

УДК 625.855.3

**В. И. БРАТЧУН<sup>а</sup>, М. К. ПАКТЕР<sup>а</sup>, А. А. СТУКАЛОВ<sup>а</sup>, В. Л. БЕСПАЛОВ<sup>а</sup>, О. Н. НАРИЖНАЯ<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, <sup>б</sup> ГП «Украинский государственный научно-исследовательский институт пластических масс» (ГП УкргосНИИПМ)

## **ОСОБЕННОСТИ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СОСТАРЕННЫХ БИТУМОВ**

Рассмотрено влияние технологического старения битума БНД 40/60 на его реологическое поведение. Старение выполнено при 180 °С без доступа (термостатирование) и с доступом воздуха (термоокислительное старение). Измерение вязкости выполнено на ротационном вискозиметре «Конус-плита» – «Реотест 2.1» при 80 °С в диапазоне скоростей сдвига 0,556...4 860 с<sup>-1</sup>. Исходный и состаренный битумы ведут себя как неньютоновские вязкопластичные системы. Приведены значения предела текучести и вязкости неразрушенной структуры, состаренных битумов и параметры уравнения Освальда-де Виля, описывающего эффективную вязкость битумов в диапазоне скоростей сдвига 6...1 620 с<sup>-1</sup> с высоким коэффициентом корреляции – более 0,98. Рассмотрены корреляции реологических показателей между собой, с групповым химическим составом битумов, а также взаимосвязь структурообразования с ростом эффективной молекулярной массы при старении.

**технологическое старение нефтяного дорожного битума, уравнение Освальда-де Виля, уравнение корреляции**

В работе [1] рассмотрено изменение массы, группового химического состава (ГХС), пенетрации ( $P_{25}$ ) и температуры размягчения ( $T_p$ ) битума БНД 40/60 при его технологическом старении.

В данной работе рассмотрено реологическое поведение состаренных битумов, поскольку оно является более объективным критерием изменения их структурно-механических свойств, чем стандартные показатели  $P_{25}$  и  $T_p$  [2–4].

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В качестве объектов исследования приняты: битум БНД 40/60, он же, состаренный в закрытом бюксе в течение 10 ч и в открытых чашках Петри в слое толщиной 2,5 мм в течение 5 и 10 ч при 180 °С. Все битумы имели одинаковую термическую предысторию.

Эффективную вязкость определяли при 80 °С на ротационном вискозиметре «Реотест 2.1» – измерительное устройство «конус-плита» (КП) при скоростях сдвига 0,556...4 860 с<sup>-1</sup>. Время термостатирования образца битума в зазоре КП составляло 30 мин.

Состаренные битумы, как сильно структурированные системы, проявляли высокую чувствительность к температурным и механическим воздействиям при измерении вязкости. В связи с этим отсчет показаний начинали с минимальной скорости вращения конуса (ступень передачи 1bc). При скоростях 1bc, 1ac, 2ac и 4ac отсчет показаний начинали после завершения одного оборота (1bc – 36 мин, 4ac – 3,3 мин) и заканчивали после стабилизации показаний или когда изменение показаний в сторону уменьшения не превышало 4 % от показаний прибора (в соответствии с допустимой относительной ошибкой для КП). При более высоких скоростях отсчет показаний начинали через 1 мин (1ad...4ad) или 0,5 мин (5ad и выше).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **1. Реологические показатели битумов.**

Результаты измерения эффективной вязкости ( $\eta$ ) исходного и состаренных битумов приведены в табл. 1.

