



ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СТАРІННЯ НАФТОВИХ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ ТА АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

М. К. Пактер, В. І. Братчун, О. А. Стукалов, В. Л. Беспалов, А. Г. Доля

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: bratv09@yandex.ru

Отримана 13 жовтня 2014; прийнята 26 грудня 2014.

Анотація. З використанням реологічних і стандартних методів, а також інфрачервоної спектроскопії вивчені явища і процеси, що відбуваються у нафтових дорожніх бітумах і асфальтобетонах при технологічному старінні в процесі виробництва асфальтобетонних сумішей. Встановлено, що термоокисне старіння нафтових дорожніх бітумів йде по вільнорадикальному механізму і розвитку процесів, які призводять до зниження вмісту масел в бітумі і підвищення концентрації асфальтенів, що проявляється у зниженні пенетрації, підвищенні температури розм'якшення, зростання ефективної молекулярної маси полімерної складової бітуму, до зниження релаксаційної і деформативної спроможності, а також до втрати адгезійно-когезійних властивостей органічного в'язучого. Розраховано середню швидкість процесів приєднання кисню повітря і втрати маси нафтового дорожнього бітуму при термоокисному старінні. Видалені методом адсорбційної хроматографії фракції масел і фракція петролейно-бензолічних смол досліджені методом інфрачервоної спектроскопії на прикладі IR-75 в зоні $3\ 600\text{--}700\ \text{см}^{-1}$ методом рідкої плівки. Встановлено, що в плівковому бітумі є поверхневий шар товщиною 0,47 мм, в якому йдуть термоокисні процеси теплового старіння, і шар, що нижче, в якому йдуть тільки процеси теплового старіння. Аналогічні закономірності термоокисного старіння виявлені у системі «вапняковий мінеральний порошок – нафтовий дорожній бітум». Показано, що вплив температури виробництва асфальтобетонних сумішей в 3,5–5,0 разів вище, ніж час приготування сумішей на інтенсивність старіння їх.

Ключові слова: нафтовий дорожній бітум, асфальтобетонна суміш, дорожній асфальтобетон, технологічне старіння бітуму і асфальтобетону.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ И АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

М. К. Пактер, В. И. Братчун, А. А. Стукалов, В. Л. Беспалов, А. Г. Доля

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: bratv09@yandex.ru

Получена 13 октября 2014; принята 26 декабря 2014.

Аннотация. С использованием реологических и стандартных методов, а также инфракрасной спектроскопии изучены явления и процессы, происходящие в нефтяных дорожных битумах и в асфальтобетонах при технологическом старении в процессе производства асфальтобетонных смесей. Установлено, что термоокислительное старение нефтяных дорожных битумов идет по свободнорадикальному механизму и развитию процессов, приводящих к снижению содержания масел в битуме и повышению концентрации асфальтенов, что проявляется в снижении пенетрации, повышению температуры размягчения, росту эффективной молекулярной массы полимерной составляющей битума, к снижению релаксационной и деформативной способности, а также к потере адгезионно-когезионных свойств

органического вяжущего. Рассчитана средняя скорость процессов присоединения кислорода воздуха и убыли массы нефтяного битума при термоокислительном старении. Выделенные методом адсорбционной хроматографии фракции масел и фракция петролейно-бензольных смол исследованы методом инфракрасной спектроскопии, на приборе IR-75 в области $3\ 600\text{--}700\ \text{см}^{-1}$ методом жидкой пленки. Установлено, что в пленочном битуме есть поверхностный слой толщиной 0,47 мм, в котором происходят термоокислительные процессы, и находящийся под ним нижний слой, в котором происходят только процессы теплового старения. Аналогичные закономерности термоокислительного старения выявлены в системе «известковый минеральный порошок – нефтяной дорожный битум». Показано, что влияние температуры производства асфальтобетонных смесей в 3,5–5,0 раз выше, чем время приготовления смесей на интенсивность старения их.

Ключевые слова: нефтяной дорожный битум, асфальтобетонная смесь, дорожный асфальтобетон, технологическое старение битума и асфальтобетона.

LAWS OF TECHNOLOGY OBSOLESCENCE OIL ROAD BITUMEN AND ASPHALT MIXES

Mixail Pakter, Valery Bratchun, Aleksandr Stukalov, Vitaly Bespalov, Anatoliy Dolya

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: bratv09@yandex.ru

Received 13 October 2014; accepted 26 December 2014.

