 3	- -
Мальтени	% T_g , °C	90,8 - 41	86,1 - 55
Асфальтени	%	9,2	23,2
Бітум	T_g , °C	- 36,4 -35	-43,4 - 45
Бітум	$T_{кр}$	- 36,4 + 12 = - 24,4 - 23	- 43,4 + 24 = -19,4 - 21

Примітка: у чисельнику наведено розрахункові, а в знаменнику експериментальні температури склування та крихкості.

Температура склування мальтенової фракції бітуму 180/220 із пенетрацією $205 \times 0,1$ мм дорівнює -41 °С. Додавання асфальтенового складника (у цьому разі $4,6$ °С) підвищує температуру склування бітуму до $-36,4$ °С. Оскільки різниця між температурою крихкості та склування, відповідно до праці [6], дорівнює 12 °С, температура крихкості бітуму становить $-24,4$ °С. Отримана експериментально в дослідженні [6] температура крихкості дорівнює -23 °С.

Експериментальна температура склування мальтенів окисленого бітуму 90/40 із пенетрацією $48 \times 0,1$ мм дорівнює -55 °С, а перерахована за груповим складом становить $-43,4$ °С. Перехід від T_g до $T_{кр}$ здійснено з огляду на показники, наведені в роботі [6], за допомогою обчислення різниці між ними, що становить 24 °С. Отже, температура крихкості дорівнює $-19,4$ °С. Експериментальна температура крихкості, наведена в праці [6], становить -21 °С. Отже, можливість використання принципу адитивності підтверджено для окисленого промислового бітуму та дорожнього дистильційного бітуму на основі опрацювання незалежних показників. У цьому разі було використано температури крихкості за Фраасом, температури склування, визначені дилатометричним методом, а також відповідну різницю між ними: 12 °С для дорожніх дистильційних бітумів і 24 °С для в'язкого окисленого промислового бітуму.

Наведені в табл. 6 показники переконливо доводять, що зі збільшенням густини сировини, зростанням вмісту смол і зменшенням кількості асфальтенів відбувається поступовий перехід від бітуму гель (І тип) до бітуму золь (ІІ тип). Інтервал пластичності в цьому разі знижується з 75 °С до 59 °С, а індекс пенетрації за температурою розм'якшеності зменшується від $+0,3$ до $-1,3$. Складність опрацювання наведених показників полягала в тому, що вміст складників не був диферен-

ційний. Тому було застосовано усереднені значення температур розм'якшеності: олив – $+25$ °С, смол – $+55$ °С, а температури крихкості, відповідно, -46 °С та $+11$ °С. Розрахункові значення температур крихкості та розм'якшеності досить близькі до експериментальних показників.

На основі масиву даних, отриманих з досліджень різних авторів (загалом 42 об'єкти), було побудовано залежності між експериментальними та розрахунковими значеннями досліджуваних показників (рис. 1).

Пряма залежність між розрахунковими та експериментальними температурами розм'якшеності визначається коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,53$. Аналогічна залежність для температури крихкості – коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,64$.

На обох графіках позначено точки (чорні квадрати), що значно відхиляються від отриманих залежностей. Ці точки здебільшого відповідають бітумам типу гель із високим індексом пенетрації, хоча одна з точок стосується бітуму з дуже низьким індексом пенетрації. Описаний у цій роботі метод, імовірно, не може бути застосований до бітумів із високим індексом пенетрації, принаймні більшим за 1,5. У стандарті EN [14] його верхня границя становить 0,7, а в ДСТУ 4044-2019 – 1,0. Отже, можна припустити, що впровадження цього методу для бітумів, які відповідають зазначеним стандартам, є цілком прийнятним.

Очевидно, що сумісність компонентів бітумів з індексами пенетрації, які перевищують вимоги стандартів, є низькою. Так, правило адитивності, використане в цій роботі, на них не поширюється.

Це добре узгоджується з фактом зростання коефіцієнта аномалії в'язкості (індексу течії) під час переходу від бітумів типу золь до типу золь-гель, а потім до типу гель.