© В. И. Братчун, М. К. Пактер, А. А. Стукалов, В. Л. Беспалов, О. Н. Нарижная, 2013

**Таблица 1** – Результаты измерения эффективной вязкости битума БНД 40/60 при 80 °С от скорости сдвига (исходного и состаренного)

Степень передачи	Скорость сдвига, $\dot{\gamma}$ , с <sup>-1</sup>	$\eta$ , Па·с, для битумов			
		Исходного	состаренного		
			в бюксе, 10 ч	в слое битума 2,5 мм	
		5 ч		10 ч	
1 bc	0,556	267,6	563,3	352,1	408,4
2 ac	2,0	86,1	135,1	352,4	375,8
4 ac	6,0	44,4	35,9	273,9	286,9
2 ad	20,0	31,7	29,8	176,1	183,9
10 ad	1 620	4,1	3,9	3,2	2,7
12 ad	4 860	1,1	0,97	0,60	0,64

Как следует из данных табл. 1, с повышением скорости сдвига ( $\dot{\gamma}$ ) вязкость битумов снижается, что свидетельствует о неньютоновском характере течения и разрушении первоначальной структуры. Этот аспект реологического поведения исследованных битумов проанализирован в работе [5].

С повышением  $\dot{\gamma}$  вязкости исследованных образцов сближаются, а при  $\dot{\gamma} \geq 1\ 620\ \text{с}^{-1}$  различаются незначительно. Такое поведение характерно для полимерных расплавов, отличающихся молекулярной массой (M) [6, с. 46].

Вязкости образцов битума, состаренных в различных условиях, заметно отличаются от вязкости исходного битума и между собой. Следовательно, структурные изменения при термическом старении (ТС – в закрытом бюксе) и термоокислительном старении (ТОС – в открытой чашке Петри) битумов существенно различаются.

Чтобы выявить эти различия, мы описали реологические параметры исследованных битумов (табл. 1) следующим образом:

– Построением кривых текучести  $\dot{\gamma} = f(\tau)$  нашли предел текучести  $\tau_t$  как напряжение сдвига при  $\dot{\gamma} = 0$ . Предел текучести является характерной особенностью реологических свойств пластичных дисперсных систем, в которых твердая фаза образует коагуляционную структуру. Переход через  $\tau_t$  связан с хрупким разрушением структуры при критическом напряжении. Типичным представителем таких систем является нефтяной дорожный битум с большим содержанием асфальтенов [2, с. 65].

– Построением зависимости вязкости ( $\eta$ ) от напряжения сдвига ( $\tau$ ) в координатах экспоненциальной функции [7, с. 176–179]  $\lg \eta = f(\tau)$ :

$$\lg \eta = \lg \eta_0 - a \cdot \tau \quad (1)$$

находим  $\lg \eta_0$  как вязкость при  $\tau_t$ .

– За вязкость предельно разрушенной структуры ( $\eta_m$ ) приняли вязкость при максимальной скорости сдвига ( $\dot{\gamma} = 4\ 860\ \text{с}^{-1}$ ).

– Эффективную вязкость в широком диапазоне скоростей сдвига ( $\dot{\gamma} = 6 \dots 1\ 620\ \text{с}^{-1}$ ) описали степенной формулой-уравнением Освальда-де Вилля (W. Ostwald-De Waele A.) [8, с. 185]:

$$\lg \eta = \lg \eta_1 - m \lg \dot{\gamma}, \quad (2)$$

где  $\eta_1$  – вязкость при  $\dot{\gamma} = 1\ \text{с}^{-1}$ ,

а  $m$  – коэффициент, который характеризует темп разрушения структуры [9].

Результаты приведены в табл. 2 и на рис. 1. Как видно из рис. 1, в выбранном для интерполяции диапазоне  $\dot{\gamma}$  эффективные вязкости исходного и подвергнутого ТС битума практически не отличаются, но существенно отличаются от битума, подвергнутого ТОС. ТОС существенно повышает вязкость битума (значение  $\lg \eta_1$  возрастает), но темп разрушения такой структуры также возрастает ( $|m(\text{ТОС})| > |m(\text{ТС})|$ ).

