

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ БРОМСОДЕРЖАЩЕГО ПЛАСТИФИКАТОРА ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Р.Н. Плотникова, В.И. Корчагин, Л.В. Попова

Раиса Николаевна Плотникова (ORCID 0000-0001-9559-4443), Владимир Иванович Корчагин (ORCID 0000-0001-7212-1627), Любовь Васильевна Попова (ORCID 0000-0002-9648-7620)\*

Кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Российской Федерации, 394036

E-mail: raya.plotnikova.57@mail.ru, kvi-vgta@rambler.ru, luba030883@yandex.ru\*

*Отмечена значимость исследования вязкостных показателей жидких ингредиентов пластических масс и эластомеров для решения ряда технологических вопросов, связанных с учетом энергетических затрат, необходимых для выполнения основных и вспомогательных производственных операций при переработке полимерных материалов. Изучено влияние степени галогенирования непредельного смесового пластификатора, полученного из отходов производства, на его вязкость в температурном интервале, соответствующем технологическим параметрам переработки полимерных материалов 273-393 К. Показано, что при увеличении степени бромирования при постоянной температуре вязкость бромсодержащего пластификатора возрастает соответственно на 63,3%, 52,0% и 46,8%. При увеличении температуры до 353-393 К установлено снижение максимальных показателей вязкости для образцов с массовой долей брома 14,4% на 26%. Показано, что в исследованном интервале степени бромирования падение вязкости при увеличении температуры до 393 К составляет 96%. Предложено уравнение для оценки влияния степени бромирования и температуры на вязкость смесового бромсодержащего пластификатора фталатного типа, полученного из отходов производства. Установлены значения его коэффициентов в заданном температурном интервале, характеризующие изменение интенсивности межмолекулярного взаимодействия при увеличении содержания брома в пластификаторе. Показано, что энергия активации вязкого течения с ростом температуры и увеличением содержания брома падает на 12%. Определена теплота испарения компонентов пластификатора в пределах 100 кДж/моль. Получено значение комплексного показателя, учитывающего совместное влияние содержания брома и температуры на вязкость в пределах 25-26 кДж/моль, что подтверждает положения активационной теории для линейных низкомолекулярных углеводов. Установлено, что степень влияния содержания брома в пластификаторе на его вязкость в установленном температурном интервале составляет 3,3 – 4,1%. Показано, что увеличение степени бромирования пластификатора фталатного типа способствует дополнительному межмолекулярному взаимодействию, способствующему увеличению кинематической вязкости.*

**Ключевые слова:** пластификатор, отходы производства, вязкость, энергия активации

## STUDY OF THE VISCOSITY OF A BROMINE -CONTAINING PLASTICIZER FROM PRODUCTION WASTE

R.N. Plotnikova, V.I. Korchagin, L.V. Popova

Raisa N. Plotnikova (ORCID 0000-0001-9559-4443), Vladimir I. Korchagin (ORCID 0000-0001-7212-1627), Lyubov V. Popova (ORCID 0000-0002-9648-7620)\*

Department of Industrial Ecology, Equipment of Chemical and Petrochemical Industries, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolyutsii ave., 19, Voronezh, 394036, Russia

E-mail: raya.plotnikova.57@mail.ru, kvi-vgta@rambler.ru, luba030883@yandex.ru\*

*The importance of studying the viscosity parameters of liquid ingredients of plastics and elastomers for solving a number of technological issues related to taking into account the energy costs required to perform basic and auxiliary production operations in the processing of polymer materials is noted. The influence of the degree of halogenation of unsaturated mixed plasticizer obtained from industrial waste on its viscosity in the temperature range corresponding to the technological parameters of processing polymer materials 273-393 K. It is shown, that with an increase in the degree of bromination at a constant temperature the viscosity of the bromine-containing plasticizer increases by 63.3%, 52.0% and 46.8%, respectively. With an increase in temperature to 353-393 K, a decrease in the maximum viscosity values for samples with a mass fraction of bromine of 14.4% by 26% was found. It is shown that in the studied range of the degree of bromination, the viscosity drop with an increase in temperature to 393 K is 96%. An equation is proposed to evaluate the effect of the degree of bromination and temperature on the viscosity of a mixed bromine-containing plasticizer of the phthalate type, obtained from production waste. The values of its coefficients in a given temperature range are established, which characterize the change in the intensity of intermolecular interaction with an increase in the bromine content in the plasticizer. It is shown that the activation energy of the viscous flow decreases by 12% with an increase in temperature and an increase in bromine content. The heat of evaporation of the plasticizer components within 100 kJ/mol was determined. The value of a complex indicator is obtained, taking into account the combined effect of bromine content and temperature on viscosity in the range of 25-26 kJ/mol, which confirms the provisions of the activation theory for linear low-molecular hydrocarbons. It was found that the degree of influence of the bromine content in the plasticizer on its viscosity in the established temperature range is 3.3 – 4.1%. It is shown that an increase in the degree of bromination of a phthalate-type plasticizer contributes to an additional intermolecular interaction that contributes to an increase in kinematic viscosity.*