Таблиця 6 – Властивості бітумів з однаковою пенетрацією з гудронів різної консистенції

Показники	Бітуми				
	1	2	3	4	5
Пенетрація, 0,1 мм	80	80	80	80	80
Температура розм'якшеності, °С	51/49,8	49/50,2	48/47,5	47/46,6	46/45,2
Температура крихкості, °С	-24/-19	-20/16	-17/15,6	-15/-14,4	-13/-14,1
Індекс пенетрації	+0,3	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3
Вміст, % олив	56	53	51,6	51,3	50
смол	20	23,5	27	29,9	33,8
асфальтенів	24,0	23,5	20,8	18,8	16,2

Примітка: у чисельнику наведено експериментальні показники [10], у знаменнику – розрахункові.

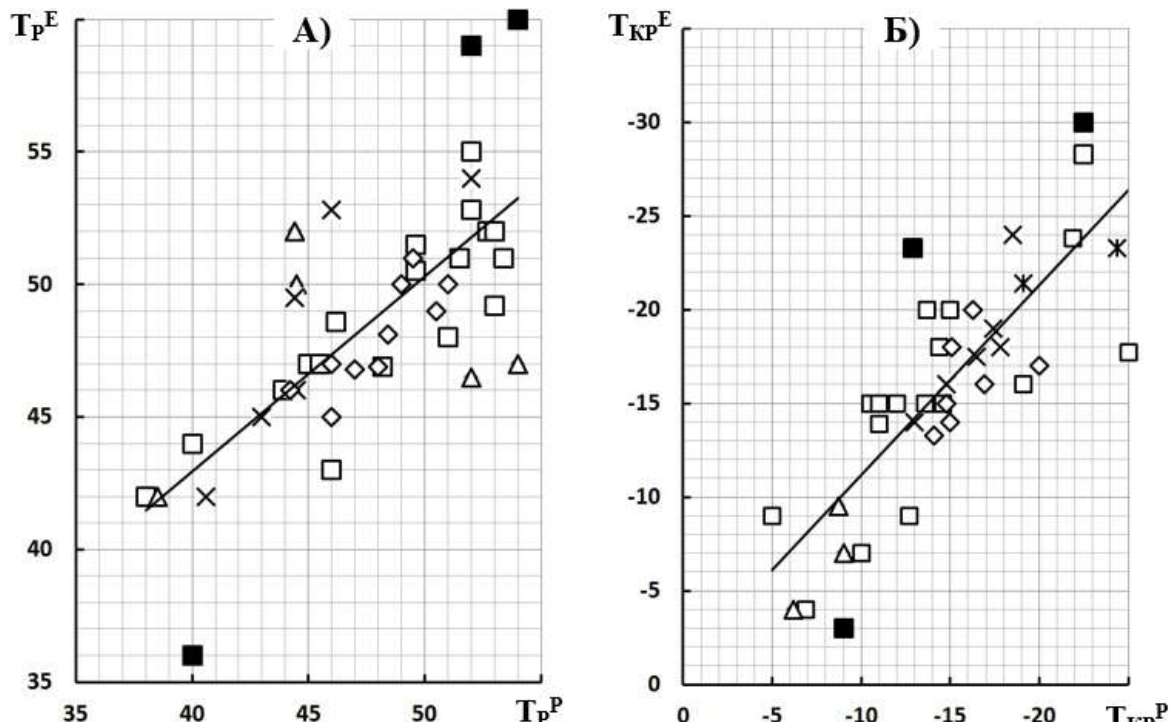


Рис. 1. Залежності між експериментальними T^E і розрахунковими T^P температурами розм'якшеності (А) та крихкості (Б)

Аналіз результатів також свідчить про те, що вплив кожного групового компонента бітумів на величини температури розм'якшеності та крихкості залежить від структурного типу бітуму.

Для бітумів типу золь, золь-гель, гель вплив асфальтенів у температуру розм'якшеності, згідно з працею [10], становить, відповідно, (17–20) %, (25–30) % та (38–42) %. Водночас вплив смол становить (58–63) %, (39–42) % та (24–26) %. Вплив олив для цих трьох типів становить: для типу золь – (22–24) %, золь-гель – (28–32) %, гель – (33–37) %. Наведені показники стосуються бітумів із пенетрацією $(80–82) \times 0,1$ мм та індексом пенетрації від $-1,0$ до $+2,7$.