Abstract. Using rheological and standard methods, as well as infrared spectroscopy studied phenomena and processes in the oil road bitumen and asphalt concrete with technology obsolescence in the production of asphalt mixes. It was found that the thermal oxidative aging of oil road bitumen is the free radical mechanism and the development of processes that lead to a decrease in oil content in bitumen and increase the concentration of asphaltenes, which manifests itself in reducing the penetration, softening temperature increase, increase in the effective molecular weight of the polymer component of the bitumen to lower relaxation and a deformation capacity, and the loss of adhesion-cohesive properties of the organic binder. Calculate the average speed of the accession process of atmospheric oxygen and the mass loss of petroleum bitumen in the thermal oxidative aging. Isolated by adsorption chromatography fractions of oils and petroleum fraction-benzene resins were studied by infrared spectroscopy, IR-on device 75 in the area of $3\ 600\text{--}700\ \text{cm}^{-1}$ by the liquid film. Found that the bitumen has a film thickness of the surface layer of 0,47 mm in which there is a thermal oxidation process and underneath a bottom layer, which occur only in heat aging processes. Similar patterns of thermal oxidative aging revealed in the «lime mineral powder – oil road bitumen». It is shown that the effect of temperature in the production of asphalt mixes 3,5–5,0 times higher than during preparation of mixtures on the intensity of their aging.

Keywords: oil road bitumen, bituminous mixture, road asphalt, bitumen and aging process of asphalt concrete.

Актуальность работы

В процессе производства, термостатирования в термосбункерах, транспортирования к месту укладки в конструктивные слои дорожной одежды и в условиях эксплуатации в покрытии нежесткой дорожной одежды автомобильной дороги бетонные смеси и бетон, приготовленные на органических вяжущих, подвергаются старению [1–4]. Основными внешними фактора-

ми, определяющими необратимое изменение свойств и асфальтобетонов являются температура, свет, проникающая радиация, кислород воздуха, влага, агрессивные химические вещества и др., а внутренними: вид и консистенция органического вяжущего, химико-минералогический состав минеральных составляющих асфальтобетонов, тип гранулометрии, структура и текстура бетона [5–8].

В работах [9–14] показано, что определяющими внешними факторами, влияющими на технологическое старение асфальтобетонных смесей, являются: температура, время, действие кислорода воздуха в процессе производства, термостатирования в термосбункерах, транспортирования к месту укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей при устройстве конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

Целью исследования является изучение явлений и процессов, происходящих в нефтяном дорожном битуме, в бинарной смеси «битум – минеральный порошок» и в асфальтобетонных смесях при технологическом старении.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследования использовали: нефтяные дорожные битумы БНД 40/60 и БНД 40/90; бинарную смесь «битум БНД 40/60 + 60 % по массе известнякового минерального порошка»; горячие асфальтобетонные смеси типа Б.

Тепловое и термическое старение битума выполнено: в термоскафу при 163 и 180 °С в слоях битума БНД 60/90 разной толщины: 2,50; 0,50 и 0,05 мм; асфальтовяжущего в камере искусственной погоды ИП–1 (температура 100 °С, расстояние от лампы, излучающей ультрафиолетовые лучи 0,5 м; толщина слоя бинарной системы 1 мм; время облучения 200 ч); Для контроля за превращениями битума в процессе старения использовали метод инфракрасной микроскопии. ИК – спектры в области $\nu = 360...700 \text{ см}^{-1}$ получены на спектрофотометре Specord IR-75 (Карл Цейсс); эффективную вязкость состаренных битумов определяли на ротационном вискозиметре «Реотест 2.1» – измерительное устройство «конус–плита» (КП) при скоростях сдвига

0,556...4 860 с^{-1} . Время термостатирования образца битума в зазоре КП составляло 30 мин.

Изменение стандартных характеристик битума и асфальтобетона в процессе технологического старения выполнено в соответствии с ДСТУ 4044-2001 и ДСТУ Б В.2.7-119:2011.

Результаты экспериментальных исследований и их интерпретация

В табл. 1 приведено изменение массы образцов битума в процессе термического (закрытый бюкс) и термоокислительного старения (открытая чашка Петри).

В закрытом бюксе преобладают процессы присоединения кислорода (из воздуха, находящегося в бюксе и диффундирующего через неплотности), причем этот процесс имеет явно выраженный индукционный период, который измеряется часами (4–5 часов и выше).

При свободном доступе воздуха преобладают деструктивные процессы, а их индукционный период, скорее всего, незначителен, на это указывает малое различие в изменении массы за 5 и 10 часов экспозиции. Впрочем, это последнее наблюдение может свидетельствовать также о том, что деструктивные процессы со временем замедляются.