**Key words:** plasticizer, production waste, viscosity, activation energy

**Для цитирования:**

Плотникова Р.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В. Исследование вязкости бромсодержащего пластификатора из отходов производства. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 11. С. 83–89. DOI: 10.6060/ivkkt.20226511.6658.

**For citation:**

Plotnikova R.N., Korchagin V.I., Popova L.V. Study of the viscosity of a bromine -containing plasticizer from production waste. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 11. P. 83–89. DOI: 10.6060/ivkkt.20226511.6658.

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение вязкости жидких ингредиентов пластических масс и эластомеров имеет большое значение для решения многих производственных вопросов, таких, например, как количество энергии, необходимое для перемешивания жидкости и перемещения ее по трубопроводам [1-2]. Эти технологические показатели находятся в прямой зависимости от вязкости перерабатываемых материалов, и поэтому без знания значений вязкости и закономерностей ее изменения нельзя произвести необходимые точные производственные расчеты [3-4]. Кроме того, вязкость имеет значение для характеристики кинетики процессов, в том числе химических, протекающих в полимерных системах [5]. В этой связи одну из важных задач в обеспечении экономической рентабельности технологических процессов переработки полимерных материа-

лов решают путем регулирования вязкости полимерных композиций введением пластифицирующих систем различной природы. Так авторами [6] в качестве эффективного пластификатора для поливинилхлорида, обеспечивающего экологически чистоту и экономическую рентабельность производства, предложен диэтиленгликолевый диэфир синтетических нефтяных кислот, полученный с применением нанокатализатора и обладающий более высокими пластифицирующими свойствами, чем диоктилфталат и диоктилсебацат. Для повышения физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств ПВХ-пластиков разработан пластификатор ДЭС М-2 [7].

Для эфиров целлюлозы в качестве пластификаторов, повышающих физико-механические показатели этролов, получены алкиловые диэфиры и эпоксидиэфиры 3,6-эндометилентетрагидрофталевой кислоты [8]. В целях повышения оптических,

физико-механических и адгезионных характеристик поливинилбутиральных пленок нашли свое применение в качестве пластифицирующих агентов дибутилсебацат и диоктиладипинат [9].

Кроме того, для снижения энергозатрат при перемещении по трубопроводам тяжелых нефтей и нефтяных масел в качестве эффективных модификаторов вязкости исследованы сополимеры аминоксодержащих метакриловых мономеров с высшими алкил(мет)акрилатами. Установлено, что эти соединения проявляют дополнительные свойства ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений (в нефтях) и диспергирующих присадок (в маслах) [10]. Длинноцепочные акриловые сложные эфиры полимеров с полярными мономерами в качестве добавок, а также добавки к смазочным маслам на основе сополимера октадецена и малеинового ангидрида улучшают текучесть сырой нефти и являются многофункциональными присадками [11-14].

В рамках исследования ставилась задача установления зависимости вязкости бромсодержащего фталатного пластификатора, полученного из отходов производства бутиловых спиртов оксосинтезом [15], от степени его бромирования молекулярным фтором [16] при различных температурах.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Согласно [17, 18] реологические характеристики полимерных материалов необходимо исследовать при различных температурах с учетом влияния структуры самой полимерной матрицы и свойств ингредиентов, входящих в состав полимерной композиции.