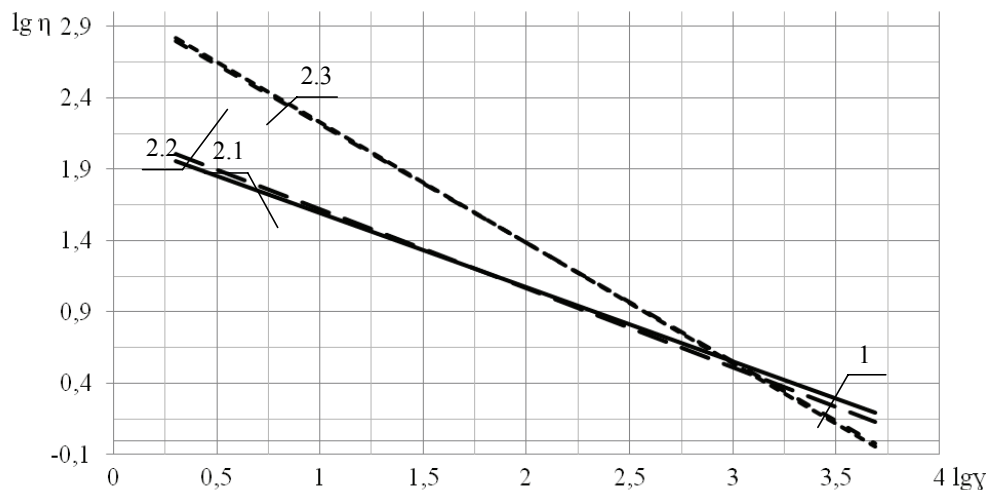
В то же время изменение вязкостей неразрушенных структур ( $\eta_0$ ) исследованных битумов подчиняется иной закономерности (табл. 2):

$$\eta_{\text{ТОС}} < \eta_{\text{исх}} < \eta_{\text{ТС}}$$

и симбатны ряду для предела текучести:

**Таблица 2** – Изменение реологических параметров битумов при технологическом старении (180 °С)

Наименование образца битума	$\tau_r$ , Па	Вязкость, Па·с		Уравнение Освальда-де Виля $\dot{\gamma} = 6 \dots 1620 \text{ c}^{-1}$	Коэффициент корреляции
		$\eta_0$	$\eta_m$		
1. Исходный	110	562,3	1,10	$\lg \eta = 2,022 - 0,436\dot{\gamma}$	0,994
2. Состаренный					
2.1 в бюксе 10 ч	350	631,0	0,97	$\lg \eta = 1,937 - 0,414\dot{\gamma}$	0,983
2.2 в чашке Петри 5 ч	30	352,2	0,60	$\lg \eta = 3,186 - 0,826\dot{\gamma}$	0,986
2.3 в чашке Петри 10 ч	50	416,9	0,64	$\lg \eta = 3,247 - 0,867\dot{\gamma}$	0,985



**Рисунок 1** – Линейризация кривых эффективной вязкости исследованных битумов в логарифмических координатах (номера на графике соответствуют номерам образцов в табл. 2).

$$\tau_{m/TOC} < \tau_{m/исх} < \tau_{m/ТС}.$$

Согласно [2, с. 65] это свидетельствует о наличии коагуляционной структуры в исходном битуме, о ее упрочнении при ТС и разрушении – при ТОС. При этом ряд  $\eta_m \ll \eta_0$ :

$$\eta_m(ТОС) < \eta_m(исх) \approx \eta_m(ТС),$$

подтверждает достаточно полное разрушение коагуляционных структур при  $\dot{\gamma} = 4\ 860 \text{ c}^{-1}$  и более полное разрушение более слабых структур (с меньшим значением предела текучести  $\tau_r$ ).

## 2. Корреляция реологических показателей битумов между собой.

Такие корреляции позволяют глубже понять природу и взаимосвязь этих показателей. В частности, интересно рассмотреть взаимосвязь предела текучести ( $\tau_r$ ) и вязкости неразрушенной структуры ( $\eta_0$ ), связь  $\eta_0$  с вязкостью  $\eta_{1bc}$  (при минимальной скорости сдвига  $\dot{\gamma} = 0,556 \text{ c}^{-1}$ ), корреляцию отношения вязкостей  $\frac{\eta_{4ac}}{\eta_{10ad}} = \dot{\eta}$  (соответствующих предельным в интервале интерполяции эффективных вязкостей уравнением Освальда-де Виля) и показателя  $m$  и т. д.