Данные табл. 1 позволяют рассчитать среднюю скорость ($\bar{g} = \frac{\Delta m_{уд}}{t} \cdot \frac{r}{\text{см}^2 \cdot \text{ч}}$) процессов присоединения кислорода (\bar{g}_+) и убыли массы при термоокислительном старении ($\bar{g}_{то}$) для каждого из изученных интервалов (0–5, 5–10 ч), а затем найти убыль массы за счет термоокислительной деструкции (\bar{g}_-), считая процессы \bar{g}_+ и \bar{g}_- независимыми (табл. 2).

$$\bar{g}_{то} + \bar{g}_+ + \bar{g}_- \text{ и } \bar{g}_- = \bar{g}_{то} - \bar{g}_+. \quad (1)$$

Таблица 1. Изменение массы образцов битума * в процессе термостатирования при 180 °С

Способ и время термостатирования (t), ч	Изменение массы, % к исх. навеске	Удельное изменение ($\Delta m_{уд}$) массы, $\text{г}/\text{см}^2$ поверхности за период термостатирования
1. Закрытый бюкс ($\delta = 35 \text{ мм}$)		
5 ч	+0,016	$+4,2 \cdot 10^{-4}$
10 ч	+0,193	$+5,1 \cdot 10^{-3}$
2. Открытая чашка Петри ($\delta = 2 \text{ мм}$)		
5 ч	–1,25	$-2,56 \cdot 10^{-3}$
10 ч	–1,57	$-3,21 \cdot 10^{-3}$

* (+) – увеличение массы (привес), (–) – убыль массы.

Таблица 2. Средние скорости процессов * при термоокислительном старении битума (180 °С)

Интервал времени, ч	\bar{g}_+ , г/см ² ·ч	\bar{g}_- , г/см ² ·ч	$\bar{g}_{\text{ТО}}$, г/см ² ·ч
0–5	$+0,84 \cdot 10^{-4}$	$-0,59 \cdot 10^{-3}$	$-0,51 \cdot 10^{-3}$
5–10	$+0,94 \cdot 10^{-3}$	$-1,07 \cdot 10^{-3}$	$-0,13 \cdot 10^{-3}$

* См. примечание к табл. 1.

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что в первые часы термоокислительного старения процессы деструкции с образованием летучих продуктов явно преобладают над процессами присоединения кислорода к компонентам битума с образованием нелетучих продуктов окисления ($|\bar{g}_+| \ll |\bar{g}_-|$).

В то же время в интервале 5...10 часов средние скорости этих процессов мало отличаются. Это свидетельствует о том, что в условиях свободного доступа воздуха к поверхности битума после завершения индукционного периода процесс присоединения кислорода (образование кислородсодержащих продуктов) будет преобладать ($|\bar{g}_+| \gg |\bar{g}_-|$).

В табл. 3 приведены данные по изменению в процессе ТС и ТОС пенетрации, температуры размягчения и группового состава исследованных битумов. При определении группового состава выделяли асфальтены, карбены и карбоиды в виде порошка, масла в виде двух фракций (парафинонафтеновые и легкие ароматические углеводороды (ПН), и средние плюс тяжелые ароматические углеводороды (АУВ)) и петролейно-бензольные смолы (ПБС)). Содержание спирто-бензольных смол (СБС) находили по разности.

Как и следовало ожидать, вклад процессов ТС и ТОС в изменение упомянутых характеристик битума несопоставим.

Свободный доступ воздуха способствует образованию и накоплению свободных радикалов и развитию протекающих с их участием процессов, приводящих к снижению содержания масел (углеводородов – УВ) и накоплению асфальтенов, что проявляется в снижении пенетрации, повышению температуры размягчения и, в конечном итоге, в утрате битумом вязких свойств.

Химические превращения масел в процессе старения

Выделенные методом адсорбционной хроматографии фракции масел (табл. 3) и непосредственно

следующая за ними фракция петролейно-бензольных смол исследованы методом инфракрасной спектроскопии (ИК) на приборе IR-75 в области 3 600–700 см⁻¹ методом жидкой пленки [15].

Как следует из рис. 1 в ИК-спектрах фракций из исходного и состаренного битума нет существенных качественных различий (исключение – область поглощения кислородсодержащих структур). Но количественные различия заметны и поддаются оценке.

Типичные спектры приведены на рис. 1а, 1б.

Обработку спектров выполняли по методике [15]: разветвленность парафиновых цепей оценивали по отношению оптических плотностей (D) полос поглощения 1 380 см⁻¹ (δ_{CH_3}) и 1 460 см⁻¹ (δ_{CH_2}) $A_{\text{pn}} = D_{1380}/D_{1460}$, содержание ароматических структур – по отношению оптических плотностей полос поглощения 1600 см⁻¹ (ν_{cc} ароматического кольца) и 1 460 см⁻¹ $A_{\text{ap}} = D_{1600}/D_{1460}$, кислородсодержащих структур – по отношению D полос поглощения 1 700 см⁻¹ ($\nu_{\text{c=O}}$) и 1 460 см⁻¹ $A_0 = D_{1700}/D_{1460}$.

Установлено, что в открытой чашке Петри (при свободном доступе воздуха) и в закрытом бюксе (или почти без доступа воздуха) при термоокислительном старении накапливаются асфальтены, карбены и карбоиды с повышенной молекулярной массой. Такой характер химических превращений углеводородов масел при ТОС обусловлен участием в этом процессе кислорода воздуха и генерируемых им свободных радикалов, на что указывают рост содержания кислородсодержащих структур (прирост 3 800 %) и убыль массы вследствие термоокислительной деструкции (16,7 %).