Для оценки показателей вязкости бромированного пластификатора выбран интервал температур 273-393 К, соответствующий технологическим параметрам переработки полимерных материалов.

В качестве объекта исследования использовали образцы сложноэфирного пластификатора с массовой долей брома от 4,5 до 14,4%, табл. 1.

Методом криоскопии найдена молекулярная масса смесового пластификатора, не содержащего брома, равная 381, а содержащего 14,4% брома – 449.

Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости проводился с использованием вискозиметра типа ВПЖ-2 в соответствии с требованиями стандарта [19].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальная зависимость вязкости от степени бромирования и температуры отражена в табл. 2.

Таблица 1

Состав исследованных образцов пластификатора, мас. д., %  
Table 1. Composition of the studied plasticizer samples, wt. d., %

Наименование компонента	Образец сравнения	Содержание брома, %		
		4,5	8,4	14,4
2-этилгексил-2-этилгексен -3-фталат	13,1	9,7	5,8	-
2-этилгексил-2-этилгексен -2-фталат	65,7	48,4	28,8	-
2-этилгексил-2(3)этил-дибром-гексилфталат	-	20,7	44,2	78,8
Ди-2-этилгексилфталат		17,5		
Диоктилфталат		2,0		
Примеси		1,7		

Таблица 2

Зависимость вязкости от содержания брома при различной температуре, МПа·с  
Table 2. Dependence of viscosity on bromine content at different temperatures, MPa·s

Температура, К	Содержание брома, %			
	0	4,5	8,4	14,4
273	106,77	111,42	134,84	174,40
313	47,18	54,75	61,12	71,70
353	7,56	8,85	9,99	11,10
393	3,82	4,21	4,88	5,61

Во всех случаях вязкость бромированного пластификатора с увеличением содержания брома возрастает. Так при температуре 273 К вязкость для образцов с максимальной степенью бромирования 14,4% возрастает на 63,3%; при температуре 313 К – на 52,0%; при температурах 353 К и 393 К – на 46,8%. Данное обстоятельство можно объяснить проявлением сил взаимодействия молекул пластификатора, так же влияющих на плотность пластификатора [20, 21]. При этом с увеличением температуры от 273 К до 393 К для всех образцов с любой исследованной степенью бромирования вязкость падает на 96%.

В первом приближении можно утверждать, что под воздействием указанных факторов вязкость будет изменяться более заметно, чем плотность, от которой зависит расчетная величина динамической вязкости. Графически зависимость плотности пластификатора от степени бромирования представлена на рис. 1.

Авторами [22] получено уравнение, устанавливающее изменение вязкости как функции физико-химических характеристик: средней моляр-

ной массы, плотности, массовой доли ингредиентов. В рамках исследования взаимосвязь между вязкостью  $\eta$  и плотностью  $\rho$  пластификатора целесообразно представить линейным уравнением

$$\ln \eta = \beta_0 + \beta \rho. \quad (1)$$

Соответствующие зависимости представлены на рис. 2.

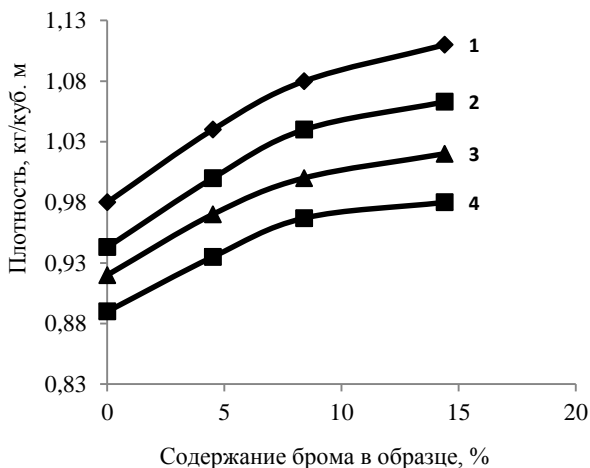


Рис. 1. Зависимость плотности образцов от содержания брома при различных температурах К: 1 – 273; 2 – 313; 3 – 353; 4 – 393  
 Fig. 1. The dependence of the sample density on the bromine content at different temperatures to: 1 – 273; 2 – 313; 3 – 353; 4 – 393