У роботі [10] досліджено бітуми з пенетрацією $(66–77) \times 0,1$ мм та індексом пенетрації від $-1,9$ до $+3,0$. Зниження температури крихкості олив під впливом асфальтенів становить: для бітумів типу золь – (27–31) %, золь-гель – (31–35) %, гель – (34–38) %.

Вплив смол на зниження температури крихкості олив коливається в межах: для бітумів типу золь – (19–22) %, типу золь-гель – (12–15) %, а для бітумів гель – (3,0–5,0) %.

Відповідно до чинної концепції подібності залишкових бітумів до окислених за близькими значеннями їх індексів пенетрації можна стверджувати, що запропонований у цій роботі принцип взаємозв'язку складу та вла-

стивостей є застосовним до обох технологічних видів бітуму. Отримані показники підтверджують достатню надійність методу встановлення взаємозв'язку між груповим складом бітумів і температурами їх розм'якшеності та крихкості.

Однак обов'язковою умовою є попереднє визначення температур крихкості та розм'якшеності компонентів, що містяться в складі бітуму. На основі літературних джерел можна обмежитися групами окислених і залишкових бітумів. Це дасть змогу уникнути значних похибок у відтворюваності результатів.

Наведені показники свідчать: що нижчий індекс пенетрації бітуму, то надійніші результати, отримані запропонованим методом, тобто в цьому разі індекс ближчий до типу золь (II тип). Це пов'язано з більшою сумісністю компонентів у бітумі цього типу.

Автори висловлюють глибоку подяку професору Золотарьову В. О. за надану консультацію, матеріали та ідеї, що сприяли цьому дослідженню.

Висновки

1. Розроблено метод визначення температурних станів бітуму (розм'якшеності та крихкості), оснований на принципі адитивності Гордона – Тейлора для сополімерів, який дає змогу за значеннями температур вуглеводневих груп та їх кількістю в об'єкті визначити

ці самі температури для самого об'єкта. Результати розрахунків допомагають оцінити вплив кожної групи вуглеводнів на температури розм'якшеності та крихкості бітуму, що є суттєвим фактором для розуміння природи бітуму й прогнозування способів отримання бітумів із заданими властивостями. Температури розм'якшеності та крихкості цих груп на першому етапі розвитку запропонованого напрямку для окислених бітумів можуть бути прийняті за результатами досліджень Л. Гохмана. Принцип адитивності застосовано в процесі використання різних методів визначення групового складу за умови дотримання відповідних температур розм'якшеності та крихкості кожного компонента.

2. Асфальтени є найбільш активним компонентом, що підвищує температури розм'якшеності та крихкості бітуму. Підвищення температури розм'якшеності внаслідок додавання асфальтенів зростає в умовах переходу від бітумів типу золь до типу гель на 17–42 °C. Підвищення температури крихкості для цього самого ряду становить 27–38 %. Смоли найбільше впливають на температуру розм'якшеності бітуму типу золь.

3. Використання під час виготовлення бітумів оперативних методів контролю групового складу сировини або, принаймні, мальтенів і асфальтенів дає змогу прогнозувати температури розм'якшеності та крихкості бітуму на різних етапах його готовності. Метод може бути корисним для розвитку поглядів на сутність старіння бітуму під час технологічної підготовки та в процесі його експлуатації як покриття.