Установлено, что в пленочном битуме есть поверхностный слой толщиной – 0,47 мм ($\delta_{\text{ТОС}}$), в котором происходят термоокислительные процессы и находящийся под ним нижний слой толщиной $\delta_{\text{н(ГТО)}} = \delta - \delta_{\text{ТОС}} = \delta_{\text{ТС}}$, в котором происходят только процессы теплового старения.

Аналогичные закономерности термоокислительного старения выявлены в системе

Таблица 3. Изменение пенетрации, температуры размягчения и группового химического состава битума БНД 40/60 в процессе старения при 180 °С

Наименование образца битума	Пенетрация (0,1 мм)		Температура размягчения по КИШ, °С	Групповой химический состав							
	P ₂₅	P ₀		% к массе битума				% к массе масел		% к массе смол	
				масла	смолы	асфальтены	карбены и карбониды	ПН	АУВ	ПБС	СБС
Исходный	46	13	48	52,2	28,4	19,2	0,2	76,6	23,4	59,2	40,8
Состаренный в закрытом бюксе	5 ч	11	49,5	50,9	29,1	19,8	0,2	64,8	35,2	71,4	28,6
	10 ч	11	50,5	49,3	30,2	20,3	0,2	61,5	38,5	77,5	22,5
Состаренный в открытой чашке Петри	5 ч	6	66	43,8	31,3	24,6	0,3	86,6	13,4	54,7	45,3
	10 ч	4	70	39,5	32,2	27,9	0,4	93,2	6,8	49,8	50,2

«известняковый минеральный порошок – нефтяной дорожный битум». В частности влияние повышенной температуры экспозиции (100 °С), ультрафиолетовых лучей и времени (200 ч) приводят к накоплению в битуме кислородосодержащих соединений (карбоновые кислоты, эфиры, альдегиды, ИК – спектры поглощения в области $\nu = 1300\text{--}1000\text{ см}^{-1}$, 1375 см^{-1} , 1460 см^{-1}) интерпретированы как окислительные (ОК), включая фотоокисление. Деструктивные процессы (прежде всего термоокислительная деструкция и фотодеструкция) приводят к расходованию отдельных соединений и групп (алканов алифатических радикалов, ИК – спектры поглощения в области $\nu = 720\text{--}700\text{ см}^{-1}$, $\nu = 840\text{--}790\text{ см}^{-1}$ и т. д.; ненасыщенных соединений $\nu = 730\text{--}665\text{ см}^{-1}$, $\nu = 850\text{--}790\text{ см}^{-1}$, $\nu = 1600\text{--}15\,000\text{ см}^{-1}$ и т. д.); фотонестойчивых структур, содержащих карбонильные группы ($\nu = 1\,460\text{ см}^{-1}$, $1\,600\text{--}1\,500\text{ см}^{-1}$ и т. д.).

На эти химические процессы накладываются физические процессы испарения летучих компонентов масел и диффузия отдельных компонентов битума в поры и трещины минеральных частиц, которые приводят к понижению концентрации вышеуказанных соединений. Вероятно, это парафиновые и нефтяные углеводороды масел

($\nu = 720\text{--}700\text{ см}^{-1}$, $840\text{--}790\text{ см}^{-1}$, $1\,300\text{--}1\,000\text{ см}^{-1}$, $1\,375\text{ см}^{-1}$ и т. д.).

Изменения в области поглощения ароматических структур ($\nu = 840\text{--}790\text{ см}^{-1}$) обусловлены не столько термоокислительной деструкцией, сколько образованием конденсационных структур и связанных с этим уширением и снижением интенсивности полос поглощения. Переход от масел к смолам и далее к асфальтенам сопровождается снижением оптической плотности D_n (720 см^{-1}) и возрастанием D_n ($1\,600\text{ см}^{-1}$) и D_n ($1\,700\text{ см}^{-1}$), что характеризует изменение концентрации парафино-нафтеновых, ароматических углеводородов и карбонильных групп, соответственно в маслах, смолах и асфальтах битума.

В результате развивается жесткая пространственная структурная сетка из асфальтенов при недостатке дисперсионной среды (масел и смол), что приводит к охрупчиванию состаренного асфальтобетона.

Исходя из представлений, что битумы представляют собой олигомер-полимерные системы коллоидного строения, начальная вязкость которых находится в степенной зависимости от концентрации (С) и молекулярной массы (М) полимера.

