

СТРУКТУРА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМОВ

А. В. Сапов, А. Н. Зимнухов, В. П. Ярцев

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. В. Леденев

Ключевые слова: битум; дисперсия; матрица; пластичность; структура.

Аннотация: Рассмотрены вопросы о структуре битума как дисперсионной среды, состоящей из трех структур, отождествляемых коллоидными системами «золь», «золь–гель», «гель». Представлены эксплуатационные характеристики битумов и метод определения их типов для использования в широком интервале температурной пластичности при составлении морфологической карты поиска технических решений.

Структура битумов как дисперсионная система с дисперсной фазой из асфальтенов и дисперсионной средой из смол и углеводов получила широкое распространение. Битумы состоят из сложных структурных единиц – надмолекулярных структур (ассоциатов) различной толщины сольватной оболочки, прочности связей и упорядоченности. Они разделены на три типа – «золь», «золь–гель» и «гель».

Битум под типом «гель» представляет собой коллоидную систему, которая во всем объеме образует коагуляционный каркас. Характер изменения скорости течения битума зависит от приложенного напряжения и появления деформации; в начале деформации наблюдается снижение до минимального значения, а затем скорость течения повышается. После снятия напряжения наблюдается восстановление упругости битумов. В системе типа «золь» гель имеет место в виде локальных структур, но его явно недостаточно для образования коагуляционного каркаса во всем объеме. Скорость течения таких битумов под действием напряжения постоянна и пропорциональна напряжению сдвига. Момент снятия действующего напряжения характеризуется состоянием неэластичной упругости. Тип «золь–гель» представляет собой систему, где коагуляционный каркас

Сапов Андрей Владимирович – магистрант; Зимнухов Александр Николаевич – соискатель кафедры «Конструкции зданий и сооружений», e-mail: kzis@nnn.tstu.ru; Ярцев Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений», ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия.

лишь зарождается. Скорость течения битумов данного типа при постоянном напряжении сдвига после начала действия деформации снижается и достигает практически постоянной величины. После снятия напряжения, эластичность частично восстанавливает свое первоначальное значение [1].

На основе анализа различных представлений о структуре нефтяных битумов и исследования процессов структурообразования битум можно рассматривать как пространственную дисперсную систему, у которой дисперсная фаза – асфальтены – набухают в углеводородной дисперсионной среде, в различной степени структурированной смолами. Различают битумы по структурированным типам, которые можно отождествлять с коллоидными системами «золь», «золь-гель» и «гель» (рис. 1) [2]:

1) тип «золь» – предельно стабилизированная разбавленная суспензия асфальтенов в сильно структурированной смолами дисперсионной среде. Асфальтены, несвязанные и не взаимодействующие друг с другом, адсорбируют смолы, переводя их в пленочное состояние, обладающее повышенной вязкостью и прочностью. При одной и той же степени структурирования среды смолами для получения структуры с данной вязкостью необходимое количество асфальтенов зависит от их лиофильности, уменьшаясь с увеличением последней;

2) тип «золь-гель» – система, в которой отдельные агрегаты или вторичные структурные образования асфальтенов находятся в дисперсионной среде, структурированной смолами в значительно большей степени, чем среда типа «гель», но в меньшей степени, чем среда типа «золь»;

3) тип «гель» – коагуляционная сетка-каркас из асфальтенов, находящаяся в слабо структурированной смолами дисперсионной среде, состоящей из смеси парафино-нафтеновых и ароматических углеводородов. Асфальтены, составляющие сетку, взаимодействуют друг с другом через тонкие прослойки дисперсионной среды. На внешней лиофильной поверхности асфальтенов адсорбируются смолы, обладающие в тонком пленочном слое повышенными механическими свойствами.

На основе коллоидно-химических представлений предложена модель строения битумов, учитывающая степень отклонения дисперсной системы от равновесного состояния [3]. В предельных условиях дисперсная среда может быть в вязко-пластичном или конденсационном стеклообразном состоянии.