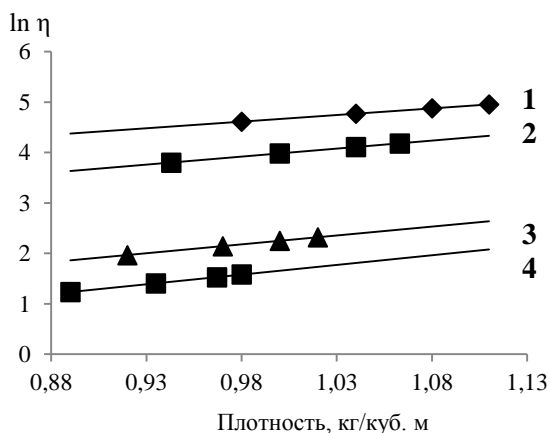


Рис. 2. Зависимость  $\ln \eta$  от плотности при различных температурах, К: 1 – 273; 2 – 313; 3 – 353; 4 – 393  
 Fig. 2. The dependence of  $\ln \eta$  on density at different temperatures, К: 1 – 273; 2 – 313; 3 – 353; 4 – 393

Таблица 3

Значения коэффициентов  $\beta_0$  и  $\beta$   
 Table 3. Values of coefficients  $\beta_0$  and  $\beta$

Температура, К	$\beta_0$	$\beta$
273	2,056	2,611
313	0,813	3,168
353	-1,274	3,524
393	-2,108	3,759

Анализ полученных коэффициентов  $\beta_0$  и  $\beta$ , представленных в табл. 3, показал, что значение  $\ln \eta$  в большей степени зависит от коэффициента  $\beta_0$ , линейно зависящего от величины, обратной температуре, рис. 3

$$\beta_0 = f\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2)$$

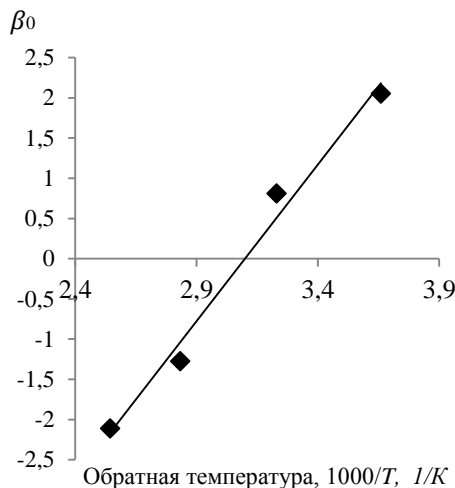


Рис. 3. Зависимость  $\beta_0$  от  $(1/T)$   
 Fig. 3. Dependence of  $\beta_0$  on  $(1/T)$

При детализации формулы (1) с учетом содержания брома в образцах и температуры получим уравнение вида

$$\ln \eta = \beta_0 + \beta \left[ a_0 + \bar{a}_1 C + \left( \beta_0 + \beta \frac{1}{T} \right) C^2 \right], \quad (3)$$

где  $C$  – концентрация брома в пластификаторе, %;  $a_0$  – плотность пластификатора с нулевой концентрацией брома,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\bar{a}_1$  – усредненный коэффициент, количественно характеризующий увеличение плотности при увеличении концентрации брома в пластификаторе,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Принимая, что

$$\beta_0 = q_0 + q \frac{W}{RT}, \quad (4)$$

где  $q_0$  и  $q$  – постоянные, не зависящие от температуры;  $W$  – энергия активации вязкого течения, характерная для данного пластификатора, получим

$$\ln \eta = q_0 + m_0 + m_1 C + m_2 C^2 + n C^2 \left( \frac{1}{T} \right) + q \frac{W}{RT}, \quad (5)$$

где

$$m_0 = \beta_0 + \beta a_0; m_1 = \beta a_1; m_2 = \beta b_0; n = \beta b_1, \quad (6)$$

где  $b_0$  и  $b_1$  – коэффициенты, характеризующие степень изменения энергии межмолекулярного и ориентационного взаимодействия,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,

или

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + B \frac{1}{T}, \quad (7)$$

где

$$\ln \eta_0 = q_0 + m_0 + m_1 C + m_2 C^2; B = \frac{Rn C^2 + qW}{R}. \quad (8)$$

Потенцирование уравнения (7) дает

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\left(\frac{B}{RT}\right)}. \quad (9)$$

Полученную формулу можно сравнить с формулой, определяющей вязкость индивидуальной жидкости, однако в формуле (9) в показателе степени стоит более сложная величина  $B$ , учитывающая влияние на вязкость бромированного пластификатора содержания в нем брома, помимо этой величины, установленной для  $\eta_0$ . На рис. 4 приведена зависимость  $\ln \eta$  от  $1/T$  при различной степени бромирования.