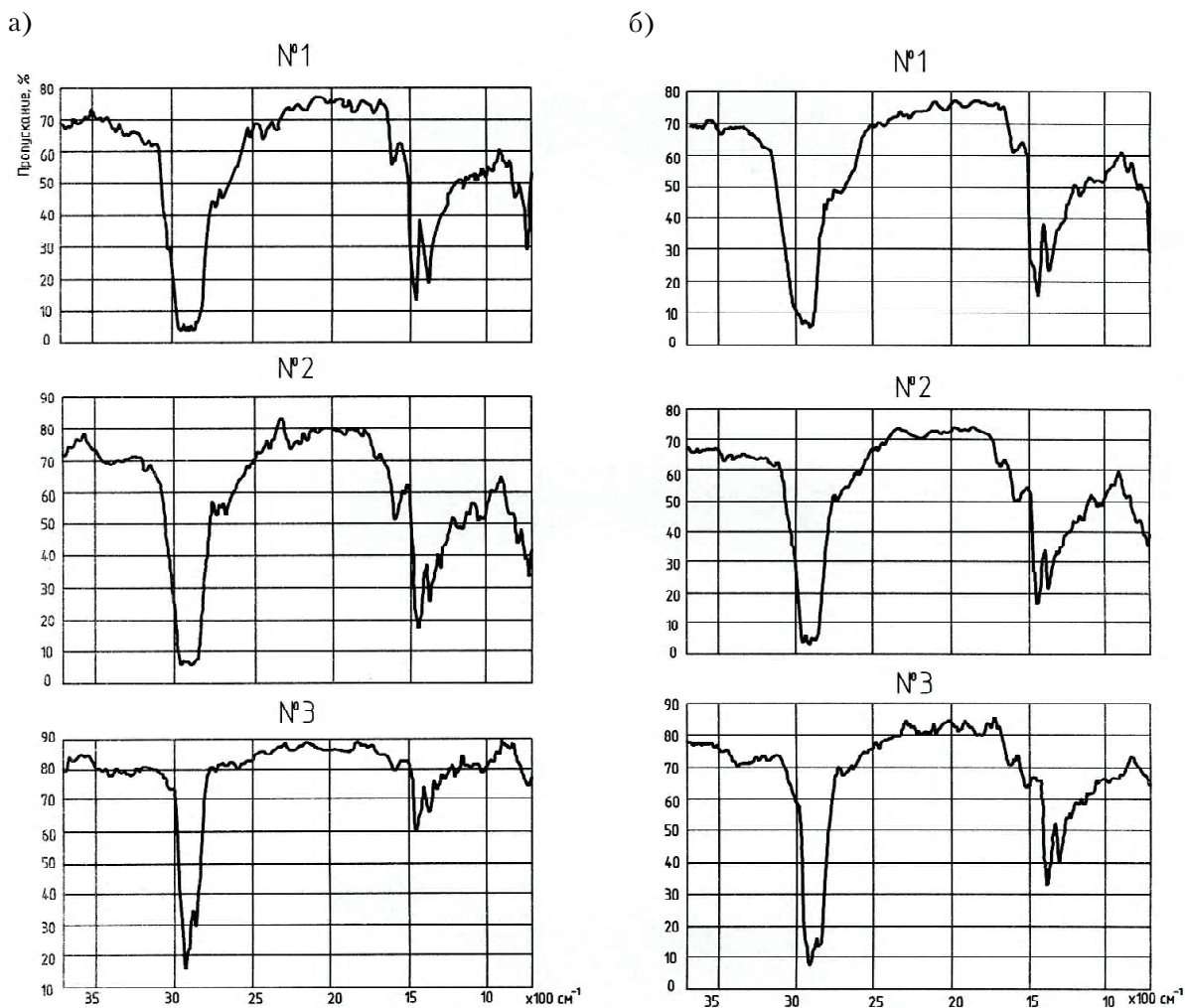


Рисунок 1. Типичные ИК-спектры хроматографических фракций, выделенных: а) из исходного битума и б) из битума, состаренного при 180 °С в течение 10 часов в открытой чашке Петри. Расшифровку номеров фракций см. в примечании табл. 4.

$$\eta_0 = K \cdot C^\alpha \cdot M^\beta, \quad (2)$$

где K , α и β – константы.

Предполагая K , C и α неизменными, а $\beta=3,4$ [16, с. 211], запишем в логарифмической форме

$$\lg \eta_0 = \lg K_c + 3,4 \cdot \lg M, \quad (3)$$

где $\lg K_c = \lg(K \cdot C^\alpha)$.

Уравнение (4) позволяет связать вязкость исходного ($\eta_{и}$) и состаренного ($\eta_{ст}$) битумов с их молекулярными массами:

$$\lg\left(\frac{\eta_{ст}}{\eta_{и}}\right) = 3,4 \cdot \lg\left(\frac{M_{ст}}{M_{и}}\right). \quad (4)$$

В данном случае это не реальное изменение молекулярных масс, а эффективное, отражающее

все структурные изменения (включая влияние мальтенов-растворителей, переплетение цепей и изменение характера межмолекулярных взаимодействий).

Результаты расчетов по уравнению (4) сведены в табл. 5.