Основной объем выпускаемых битумов предназначен для дорожного хозяйства. Они используются в качестве вяжущего материала в композиции и в чистом виде при строительстве и ремонте асфальтобетонных

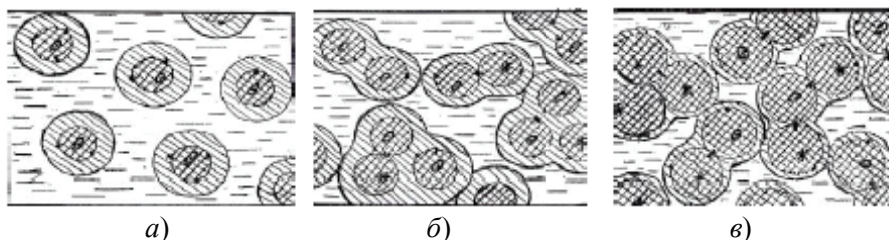


Рис. 1. Структура битума:
а – «золь»; б – «золь-гель»; в – «гель»

покрытий. Их разделяют на вязкие и жидкие. Вязкие битумы для дорожного строительства должны удовлетворять требованиям ГОСТ 22245–90 [4], они маркируются по значению показателя пенетрации при 25 °С. В соответствии с ГОСТ 22245–90 качество битума характеризуется рядом показателей: глубина проникания иглы (пенетрация), температура размягчения (температура размягчения по кольцу и шару), температура хрупкости, растяжимость (дуктильность) и адгезия на каменном материале. Из данных показателей наиболее важными являются глубина проникания иглы, температура размягчения и хрупкости.

Температура размягчения и хрупкости характеризует интервал пластичности – рабочий интервал температуры битума в изделиях. Наиболее простая зависимость между температурой размягчения и составом битумов – с повышением концентрации асфальтенов в битуме температура размягчения повышается. В зависимости от концентрации асфальтенов битумы образуют соответственно золь-, золь–гель- или гель-структурные формы. Для разрушения данных структур требуется различная энергия, поэтому битумы с большим содержанием асфальтенов, имеющие структуру типа «гель», обладают более высокой температурой размягчения. Температура хрупкости в свою очередь повышается с уменьшением количества дисперсионной среды и повышением температуры ее перехода в твердое состояние, теряя пластичность и становясь аморфным [5].

Растяжимость битума косвенно характеризует его прилипаемость и связана с природой его компонентов. Повышение растяжимости не всегда соответствует улучшению свойств вяжущего дорожных битумов, так как условия испытания отличаются от условий работы битума в дорожном покрытии.

Пенетрация, являясь параметром вязкости, показывает изменение пластичности среды и влияние ее на теплостойкость битума. Также степень коллоидности битума характеризует индекс пенетрации (**ИП**), который подразделяется на три группы и определяется по таблице в зависимости от температуры размягчения и пенетрации:

– битумы с ИП, меньшим –2, не имеющие дисперсной фазы или содержащие сильно пептизированные асфальтены, в основном, остаточные битумы типа «золь»;

– битумы с ИП в пределах от –2 до +2, битумы типа «золь–гель» – остаточные и малоокисленные битумы;

– окисленные битумы с ИП более +2 имеют коллоидную структуру гелей.

Другим немаловажным показателем качества дорожных битумов является его адгезия (сцепляемость) с поверхностью минерального материала. Адгезия представляет собой процесс энергетического взаимодействия частиц (атомов, молекул) на границе раздела фаз, который образует приграничный слой, приводящий к появлению нового объекта с новыми свойствами.

В литературе существуют различные мнения о природе сил адгезии [6]. Одни исследователи считают, что адгезия обусловлена силами вандер-ваальсовой природы, другие – химической связью, третьи – возникновением двойного электрического слоя на межфазной границе контакта.

Наряду с адгезией, одной из важных характеристик механических свойств битума является его когезия (прочность), которая характеризует сопротивление слоев тела перемещению друг относительно друга на молекулярном уровне [7]. Как и адгезия, она зависит от природы битума и температуры [8]. Н. Эверс определял когезию битума по усилию, необходимому для разрыва двух образцов кожи, склеенных слоем битума. Он показал, что битумы, имеющие одинаковую вязкость, обладают разной когезией и могут зависеть от группового химического состава битума.

Для оценки механических свойств битума когезия является важной характеристикой. В зависимости от типа дорожных марок битумов, их разделяют на несколько климатических зон [9]:

- в дорожно-климатической зоне I, где температура наиболее холодного времени не превышает -20°C , рекомендуется использовать битум марок БНД 200/300, БНД 130/200, БНД 90/130;
- во II и III зонах, где температура находится в пределах $-10\dots 20^{\circ}\text{C}$, используют битумы БНД 200/300, БНД 130/200, БНД 90/130;
- в IV зоне при температуре $-5\dots 10^{\circ}\text{C}$ – БНД 200/300, БНД 130/200, БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 40/60;
- в V климатической зоне при температуре не ниже $+5^{\circ}\text{C}$ – БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 40/60.