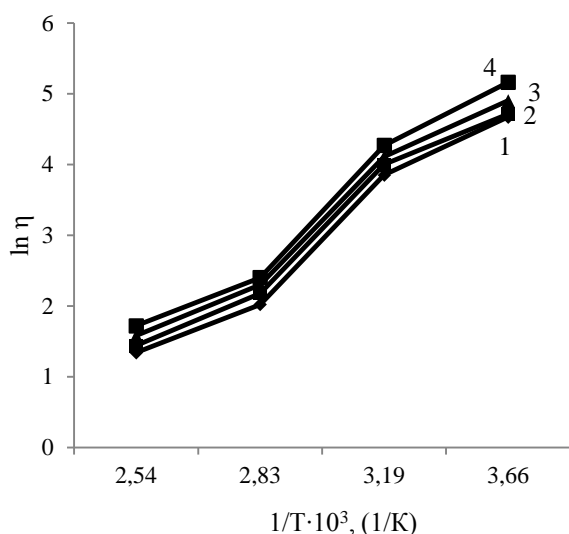


Рис.4. Зависимость  $\ln \eta$  от  $1/T$  при различном содержании брома, %: 1 – 0; 2 – 4,5; 3 – 8,4; 4 – 14,4

Fig. 4. Dependence of  $\ln \eta$  on  $1/T$  at different bromine content, %: 1 – 0; 2 – 4.5; 3 – 8.4; 4 – 14.4

Таблица 4

Значения коэффициентов  $\eta_0$  и  $B$  для образцов с различным содержанием брома

Table 4. Values of coefficients  $\eta_0$  and  $B$  for samples with different bromine content

Содержание брома, %	$\eta_0$ , мПа · с	$B$ , Дж/моль	$RnC^2$ , Дж/моль
0	1,523	26106	1070
4,5	1,950	25728	849
8,4	1,821	25636	948
14,4	1,791	26666	1013

Коэффициенты уравнения (7) приведены в табл. 4.

Из таблицы видно, что значения комплексного показателя  $B$  мало изменяются с увеличением содержания брома в образцах. Следовательно, можно считать, что слагаемое  $qW$  заметно больше слагаемого  $RnC^2$ , составляющего 3,3-4,1% от значения величины  $B$  при увеличении содержания брома.

Согласно положениям активационной теории, энергия активации должна быть величиной того же порядка, что и теплота испарения  $\Delta H_{\text{исп}}$ . Известно, что для линейных низкомолекулярных углеводородов  $W \approx \frac{1}{4} \Delta H_{\text{исп}}$ , что оказалось справедливым для смесового бромированного пластификатора на основе отходов производства:  $B \approx 25 - 26$  кДж/моль; теплота испарения компонентов пластификатора в пределах 100 кДж/моль.

Показано, что с увеличением молекулярной массы  $W$  становится меньше, чем  $\frac{1}{4} \Delta H_{\text{исп}}$ , стремясь к некоторому пределу, рис. 5.

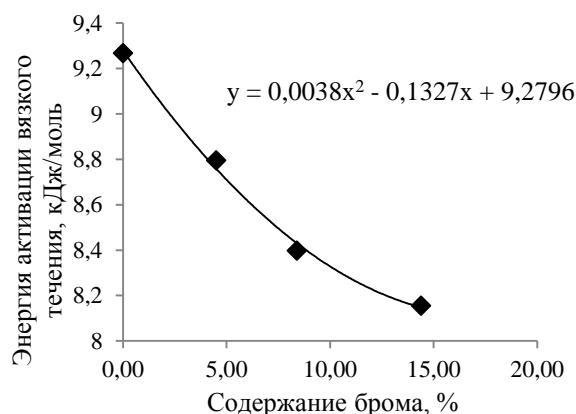


Рис. 5. Зависимость энергии активации вязкого течения от содержания брома в пластификаторе

Fig. 5. Dependence of the activation energy of the viscous flow on the bromine content in the plasticizer

При этом, согласно данным табл. 4, значения комплексного показателя  $B$  для исследуемого объекта с различным содержанием брома подобного эффекта не обнаружено, что можно объяснить незначительным увеличением молекулярной массы исследуемого пластификатора.