Література

1. Pheiffer J.Ph., Van Doormal P.M. The reological properties of asphaltic bitumens. *Journal of the institute of Petroleum*. USA, 1936. Vol. 22. P. 414–440.
2. Ramond G., Such Ch. Bitumes et bitumes modifiés: Relation structures, propriété composition. *Bull Liaison Labo P. et Ch.*, 1990. Vol. 168. P. 23–45.
3. Apostolidis P., Porot L. Evaluation of chemical composition and physical properties of bituminous binders and fractions. *Road Materials and Pavement Design*, 2024. Vol. 25. № 1. P. 68–80.
4. Chailleux E., Queffelec C., Borghol I. et al. Bitumen fractionation: Contribution of the individual fractions to the mechanical behavior of road binders. *Construction and Building Materials*, 2021. Vol. 271. P. 1–32.
5. Weigel S., Stephan D. Relationships between the chemistry and the physical properties of bitumen. *Road Materials and Pavement Design*, 2018. Vol. 19. № 7. P. 1636–1650.
6. Kleizienė R., Panasenkienė M., Vaitkus A. Effect of Aging on Chemical Composition and Rheological Properties of Neat and Modified Bitumen. *Materials*, 2019. Vol. 12. № 24. P. 1–15.
7. Gordon M., Taylor J.S. Ideal co-polymers and the second order transitions of synthetic rubbers. *Journal of Applied Chemistry*, 1952. № 2. P. 493–500.
8. Gokhman L.M. Theoretical Principles of the Bitumen Structure and the Role of Asphaltenes. *Developments in Petroleum Science*. Elsevier, 2000. Vol. 40. Part B. P. 173–227.
9. Quedevele A. La transition vitreuse du bitume. *Bull Liaison Labo. P. Et Ch.*, 1972. Vol. 61. P. 125–135.
10. Gokman L.M. Étude des propriétés rhéologiques des types structuraux de bitume sous déformation statique ou dynamique. *Bull Liaison Labo. P. Et Ch. Special V.*, 1977. P. 59–68.
11. Wang T., Wang J., Hou X., Xiao F. Effects of SARA fractions on low temperature properties of asphalt binders. *Road Materials and Pavement Design*, 2019. P. 539–556.
12. Hofko B., Eberhardsteiner L., Füssl J. et al. Impact of maltene and asphaltene fraction on mechanical behavior and microstructure of bitumen. *Materials and Structures*, 2016. Vol. 49. P. 829–841.
13. Weigel S., Stephan D. Modelling of rheological and ageing properties of bitumen based on its chemical structure. *Materials and Structures*, 2017. Vol. 50. P. 1–15.
14. ДСТУ EN 12591:2017. Бітум та бітумні в'язучі. Технічні вимоги до дорожніх бітумів (EN 12591:2009, IDT). [Чинний від 2018-01-01]. Київ: УкрНДНЦ, 2018. 16 с.
15. Kennel M. Morphologie et rôle des asphaltenes dans les bitumes routiers. *Bull. Liaison. Labo. P. et Ch. Special V.*, 1977. P. 73–78.

References

1. Pheiffer J.Ph., Van Doormal P.M. The reological properties of asphaltic bitumens. *Journal of the institute of Petroleum*. USA, 1936. Vol. 22. P. 414–440.
2. Ramond G., Such Ch. Bitumes et bitumes modifiés: Relation structures, propriété composition. *Bull Liaison Labo P. et Ch.*, 1990. Vol. 168. P. 23–45.
3. Apostolidis P., Porot L. Evaluation of chemical composition and physical properties of bituminous binders and fractions. *Road Materials and Pavement Design*, 2024. Vol. 25. № 1. P. 68–80.
4. Chailleux E., Queffelec C., Borghol I. et al. Bitumen fractionation: Contribution of the individual fractions to the mechanical behavior of road binders. *Construction and Building Materials*, 2021. Vol. 271. P. 1–32.
5. Weigel S., Stephan D. Relationships between the chemistry and the physical properties of bitumen.