Найдем техническое решение теоретического определения необходимой марки дорожного битума, отвечающей универсальностью в строительном и эксплуатационном применении.

При помощи составления морфологической карты поиска технических решений (табл. 1) и анализа технических решений (матрица парных сравнений) (табл. 2) выявлено, что наиболее прогрессивна марка битума БНД 90/130. При высокой универсальности можно использовать особенности применения данного битума в широком интервале температурной пластичности (табл. 3) [10].

Таблица 1

Морфологическая карта поиска технических решений

Дорожно-климатическая зона	Частичные технические решения (марка битума)						
	1	2	3	4	5	6	7
I	БНД 90/130	БНД 130/200	БНД 200/300	–	–	–	–
II, III	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 130/200	БНД 200/300	–	–	–
II, III, IV	БНД 40/60	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 130/200	БН 90/130	БН 130/200	БН 200/300
IV, V				БН 60/90		–	–

Таблица 2

**Матрица парных сравнений дополнительных
технических требований**

Дополнительные требования	Номер дополнительных требований								Новая сумма	Ранг	Весовой коэффициент
	1	2	4	4	5	6	7	Σ			
Глубина проникновения иглы	–	1	1	0	0	1	1	4	5,2	1	0,208
Температура размягчения по кольцу и шару	0	–	1	1	0	1	0	3	4,0	3	0,106
Растяжимость	1	1	–	1	1	1	0	5	5,0	2	0,200
Температура хрупкости	0	0	1	–	1	1	0	3	3,5	4	0,140
Температура вспышки	0	0	0	1	–	1	1	3	2,0	7	0,080
Изменение температуры размягчения после прогрева	1	0	1	1	0	–	1	4	2,8	5	0,112
Индекс пенетрации	1	0	1	0	0	1	–	3	2,5	6	0,100
Σ	–							25	25	–	1

Таблица 3

Оценка альтернативных решений

Вариант решения	Дополнительные технические требования (ТТ _i) с весовыми коэффициентами a_j							Результат оценки $a_i = 1$
	ТТ ₁ = 0,208	ТТ ₂ = 0,16	ТТ ₃ = 0,2	ТТ ₄ = 0,14	ТТ ₅ = 0,08	ТТ ₆ = 0,112	ТТ ₇ = 0,1	
A1B2B3Г3	1,872	1,44	1,8	0,98	0,56	0,896	0,8	8,348
A2B2B3Г5	1,664	1,12	1,4	0,84	0,48	0,784	0,7	6,988
A1B2B5Г5	1,872	1,44	1,6	0,98				7,856
A1B1B2Г2	1,664	1,28	1,4	0,84	0,40	0,672	0,5	6,756
A1B1B5Г4		1,12	1,6	0,84	0,48	0,784	0,8	7,288
A2B2B2Г1	1,872	1,28		0,70	0,40	0,672	0,7	7,224
A1B1B1Г1	1,44	0,98		0,48	0,784	7,856		

Несмотря на наличие стандартных показателей по ГОСТ, предъявляемых к дорожным битумам, и более высоких требований в отношении морозо- и теплостойкости, а также по адгезионным свойствам, как пока-

зывает практика, битумы не отвечают современным требованиям при строительстве и эксплуатации дорог. Политика, выработанная перерабатывающими заводами и направленная на углубление переработки нефти, в целях увеличения выхода топливных и масляных компонентов приводит к снижению качества битумов. Все рассмотренные проблемы успешно решаются с помощью применения дорожных битумов с улучшенными эксплуатационными характеристиками и композициями на их основе.