Как видно из приведенных в табл. 5 данных, на каждой ступени скорости вращения конуса выявляется своя структура, которую мы охарактеризовали ростом эффективной молекулярной массы полимерной составляющей битума. При этом рост эффективной молекулярной массы четко проявляется при ТОС и слабо – при ТС, что хорошо согласуется с данными по изменению стандартных свойств битума и инфракрасных спектров органических вяжущих.

Характерной особенностью технологического старения асфальтобетонных смесей (рис. 2, 3) является более интенсивное технологическое старение в зависимости от температуры производства. Влияние температуры в 3,5–5,0 раз выше, чем время приготовления асфальтобетонных смесей. Также характерно, что чем выше температура производства асфальтобетонных смесей, тем меньше ее влияние на предел прочности асфальтобетона при сжатии при 0°C . Так, приращение предела прочности при R_0 (рис. 2) в зависимости от температуры в интервале $150\text{--}180^\circ\text{C}$ и времени производства смеси 7...11 минут при $T = 150^\circ\text{C}$ и $\tau = 7\text{--}11$ минут составляет $\text{tg } \alpha(150) = 0,25$, $T = 180^\circ\text{C}$ и $\tau = 7\text{--}11$ минут $\text{tg } \alpha(180) = 0,125$.

Следует отметить, что коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении (значение колеблется в интервале $K_{\text{вд}} = 0,52\text{--}0,56$) как критерий температурно-временных режимов технологического процесса производства асфальтобетонных смесей не работает, к тому же он не обеспечивает нормативное значение $K_{\text{вд}}$, которое для I марки асфальтобетона должно со-

ставлять 0,85, а для марки II $K_{\text{вд}}$ не $< 0,7$. Это обусловлено низким значением адгезии использованного нефтяного дорожного битума БНД 60/90 к стеклу $A = 18\%$.

Выводы

Установлено, что в динамично изменяющемся адсорбционном слое нефтяного дорожного битума на поверхности минеральных материалов в процессе производства асфальтобетонных смесей под действием температуры и кислорода воздуха происходят термоокислительные процессы по свободно-радикальному механизму, приводящие к накоплению в битуме кислородсодержащих соединений (карбоновые кислоты, эфиры, альдегиды) и переходу масел в смолы, а затем в асфальтены. Это определяет снижение деформативной и релаксационной способности асфальтобетона. Характерно, что влияние температуры в 3,5–5,0 раз выше на скорость технологического старения асфальтобетонных смесей, чем времени приготовления смеси.

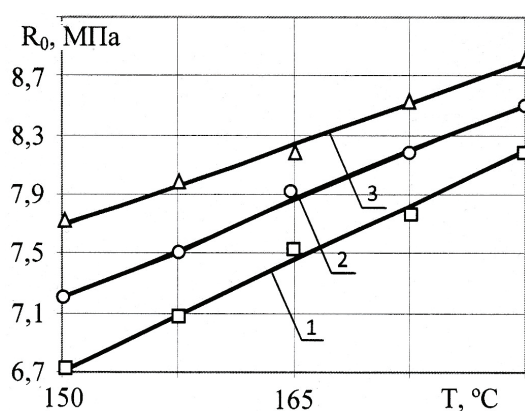
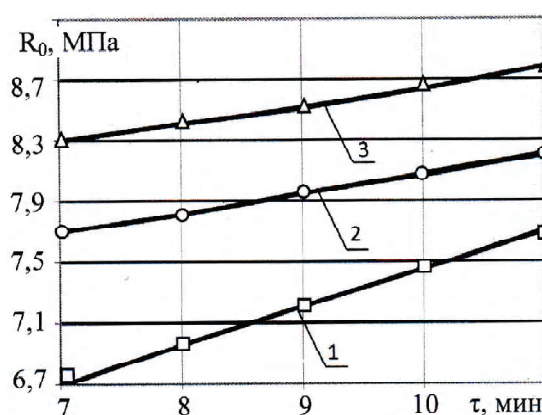
Таблица 4. ИК-спектроскопические исследования масел и первой фракции петролейно-бензолных смол

Наименование хроматографической фракции*	Выход, % к массе битума	Разветвленность парафиновых цепей ($A_{\text{пл}}$)	Содержание ароматических структур ($A_{\text{ар}}$)	Содержание кислородсодержащих структур (A_0)
Исходный битум				
№ 1	40,0	0,646	0,116	–
№ 2	12,2	0,687	0,227	0,010
№ 3	1,5	0,744	0,246	0,050
Состаренный битум в закрытом бюксе 10 часов ($\delta=35$ мм)				
№ 1	30,3	0,647	0,116	–
№ 2	19,0	0,668	0,162	0,041
№ 3	2,3	0,734	0,202	0,072
Состаренный битум в открытой чашке Петри ($\delta=2$ мм)				
– 5 часов				
№ 1	37,9	0,670	0,109	–
№ 2	5,9	0,628	0,132	–
№ 3	3,88	0,637	0,142	0,041
– 10 часов				
№ 1	36,8	0,635	0,114	–
№ 2	2,7	0,730	0,213	0,123
№ 3	1,25	0,740	0,271	0,190

* Номера фракций относятся к следующему групповому химическому составу (табл. 3): № 1 – парафинонафтеновые и легкие ароматические углеводороды (ПН); № 2 – средняя и тяжелая (в т. ч. полициклическая) ароматика (АУВ); № 3 – первая фракция петролейно-бензолных смол (элюируется смесью петролейного эфира (95 %) и бензола (5 %) [7, с. 207].