## ВЫВОДЫ

На основании экспериментальных данных - установлена зависимость вязкости бромсодержащего фталатного пластификатора, полученного из отходов производства, от массовой доли брома в пределах 4,5 - 14,4% в интервале температур 273 - 393 К;

- получено уравнение зависимости  $\ln \eta = f(C, T)$  и определены значения его коэффициентов для исследованных температур и содержания брома;

- показано, что преимущественное влияние на вязкость исследуемого объекта оказывает температура, определяющая энергию активации вязкого течения в интервале 9,28-8,16 кДж/моль при содержании брома от 0 до 14,4%.

- определено значение комплексного показателя, учитывающего совместное влияние содержания брома и температуры на вязкость  $V \approx 25 - 26 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ ; при этом степень влияния содержания брома в пластификаторе на его вязкость в установленном температурном интервале составляет 3,3-4,1%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Каблов Е.Н., Семенова Л.В., Петрова Г.Н., Ларионов С.А., Перфилова Д.Н.** Полимерные композиционные материалы на термопластичной матрице *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 10. С. 61-71. DOI: 10.6060/tcct.20165910.5368.
2. **Рахман М., Бразел К.С.** Рынок пластификаторов: оценка традиционных пластификаторов и тенденции исследований для решения новых задач. *Прогресс в науке о полимерах*. 2004. 29. С. 1223-1248. DOI: 10.1016/j.propolymsci/2004.10.001.
3. **Гращенко Д.В., Чурсова Л.В.** Стратегия развития композиционных и функциональных материалов. *Авиац. материалы и технологии*. 2012. № 9. С. 231-242.
4. **Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д., Крыжановская Ю.В.** Технические свойства полимерных материалов. СПб: Профессия. 2005. С. 8-11. 29-45, 52-140.
5. **Сандитов Д.С., Разумовская И.В., Машанов А.А.** О температурной зависимости энергии активации стеклования. *Высокомолекул. соед. Сер. А*. 2020. Т. 62. № 5. С. 392-400. DOI: 10.31857/S2308112020050144.
6. **Садиева Н.Ф., Насибова Г.Г., Искендерова С.А., Зейналов Э.Б., Асадова Ш.Н., Нуриев Л.Г., Агаев Б.К.** Эффективные пластификаторы для поливинилхлорида. *Пласт. массы*. 2018. № 3-4. С. 17-18. DOI: 10.35164/0554-2901-2018-3-4-17-18.
7. **Нафикова Р.Ф., Фаткуллин Р.Н., Афанасьев Ф.И., Степанова Л.Б., Исламутдинова А.А.** Исследование влияния пластификатора ДЭС М-2 на физико-механические и технологические свойства. *Пласт. массы*. 2020. № 3-4. С. 33-36. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-33-36.
8. **Искендерова С.А., Садиева Н.Ф., Эфендиева Л.М., Асадова Ш.Н., Черепнова Ю.П., Мусаева А.П.** Новые пластификаторы для эфиров целлюлозы. *Пласт. массы*. 2020. № 1-2. С. 15-16. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-1-2-15-16.
9. **Тимин М.К., Милов В.И., Мухина Т.П., Егоров М.М., Сивова О.А., Козлова И.И., Ширшин К.В.** Исследование влияния пластификаторов на физико-механические свойства склеивающих поливинилбутиральных пленок. *Пласт. массы*. 2018. № 5-6. С. 3-5. DOI: 10.35164/0554-2901-2018-5-6-3-5.
10. **Каморин Д.М., Казанцев О.А., Ширшин К.В., Сивохин А.П., Арифиллин И.Р., Мойкин А.А.** Бифункциональные модификаторы вязкости для нефтепродуктов на основе аминоксодержащих сополимеров высших алкил(мет)акрилатов. *Пласт. массы*. 2016. № 1-2. С. 33-37. DOI: 10.35164/0554-2901-2016-1-2-33-37.
11. **Neveu C.D., Sondjaja R., Stohr T., Iroff N.J.** Lubricant and Fuel Additives Based on Polyalkylmethacrylates. In: Moller KM, editor. *Polymer Science: A Comprehensive Reference*. Amsterdam: Elsevier. 2012. P. 453-478. DOI: 10.1016/B978-0-444-53349-4.00277-6.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