Список литературы

1. Битумные материалы (асфальты, смолы, пеки) / под ред. А. Дж. Хойберга ; пер. с англ. С. Ш. Абрамовича. – М. : Химия, 1974. – 248 с.
2. Колбановская, А. С. Дорожные битумы / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
3. Печеный, Б. Г. Битумы и битумные композиции / Б. Г. Печеный. – М. : Химия, 1990. – 256 с.
4. ГОСТ 22245–90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – Введ. 1991–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 11 с.
5. Туманян, Б. П. Научные и прикладные аспекты теории нефтяных дисперсных систем / Б. П. Туманян. – М. : Техника, 2000. – 336 с.
6. Адгезия в композиционных материалах: термины и физическая сущность / В. П. Кузнецов [и др.] // Вестн. Кемер. гос. университета. – 2014. – Т. 1, № 2 (58). – С. 173 – 177.
7. Разработка системы и методики для численной оценки когезионной и адгезионной прочностей битума / Ю. Э. Васильев [и др.] // Науковедение. – 2014. – № 5 (24). – С. 1 – 13.
8. Оценка адгезионных и когезионных свойств модифицированных дорожных битумов / В. П. Киселев [и др.] // Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. университета. – 2010. – № 4. – С. 129 – 138.
9. Колмаков, Г. А. Физико-химические свойства битумов. Метод определения растяжимости. Методические указания к выполнению лабораторной работы / Г. А. Колмаков, М. А. Кочеткова, И. А. Шубников. – Нижний Новгород : Изд. ННГАСУ, 2010. – 20 с.
10. Бакатин, Ю. П. Основы инженерного творчества. Практика поиска и защиты новых инженерных решений : учеб. пособие / Ю. П. Бакатин. – М. : Техполиграфцентр, 2005. – 113 с.

References

1. Khoiberg A.Dzh., Abramovich S.Sh. *Bitumnye materialy (asfal'ty, smoly, peki)* [Butuminous materials: Asphalts, tars and pitches], Moscow: Khimiya, 1974, 248 p. (In Russ.)
2. Kolbanovskaya A.S., Mikhailov V.V. *Dorozhnye bitumy* [Road bitumen], Moscow: Transport, 1973, 264 p. (In Russ.)
3. Pechenyi B.G. *Bitumy i bitumnye kompozitsii* [Bitumen and bitumen compositions], Moscow: Khimiya, 1990, 256 p. (In Russ.)
4. GOST 22245–90. *Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Tekhnicheskie usloviya* [Viscous petroleum road bitumens. Specifications], Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1996, 11 p. (In Russ.)
5. Tumanyan B.P. *Nauchnye i prikladnye aspekty teorii neftyanykh dispersnykh system* [Scientific and applied aspects of the theory of oil dispersed systems], Moscow: Tekhnika, 2000, 336 p. (In Russ.)

6. Kuznetsov V.P., Baumgarten M.I., Nevzorov B.P., Fadeev Yu.A. [Adhesion in Composite Materials: Terms and Physical Foundations], *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Kemerovo State University], 2014, vol. 1, no. 2 (58), pp. 173-177. (In Russ., abstract in Eng.)

7. Vasil'ev Yu.E., Subbotin I.V., Shelest S.M., Stepanishchev A.D. [Bitumen cohesion and adhesion strength quantitative assessment method and system research], *Naukovedenie* [Naukovedenie], 2014, no. 5 (24), pp. 1-13. (In Russ., abstract in Eng.)

8. Kiselev V.P., Efremov A.A., Bugaenko M.B., Gur'ev D.L., Kemenev N.V., Filimonov V.S. [Estimation of the Adhesive and Cohesive Properties of the Modified Road Bitumen], *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhi-tekturno-stroitel'nogo universiteta* [Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. English version appendix], 2010, no. 4, pp. 129-138. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Kolmakov G.A., Kochetkova M.A., Shubnikov I.A. *Fiziko-khimicheskie svoystva bitumov. Metod opredeleniya rastyazhimosti. Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornoi raboty* [Physico-chemical properties of bitumens. Method for determination of extensibility. Methodical instructions for the performance of laboratory work], Nizhnii Novgorod: Izdanie NNGASU, 2010, 20 p. (In Russ.)

10. Bakatin Yu.P. *Osnovy inzhenernogo tvorchestva. Praktika poiska i zashchity novykh inzhenernykh reshenii. Uchebnoe posobie* [Fundamentals of engineering creativity. The practice of finding and protecting new engineering solutions. Tutorial], Moscow: Tekhpoltgraftsent, 2005. – 113 p. (In Russ.)

The Structure and Operational Characteristics of Bitumen

A. V. Sapov, A. N. Zimnukhov, V. P. Yartsev

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Keywords: bitumen; dispersion; matrix plasticity; structure.

Abstract: The article explores the structure of bitumen as the dispersion medium, consisting of the three structures identified by “sol”, “sol–gel” and “gel” colloidal systems. The authors describe the operational characteristics of the bitumen and a method for determining the type of bitumen to be used in a wide temperature interval of plasticity to prepare morphological maps of technical solutions.

© А. В. Сапов, А. Н. Зимнухов, В. П. Ярцев, 2017