Таблица 5. Связь вязкости исследованных битумов с изменением эффективной молекулярной массы их полимерной составляющей

$\dot{\gamma}$, c^{-1}	η , Па·с для битумов				$M_{\text{СТ}}/M_{\text{н}}$ для состаренных битумов		
	исходного	ТС в бюксе 180 °C/10 ч	ТОС в слое 2,5 мм		ТС в бюксе 180 °C/10 ч	ТОС в слое 2,5 мм	
			180 °C/5ч	180 °C/10 ч		180 °C/5 ч	180 °C/10 ч
0,556	267,6	563,3	352,1	408,4	1,24	1,08	1,13
2,0	86,1	135,1	352,1	375,8	1,14	1,51	1,54
6,0	44,4	35,9	273,9	286,9	0,93	1,71	1,73
20,0	31,7	29,8	176,1	183,9	0,98	1,66	1,68

**Рисунок 2.** Зависимость предела прочности при 0 °C (R_0) асфальтобетона в зависимости от температуры (T) и времени производства асфальтобетонной смеси: 1, 2, 3 – соответственно в течение 7, 9 и 11 минут.**Рисунок 3.** Зависимость предела прочности при 0 °C (R_0) асфальтобетонов в зависимости от времени (τ) и температуры производства асфальтобетонной смеси: 1, 2, 3 – соответственно при 150, 165, 180 °C.

Литература

1. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] : Монография / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
2. Дорожный асфальтобетон [Текст] : Монография / Л. Б. Гезенцевей, М. В. Горельшев, А. М. Богуславский, И. В. Королев. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
3. О физико-химических явлениях, происходящих при технологическом старении дегтебетонных смесей [Текст] / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, В. Л. Беспалов [и др.] // Сучасне промисловое та цивільне будівництво. – 2007. – Т. 3, № 4. – С. 189–196.
4. Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] : [учеб. пособие для студентов по направлению «Стр-во»] / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : ДортрансНИИ : РГСУ : Юг, 2003. – 426 с. : ил. – ISBN 5-88094-054-3.
5. Гельфанд, С. И. Устойчивость асфальтобетона в зависимости от климатических факторов [Текст] : Брошюра / С. И. Гельфанд. – М. : Автотрансиздат, 1957. – 16 с.

References

1. Kolbanovskaia, A. S.; Mihailov, V. V. Asphaltic paving materials. Monograph. Moscow: Transport, 1973. 264 p. (in Russian)
2. Gezentsvei, L. B.; Gorelyshev, M. V.; Boguslavskii, A. M.; Korolev, I. V. Road asphalt concrete. Monograph. Moscow: Transport, 1985. 350 p. (in Russian)
3. Bratchun, V. I.; Gulyak, D. V.; Bespalov, V. L.; Pakter, M. K.; Samoylova, O. E. On the physical and chemical phenomena taking place at a technological aging of tar concrete mixtures. In: *Modern Industrial and civil Construction*, 2007, Volume 3, Number 4, p. 189–196. (in Russian)
4. Iliopolov, S. K.; Mardirosova, I. V.; Uglova, E. V.; Bezrodnyi, O. K. Bituminous binders for highway engineering. Textbook for students on «Civil Engineering». Rostov-on-Don: DortransNII: RSSU: South, 2003. 426 p. ISBN 5-88094-054-3. (in Russian)
5. Gelfand, S. I. Hardiness of asphalt concrete depending on climatic factors. Moscow: Avtotransizdat, 1957. 16 p. (in Russian)