Действительно, можно найти корреляции  $\tau_r$  и  $\eta_0$ , но представлять их надо для каждого вида старения битума (ТС и ТОС) различными уравнениями регрессии. То же касается корреляций относительной вязкости  $\dot{\eta}$  и темпа разрушения структуры  $m$ . Корреляция  $\eta_0$  и  $\eta_{1bc}$  отсутствует.

Результаты сведены в табл. 3. Пределы применимости приведенных формул определяются экспериментальными данными (табл. 1 и 2).

Как следует из табл. 3, существование корреляционной связи  $\tau_r$  и  $\eta_0$  вполне естественно, поскольку оба показателя определяются исходной коагуляционной структурой битума. Отсутствие простых корреляций  $\eta_0$  и  $\eta_{1bc}$  – признак глубоких структурных изменений под влиянием механических воздействий (вплоть до разрыва химических связей [2, с. 30–32]).

Таблица 3 – Уравнения регрессии для реологических показателей состаренных битумов

Наименование образца битума	Уравнение регрессии	Показатель	
		эксперимент (табл. 2)	расчет (исходные данные из табл. 1 и 2)
2.1 Состаренный в бюксе 10 ч (ТС)	$\tau_T = 110 + 3,5 (\eta_0 - 562)$ $[\tau_T = \tau_{T/n} + k_{TC} (\eta_0 - \eta_{0/n})]$ $m \approx m_n$	350,0 Па 0,41	350,5 Па 0,43
2.2 Состаренный в чашке Петри 5 ч (ТОС)	$\tau_T = 110 - 0,38 (562 - \eta_0)$ $[\tau_T = \tau_{T/n} - k_{TOS} (\eta_{0/n} - \eta_0)]$ $m = 0,43 + 0,005 (\eta' - 10,8)$ $[m = m_n - 0,005 (\eta' - \eta_n)]$	30,0 Па 0,83	30,1 Па 0,80
2.3 Состаренный в чашке Петри 10 ч (ТОС)	$\tau_T$ (то же, что и в п. 2.2) $m$ (то же, что и в п. 2.2)	50,0 Па 0,87	54,7 Па 0,91

**Примечание:** 1. Индекс «и» относится к исходному битуму. Остальные обозначения см. по тексту. 2. В квадратных скобках приведен общий вид формулы.

В то же время тот факт, что уравнения регрессии  $\tau_T = f(\eta_0)$  различны для ТС и ТОС, свидетельствует о резком отличии структур, которые формируются в битумах при этих видах старения. По крайней мере, ТС упрочняет коагуляционный каркас неразрушенной структуры битума, а ТОС (180 °С/5 ч) его разупрочняет и приближает битум по этому признаку к концентрированным растворам полимеров [2, с. 37–43].

Корреляция  $m$  и  $\eta'$  (для упрощения в табл. 3 она принята линейной) позволяет легко оценить отличия битума от ньютоновской жидкости, не прибегая к более детальной обработке данных.

### 3. Корреляция вязкости с групповым химическим составом битумов.

Данные измерений эффективной вязкости свидетельствуют о сложной структурной организации исходного и состаренных битумов. Естественно связать эти структуры с групповым химическим составом [10, 11] и коллоидной структурой битумов [12].

В табл. 4 приведены данные по групповому химическому составу [1] и вязкости исследованных битумов (табл. 1).