#### REFERENCES

1. **Kablov E.N., Semenova L.V., Petrova G.N., Larionov S.A., Perfilova D.N.** Polymer composite materials on a thermoplastic matrix. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2016. V. 59. N 10. P. 61-71 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.20165910.5368.
2. **Rahman M., Brazel C.S.** The plasticizer market: an assessment of traditional plasticizers and research trends to meet new challenges. *Progr. Polymer sci.* 2004. 29. P. 1223-1248 (in Russian). DOI: 10.1016/j.propolymsci/2004.10.001.
3. **Grashchenkov D.V., Chursova L.V.** Strategy of development of composite and functional materials *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2012. N 9. P. 231-242 (in Russian).
4. **Kryzhanovskiy V.K., Burlov V.V., Panimatченко A.D., Kryzhanovskaya Yu.V.** Technical properties of polymer materials. SPb: Professiya. 2005. P. 8-11. 29-45, 52-140 (in Russian).
5. **Sanditov D.S., Razumovskaya I.V., Mashanov A.A.** On the temperature dependence of the activation energy of glass transition. *High-Molecular Comp. Ser. A*. 2020. V. 62. N 5. P. 392-400. DOI: 10.31857/S2308112020050144.
6. **Sadiyeva N.F., Nasibova G.G., Iskenderova S.A., Zeynalov E.B., Asadova S.N., Nuriev L.Q., Aqayev B.K.** The effective plasticizer for polyvinyl chloride. *Plast. Massy*. 2018. N 3-4. P. 17-18. (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2018-3-4-17-18.
7. **Nafikova R.F., Fatkullin R.N., Afanasiev F.I., Stepanova L.B., Islamutdinova A.A.** Study of the influence of plasticizer DES M-2 on the physical, mechanical and technological properties of plastic PVC. *Plast. Massy*. 2020. N 3-4. P. 33-36 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-33-36.
8. **Iskenderova S.A., Sadiyeva N.F., Efendiyeva L.M., Asadova S.N., Cherepnova Yu.P., Musayeva A.P.** New plasticizers for cellulose esters. *Plast. Massy*. 2020. N 1-2. P. 15-16 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2020-1-2-15-16.
9. **Timin M.K., Milov V.I., Mukhina T.P., Egorov M.M., Sivova O.A., Kozlova I.I., Shirshin K.V.** Investigation of the effect of plasticizers on the physical and mechanical properties of bonding polyvinyl butyral plates. *Plast. Massy*. 2018. N 5-6. P. 3-5 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2018-5-6-3-5.
10. **Kamorin D.M., Kazantsev O.A., Shirshin K.V., Sivokhin A.P., Arifullin I.R., Moikin A.A.** Bifunctional viscosity modifiers for petroleum products based on amine-containing copolymers of higher alkyl (meth)acrylates. *Plast. Massy*. 2016. N 1-2. P. 33-37 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2016-1-2-33-37.
11. **Neveu C.D., Sondjaja R., Stohr T., Iroff N.J.** Lubricant and Fuel Additives Based on Polyalkylmethacrylates. In: Moller KM, editor. *Polymer Science: A Comprehensive Reference*. Amsterdam: Elsevier. 2012. P. 453-478. DOI: 10.1016/B978-0-444-53349-4.00277-6.