6. Бутова, В. В. Исследование старения горячего и теплого асфальтобетона [Текст] : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.05 – строительные материалы и изделия / В. В. Бутова. – Харьков, 1971. – 18 с.
7. Шестеркин, В. Д. Определение периода нормальной работы асфальтобетонного покрытия [Текст] / В. Д. Шестеркин // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1973. – № 8. – С. 133–136.
8. Саенко, Н. С. Методы минимизации старения битума в рабочем котле при приготовлении горячих асфальтобетонных смесей [Текст] : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.05 – строительные материалы и изделия / Н. С. Саенко. – Ростов-на-Дону, 2008. – 24 с.
9. Радовский, Б. С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу СУПЕРПЕЙВ [Текст] / Б. С. Радовский // Дорожная техника. – 2007. – № 1. – С. 86–99.
10. Бахрах, Г. С. Модель оценки службы дорожной одежды нежесткого типа [Текст] / Г. С. Бахрах // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2002. – № 2. – С. 17–20.
11. Бахрах, Г. С. Старение асфальтобетонных покрытий и пути его замедления [Текст] / Г. С. Бахрах // Труды ГипроДорНИИ. – М., 1974. – Вып. 9. – С. 84–96.
12. Углова, Е. В. Расчет усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий [Текст] : учебное пособие / Е. В. Углова, О. В. Дровлева. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный строительный университет, 2008. – 104 с.
13. Волошин, М. Д. Дослідження процесу старіння бітуму за показником температури крихкості [Текст] / М. Д. Волошин, Н. П. Політова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». – 2010. – № 11. – С. 13–19.
14. Пиріг, Я. І. Об особенностях назначения температуры технологического нагрева битумов [Текст] / Я. І. Пиріг // Вісник ХНАДУ. – 2013. – Вип. 60. – С. 95–99.
15. Смит, А. Прикладная ИК-спектроскопия [Текст] : Монография / А. Смит. – М. : Мир, 1982. – 328 с.
16. Виноградов, Г. В. Реология полимеров [Текст] : Монография / Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин. – М. : Химия, 1977. – 438 с.
6. Butova, V. V. Researches of aging treatment of hot-tempered and warm mix asphalt. Authors abstract of Ph.D in Engineering Science: 05.23.05 – building materials and products. Kharkiv, 1971. 18 p. (in Russian)
7. Shesterkin, V. D. Determination of normal operating period of asphalt covering. In: *News of Higher Educational Institutions. Civil Engineering and Architecture*, 1973, № 8, p. 133–136. (in Russian)
8. Saenko, N. S. Minimizing technique of aging treatment of bitumen in operant field-erected boiler at preparation of hot-mixed asphalt. Authors abstract of Ph.D in Engineering Science: 05.23.05 – building materials and products. Rostov-on-Don, 2008. 24 p. (in Russian)
9. Radovskii, B. S. Designing of asphalt mix compositions in USA according to the method of Superpave. In: *Road-building machinery*, 2007, № 1, p. 86–99. (in Russian)
10. Bahrah, G. S. Evaluation model of service of pavement surfacing of non-rigid type. In: *Science and engineering at road industry sector*, 2002, № 2, p. 17–20. (in Russian)
11. Bahrah, G. S. Aging treatment of asphalt covering and slowing-down length of aging treatment. In: *Works of Gipro Road Scientific-Research Institute*, 1974, Issue 9, p. 84–96. (in Russian)
12. Uglova, E. V.; Drovleva, O. V. Fatigue life prediction of asphalt covering. Schoolbook. Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering, 2008. 104 p. (in Russian)
13. Voloshyn, M. D.; Politova, N. P. Testing of bitumen ageine according to fragility temperature index. In: *Mercury of National Technical University: Edited Volume. Special issue «Chemistry, applied chemistry and ecology»*, 2010, № 11, p. 13–19. (in Ukrainian)
14. Pyrig, Ya. I. About peculiarities of purpose of temperature of bitumen process heating. In: *Mercury of KhNADU*, 2013, Issue 60, p. 95–99. (in Russian)
15. Smit, A. Applied infrared spectroscopy. Monograph. Moscow: World, 1982. 328 p. (in Russian)
16. Vinogradov, G. V.; Malkin, A. Ya. Polymer rheology. Monograph. Moscow: Chemistry, 1977. 438 p. (in Russian)

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

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка

технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих, розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Стукалов Олександр Анатолійович – аспірант, асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Беспалов Віталій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг підвищеної довговічності.

Доля Анатолій Григорович – кандидат технічних наук, професор кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Пактер Михаил Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих, разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Стукалов Александр Анатольевич – аспирант, ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Беспалов Виталий Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: синтез органических вяжущих для производства композиционных дорожно-строительных материалов, используемых при строительстве конструктивных слоев нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности.

Доля Анатолий Григорьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Pakter Mixail – Ph.D in Engineering Sciences, Associate Pprofessor; Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and lasting road concretes for building of structural layers of non-rigid road coats on the basis of modification of organic astringent and complex microstructure modification of concretes.

Bratchun Valery – D.Sc in Engineering Sciences, Professor; Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics tech and durable concrete for road construction structural layers of non-rigid pavements based on modified organic binders, the development of efficient technologies for processing of man-made materials in the components of composite materials.

Stukalov Aleksandr – post-graduate student, the assistant, Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: receipts of technological and lasting travelling concretes for building of structural layers of non-rigid travelling clothes on the basis of retrofitting of organic astringent.

Bespalov Vitaly – Ph.D in Engineering Sciences, Associate Professor, Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: synthesis of organic astringent for

a production road-build materials of compositions, used for building of structural layers of non-rigid travelling clothes of highways of the promoted longevity.

Dolya Anatoliy – Ph.D. In Engineering Sciences, Professor, Technology of Building Materials, Products and Highways Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of technogenic raw materials in road building.