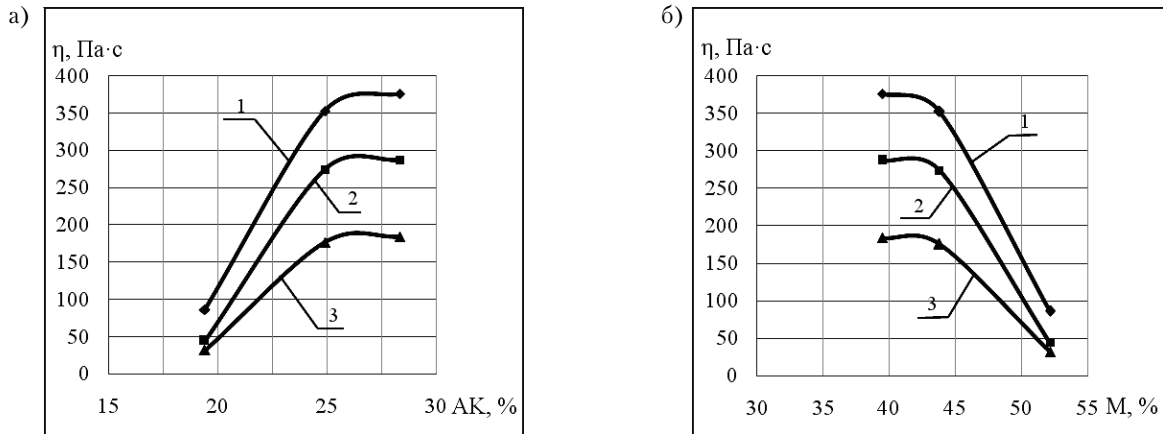
Таблица 4 – Соотношение вязкости и группового химического состава исследованных битумов

Битум	Групповой состав, %			$\eta$ (Па·с) при 80 °С и скорости сдвига $\dot{\gamma}$ , с <sup>-1</sup>			
	Масла (М)	Смоли (С)	Асфальтены, карбены, карбоиды (АК)	1bc (0,556 с <sup>-1</sup> )	2ac (2,0 с <sup>-1</sup> )	4ac (6,0 с <sup>-1</sup> )	2ad (20,0 с <sup>-1</sup> )
Исходный	52,2	28,4	19,4	267,6	86,1	44,4	31,7
Состаренный в бюксе 180 °С/10 ч	49,3	30,2	20,0	563,3	135,1	35,9	29,8
Состаренный в чашке Петри (слой 2,5 мм) при 180 °С							
– 5 ч	43,8	31,3	24,9	352,1	352,4	273,9	176,1
– 10 ч	39,5	32,2	28,3	408,4	375,8	286,9	183,9

Однако не удалось найти простых корреляций реологических параметров, приведенных в табл. 2 ( $\tau_T$ ,  $\eta_0$ ), с групповым химическим составом (ГХС). В то же время прослеживаются связи величины вязкости разрушенных структур с ГХС (рис. 2).

Из табл. 4 видно, что эти корреляции для ТС и ТОС отличаются.

ТС БНД 40/60 приводит к существенному возрастанию вязкости слаборазрушенной структуры ( $\eta_{1bc}$ ) и на начальном этапе её разрушения ( $\eta_{2ac}$ ). Поскольку суммарное содержание асфальтенов, карбенов и карбоидов (АК) при этом существенно не изменяется, этот рост вязкости связан с уменьшением содержания масел (и соответственно, с повышением содержания смолистых веществ). Однако формирующиеся при этом структуры не прочны и разрушаются при более высоких скоростях сдвига (6 с<sup>-1</sup>, 20 с<sup>-1</sup>), при которых вязкости исходного и состаренного битумов практически не различаются (табл. 4).



**Рисунок 2** – Корреляция эффективной вязкости битумов при 80 °С (ТОС) с их групповым химическим составом: содержание асфальтенов, карбенов и карбоидов (а); содержание масел (б). Номера соответствуют следующим скоростям сдвига: 1 – 2,0 с<sup>-1</sup>; 2 – 6,0 с<sup>-1</sup>; 3 – 20 с<sup>-1</sup>.

При ТОС для слаборазрушенной структуры (1bc) вязкость состаренных битумов практически линейно зависит от изменения концентраций асфальтенов, карбенов и карбоидов (АК) и масел (М):

$$\eta_{1bc} = 267,6 + 15,6 \cdot (AK - AK_u) \quad (3)$$

$$\eta_{1bc} = 267,6 + 10,6 \cdot (M_u - M) \quad (4)$$

Здесь индекс «u» относится к исходному битуму ( $\eta_u = 267,6$  Па·с).