- Road Materials and Pavement Design*, 2018. Vol. 19. № 7. P. 1636–1650.
7. Kleizienė R., Panasenkienė M., Vaitkus A. Effect of Aging on Chemical Composition and Rheological Properties of Neat and Modified Bitumen. *Materials*, 2019. Vol. 12. № 24. P. 1–15.
 8. Gordon M., Taylor J.S. Ideal co-polymers and the second order transitions of synthetic rubbers. *Journal of Applied Chemistry*, 1952. № 2. P. 493–500.
 9. Gokhman L.M. Theoretical Principles of the Bitumen Structure and the Role of Asphaltenes. *Developments in Petroleum Science*. Elsevier, 2000. Vol. 40. Part B. P. 173–227.
 10. Quedevele A. La transition vitreuse du bitume. *Bull Liason Labo. P. Et Ch.*, 1972. Vol. 61. P. 125–135.
 11. Gokman L.M. Étude des propriétés rhéologiques des types structuraux de bitume sous déformation statique ou dynamique. *Bull Liason Labo. P. Et Ch. Special V.*, 1977. P. 59–68.
 12. Wang T., Wang J., Hou X., Xiao F. Effects of SARA fractions on low temperature properties of asphalt binders. *Road Materials and Pavement Design*, 2019. P. 539–556.
 13. Hofko B., Eberhardsteiner L., Füssl J. et al. Impact of maltene and asphaltene fraction on mechanical behavior and microstructure of bitumen. *Materials and Structures*, 2016. Vol. 49. P. 829–841.
 14. Weigel S., Stephan D. Modelling of rheological and ageing properties of bitumen based on its chemical structure. *Materials and Structures*, 2017. Vol. 50. P. 1–15.
 15. DSTU EN 12591:2017. Bitum ta bitumni viazhuchi. Tekhnichni vymohy do dorozhnikh bitumiv (EN 12591:2009, IDT). [Chynnyi vid 2018-01-01]. Kyiv: UkrNDNTs, 2018. 16 s.
 16. Kennel M. Morphologie et rôle des asphaltenes dans les bitumes routiers. *Bull. Liaison. Labo. P. et Ch. Special V.*, 1977. P. 73–78.

Маляр Володимир Володимирович¹, к.т.н., проф. каф. технології дорожньо-будівельних матеріалів ім. М.І. Волкова, тел. +38 (067)7189941, vladimirmalyar16@gmail.com,

Повзун Олексій Іванович², к.т.н., доц. каф. прикладної механіки, тел. +38(050)4789659, povzun.aleksey@gmail.com.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

²Донецький національний технічний університет, 82111, Україна, Львівська область, м. Дрогобич, вул. Самбірська, 76.

Group composition of bitumens as a basis for their temperature characteristics

Abstract. Problem. The temperature characteristics of bitumens (softening and brittleness temperatures) significantly affect their suitability for use in road construction and other industries. However, the quantitative

relationship between the group composition of bitumens and their temperature properties is insufficiently studied, making it challenging to predict these characteristics. **Goal.** To develop a method for determining the softening and brittleness temperatures of bitumens based on their group composition, considering the contributions of components (asphaltenes, resins, and oils) to the formation of temperature characteristics, and to verify its applicability to different types of bitumens. **Methodology.** The study is based on the principle of Gordon-Taylor additivity for copolymers. Experimental data on the softening and brittleness temperatures of bitumen components and their group composition were used. Calculations were performed for bitumens of various structural types (sol, sol-gel, gel), including analysis of literature data and experimental measurements. **Results.** The proposed method confirmed the feasibility of quantitatively determining the softening and brittleness temperatures of bitumens based on their group composition. It was established that asphaltenes significantly increase both temperatures, resins predominantly affect the softening temperature, and oils contribute to lowering the brittleness temperature. The method showed high consistency of results for sol and sol-gel type bitumens but limited applicability for bitumens with a high penetration index. **Originality.** The proposed method has been adapted for bitumens, taking into account their unique group components. Unlike existing empirical approaches, this method allows for a quantitative assessment of each component's contribution to the temperature characteristics of bitumens, providing greater accuracy and universality. The study also systematically addresses, for the first time, the impact of the compatibility of bitumen components on its structural type and temperature characteristics. **Practical value.** The developed method enables the prediction of bitumens' temperature characteristics based on their composition, which is useful for optimizing production technologies, selecting raw materials, and quality control. It also enhances understanding of bitumen aging processes and their performance during use.

Keywords: softening temperature, brittleness temperature, naphthenic hydrocarbons, aromatic hydrocarbons, petroleum-benzene resins, alcohol-benzene resins, asphaltenes.

Maliar Volodymyr¹, Ph.D., professor, Technologies of Road Construction Materials named after M.I. Volkova Department, tel. +38(067)7189941, vladimirmalyar16@gmail.com, **Povzun Oleksiy**², Ph.D., associate professor of Applied Mechanics Department, tel. +38(050)4789659, povzun.aleksey@gmail.com.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

²Donetsk National Technical University, 76, Sambirskaya str., Lviv region, Drohobych, 82111, Ukraine