Аналогичные уравнения для приведенной вязкости  $\eta_{1bc}^{np} = \frac{\eta_{1bc}}{\eta_u}$  (безразмерная величина):

$$\eta_{1bc}^{np} = 1,0 + 0,058(AK - AK_u) \quad (3a)$$

$$\eta_{1bc}^{np} = 1,0 + 0,040(M_u - M) \quad (4a)$$

Сравнение эксперимента с расчетом приведено в табл. 5.

**Таблица 5** – Сравнение экспериментальных и расчетных значений эффективной вязкости

Состаренный битум (ТОС)	$\eta_{1bc}^{np}$ , при 80°С	
	эксперимент	расчет
5 ч	1,32	1,32
10 ч	1,53	1,51

При более высоких скоростях сдвига корреляции вязкости с содержанием асфальтенов, карбенов и карбоидов (АК) и масел (М) не линейны (рис. 2).

Найденные корреляции для ГХС и вязкости частично разрушенных структур битума (в ряду эффективных значений вязкости при  $\dot{\gamma}$  от 0,556 с<sup>-1</sup> до 20 с<sup>-1</sup> равновесная степень разрушения структуры битума по П. А. Ребиндеру изменяется от близкой к нулю ( $\dot{\gamma} = 0,556$  с<sup>-1</sup>) до 22–30 % (для вязкости при  $\dot{\gamma} = 6$  с<sup>-1</sup>, ТОС) и 50–55 % (для вязкости при  $\dot{\gamma} = 20$  с<sup>-1</sup>, ТОС) [5] и отсутствие достаточно простых корреляций  $\eta_0$ ,  $\tau_r$  неразрушенных структур с ГХС позволяет сформулировать некоторые предположения относительно характера структур, формирующихся при старении битума.

Прежде всего, взаимосвязь структурообразования с ГХС битума вполне прогнозируема [10–12]. Но следует учитывать сложность и взаимосвязь протекающих процессов.

ТС протекает во всем объеме битума в бюксе. Расходование масел повышает концентрацию мицелл и усиливает силы межмолекулярного взаимодействия, что приводит к формированию коагуляционных структур в такой дисперсной системе. Отсюда повышенные значения  $\eta_0$  и  $\eta_u$  и сравнительно легкое разрушение этой структуры при перемешивании (табл. 1).

ТОС протекает только в поверхностном слое, но при этом имеет место не просто рост концентрации асфальтенов, но и их частичное растворение в мальтенах с образованием полимерподобной системы, вязкоупругое поведение которой существенно отличается от такового для коагуляционных структур [13, с. 15–23]. Образуются более устойчивые структуры (табл. 3).

Что же касается отсутствия корреляций  $\eta_0$  и  $\tau_r$  неразрушенных структур с ГХС, то эта особенность битумов имеет ту же природу, что и отсутствие корреляций между  $\eta_0$  и  $\eta_{1bc}$  (см. ранее сказанное). Пока можно лишь предположить, что в неразрушенных структурах битума имеют место немногочисленные химические связи, которые подвергаются механодеструкции при перемешивании. В пользу такого предположения свидетельствуют исследования проф. В. А. Золотарева по образованию свободных радикалов при деформировании битумов [2, с. 30–32, 119–123].

#### 4. Связь вязкости битумов с молекулярной массой.

Битумы представляют собой сложные олигомер-полимерные системы коллоидного строения. Это позволяет их рассматривать в виде концентрированного полимерного раствора (АК) в мальтенах битума. Начальная вязкость таких растворов находится в степенной зависимости от концентрации (С) и молекулярной массы (М) полимера [7, с. 210]:

$$\eta_0 = K \cdot C^\alpha \cdot M^\beta, \quad (5)$$

где  $K$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  – константы.

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

$$\lg \eta_0 = \lg K_c + 3,4 \cdot \lg M, \quad (6)$$

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

Уравнение (6) позволяет связать вязкость исходного ( $\eta_u$ ) и состаренного ( $\eta_{cm}$ ) битумов с их молекулярными массами:

$$\lg\left(\frac{\eta_{cm}}{\eta_u}\right) = 3,4 \cdot \lg\left(\frac{M_{cm}}{M_u}\right) \quad (7)$$

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 (7) сведены в табл. 6.

**Таблица 6** – Связь вязкости исследованных битумов с изменением эффективной молекулярной массы их полимерной составляющей

$\dot{\gamma}, c^{-1}$	$\eta, \text{Па}\cdot\text{с}$ для битумов				$M_{cm}/M_u$ 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

Как видно из приведенных в табл. 6 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.

### ВЫВОДЫ

1. При термическом и термоокислительном старении вязкость битумов возрастает, что четко проявляется в области низких и средних скоростей сдвига и практически не проявляется при разрушенной структуре.
2. Наиболее существенные и устойчивые структуры образуются при ТОС битумов.
3. Основная часть вязкостной кривой хорошо описывается уравнением Освальда-де Виля. Приведены параметры этого уравнения.
4. Показана корреляционная связь вязкости и группового химического состава исследованных битумов.

5. Рассчитано изменение эффективной молекулярной массы полимерной составляющей битума, приводящее к возрастанию его вязкости при старении. Этот процесс сопровождается, в основном, термоокислительное старение.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братчун, В. И. Технологическое старение дорожного нефтяного битума как двухфакторный процесс [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, А. А. Стукалов и др. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Зб. наук. праць / НУВГП. – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 31–41.
2. Золотарев, В. А. Технологические, реологические и поверхностные свойства битумов. Избранные труды. Т. 1 [Текст] / В. А. Золотарев. – Санкт-Петербург : Славутич, 2012. – 148 с.
3. Чан, Нят Тан. Регулирование термоокислительной стабильности дорожных битумов и битумных материалов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Чан Нят Тан. – Москва, 2010. – 121 с.
4. Руденская, И. М. Реологические свойства битумов [Текст] / И. М. Руденская, А. В. Руденский. – М. : Высш. школа, 1967. – 118 с.
5. Стукалов, А. А. Эффективная вязкость, как один из критериев оценки старения дорожных битумов [Текст] / Матеріали всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми сучасного будівництва», 21–22 листопада / Редакційна колегія: В. О. Онищенко (головний редактор) та ін. ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Полтавський нац. техн. університет імені Юрія Кондратюка. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – С. 232–235.
6. Шрамм, Г. Основы практической реологии и реометрии [Текст] / Г. Шрамм ; Пер. с англ. И. А. Лавыгина, Под ред. В. Г. Куличихина. – М. : КолосС, 2003. – 312 с.
7. Виноградов, Г. В. Реология полимеров [Текст] / Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин. – М. : Химия, 1977. – 438 с.
8. Малкин, А. Я. Реология: концепция, методы, приложения [Текст] : пер. с англ. / А. Я. Малкин, А. И. Исаев. – СПб. : Профессия, 2007. – 560 с.
9. Москалёва, К. М. Оценка структурообразующей роли компонентов полиминеральных смесей как неньютоновских жидкостей по разностям логарифмических функций вязкости [Текст] / К. М. Москалёва, Т. В. Ляшенко, В. А. Вознесенский // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури / М-во освіти і науки України, Донбаська нац. академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2012. – Вип. 2012-1(93) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 3–12.
10. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
11. Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : ООО «Офсет», 2003. – 428 с.
12. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів [Текст] / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов. – Макіївка : ДонНАБА, 2011. – 336 с.
13. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов [Текст] / В. А. Золотарев. – Х. : Вища школа, 1977. – 116 с.

Получено 10.12.2012

В. І. БРАТЧУН <sup>а</sup>, М. К. ПАКТЕР <sup>а</sup>, А. А. СТУКАЛОВ <sup>а</sup>, В. Л. БЕСПАЛОВ <sup>а</sup>,  
О. М. НАРИЖНА <sup>б</sup>

ОСОБЛИВОСТІ РЕОЛОГІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ЗІСТАРЕНИХ БІТУМІВ

<sup>а</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури, <sup>б</sup> ДП «Український державний науково-дослідний інститут пластичних мас»

Розглянуто вплив технологічного старіння бітуму БНД 40/60 на його реологічну поведінку. Старіння виконано при 180 °С без доступу (термостатування) і з доступом повітря (термоокисне старіння). Визначення в'язкості виконано на ротаційному віскозиметрі «Конус-плита» – «Реотест 2.1» при 80 °С в діапазоні швидкостей зсуву 0,556...4 860 с<sup>-1</sup>. Вихідний і зістарений бітум ведуть себе, як неньютонівські в'язкопластичні системи. Наведено значення межі текучості і в'язкості незруйнованої структури зістарених бітумів і параметри рівняння Освальда-де Віля, що описують ефективну в'язкість бітумів у діапазоні швидкостей зсуву 6...1 620 с<sup>-1</sup> з високим коефіцієнтом кореляції – більше 0,98. Розглянуті кореляції реологічних показників між собою, з груповим хімічним складом бітумів, а також структуроутворення з ростом ефективної молекулярної маси при старінні.

**технологічне старіння нафтового дорожнього бітуму, рівняння Освальда-де Віля, рівняння кореляції**

VALERY BRATCHUN <sup>a</sup>, MIXAIL PAKTER <sup>a</sup>, ALEKSANDR STUKALOV <sup>a</sup>,  
VITALY BESPALOV <sup>a</sup>, OLGA NARYGNAYA <sup>b</sup>

FEATURES OF RHEOLOGICAL CONDUCT OF THE BITUMEN MADE OLD

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>b</sup> State enterprise  
«Ukrainian State Research Studies Institute of Plastic mass»

Influence of technological senescence of bitumen of BND 40/60 has been considered on his rheological conduct. A senescence has been carried out at 180 °S without access (thermostating) and with access of air (thermal and oxident senescence). Measuring of viscosity has been carried out on a rotary viscometer-stirrer «cone-flag» – «Reotest 2.1» at 80 °C in the range of speeds of change of 0,556...4 860 c<sup>-1</sup>. Initial and made old bitumen behave as non-newtonian viscidly-plastic systems. The values of limit of fluidity and viscosity of the unblasted structure, bitumen made old and parameters of equalization Ostwald-de to Vale, describing effective viscosity of bitumen in the range of speeds of change of 6...1 620 c<sup>-1</sup> with the high coefficient of correlation – more than 0,98 have been resulted. Correlations of rheological indexes have been considered between itself, with group chemical composition of bitumen, and also intercommunication of gelation with growth of effective molecular mass at a senescence.

**technological senescence of oil travelling bitumen, equalization Oswald-de to Vale, equalization of correlation**

**Братчун Валерій Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка одержання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих і комплексного модифікування мікроструктури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Пактер Михайло Костянтинович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у 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.

**Нарижна Ольга Миколаївна** – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, зав. відділом фізико-хімічних, фізико-механічних досліджень, метрології та виміральної техніки Українського державного науково-дослідного інституту пластичних мас. Наукові інтереси: фізико-хімічні й аналітичні дослідження синтетичних смол і полімерних матеріалів.

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

**Пактер Михаил Константинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: 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.



**Нарыжная Ольга Николаевна** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник зав. отделом физико-химических, физико-механических исследований, метрологии и измерительной техники Украинского государственного научно-исследовательского института пластических масс. Научные интересы: физико-химические и аналитические исследования синтетических смол и полимерных материалов.

**Valery Bratchun** – DSc. (Eng.), Professor, the Head of the Highways and Air Fields 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; elaboration of effective technologies of processing of man-triggered raw material in to the components of compositional materials.

**Mixail Pakter** – PhD (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies of processing of man-triggered raw material in the components of materials of compositions.

**Aleksandr Stukalov** – post-graduate student, assistant, Highways and Air Fields 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.

**Vitaly Bespalov** – PhD (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields 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.

**Olga Narygnaya** – candidate of chemical sciences, senior research worker, the Head of the Physical and Chemical, Physical and Mechanical Researches, Metrology and Measuring Technique Department, Ukrainian State Research Studies Institute of Plastic mass. Scientific interests: physical and chemical and analytical researches of synthetic resins and polymeric materials.