12. **Kuzmic A.E., Radosevic M., Bogdanic G., Srica V., Vukovic R.** Studies on the influence of long chain acrylic esters polymers with polar monomers as crude oil flow improver additives. *Fuel*. 2008. V. 87. P. 2943-2950. DOI: 10.1016/j.fuel.2008.04.006.
13. **Abdel-Azim A., Nasser A.M., Ahmed N.S., Kamal R.S.** Multifunctional Lube Oil Additives Based on Octadecene-Maleic An-hydride Copolymer. *Petrol. Sci. and Technol.* 2011. V. 29. P. 97-107. DOI: 10.1080/10916460903069829.
14. **Ahmed N.S., Nassar A.M., Nasser R.M., Khattab A.F., Abdel-Azim A-AA.** Synthesis and Evaluation of Some Polymers as Lubricating Oil Additives. *J. Dispersion. Sci. Technol.* 2012. V. 33. N 5. P. 668-75. DOI: 10.1080/01932691.2011.579828.
15. **Плотникова Р.Н.** Исследование свойств бромированной фталатсодержащей системы и определение областей ее применения. *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инж. технол.* 2021. 83(1). С. 290-296. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-290-296.
16. **Плотникова Р.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В.** Бромирование фталатсодержащих систем, полученных из отходов производства. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 11. С. 112-116. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6429.
17. **Разиньков Е.М.** Скорость истечения олигомеров различной вязкости. *Пласт. массы.* 2020. № 1-2. С. 42-44. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-1-2-42-44.
18. **Косарев А.В., Студенцов В.Н.** Структурная модель изменения вязкости в процессе отверждения олигомерной смолы ЭД-20. *Пласт. массы.* 2019. № 1-2. С. 3-5.
19. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости (с Поправками, с Изменением N 1). М.: ФГБУ "РСТ". 2021. 24 с.
20. **Наумова Ю.А., Колесова Л.А., Карпова С.Г., Люсова Л.Р., Котова С.В., Попов А.А.** Гидродинамические и конформационные свойства бутадиеннитрильных каучуков в растворах в сложных эфирах. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2020. Т. 62. № 3. С. 163-169. DOI: 10.31857/S2308112020020017.
21. **Галицейский К.Б., Таманцев Я.А., Докучаев Р.В., Мацевич Т.А., Бузин М.И., Пиминова К.С., Аскадский А.А.** Совместимость компонентов и релаксационные свойства композитов на основе вторичного полипропилена и модифицированных базальтовых волокон. *Высокомолек. соед. Сер. А.* 2020. Т. 62. № 5. С. 357-369. DOI: 10.31857/S2308112020050053.
22. **Аскадский А.А., Мацевич Т.А., Кондращенко В.И.** Зависимость нулевой вязкости сдвига от химического строения полимера. *Пласт. массы.* 2018. № 11-12. С. 7-11. DOI: 10.35164/0554-2901-2018-11-12-7-11.
12. **Kuzmic A.E., Radosevic M., Bogdanic G., Srica V., Vukovic R.** Studies on the influence of long chain acrylic esters polymers with polar monomers as crude oil flow improver additives. *Fuel*. 2008. V. 87. P. 2943-2950. DOI: 10.1016/j.fuel.2008.04.006.
13. **Abdel-Azim A., Nasser A.M., Ahmed N.S., Kamal R.S.** Multifunctional Lube Oil Additives Based on Octadecene-Maleic An-hydride Copolymer. *Petrol. Sci. Technol.* 2011. V. 29. P. 97-107. DOI: 10.1080/10916460903069829.
14. **Ahmed N.S., Nassar A.M., Nasser R.M., Khattab A.F., Abdel-Azim A-AA.** Synthesis and Evaluation of Some Polymers as Lubricating Oil Additives. *J. Dispersion. Sci. Technol.* 2012. V. 33. N 5. P. 668-75. DOI: 10.1080/01932691.2011.579828.
15. **Plotnikova R.N.** Investigation of the properties of the brominated phthalate-containing system and determination of its application areas. *Vestn. Voronezh. Gos. Un-ta Inzh. Tekhnol.* 2021. 83(1). P. 290-296 (in Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-290-296.
16. **Plotnikova R.N., Korchagin V.I., Popova L.V.** Bromination of phthalate-containing systems from industrial waste. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 11. P. 112-116. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6429.
17. **Razinkov E.M.** Efflux velocity of oligomers of various viscosity. *Plast. Massy*. 2020. N 1-2. P. 42-44 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2020-1-2-42-44.
18. **Kosarev A.V., Studentsov V.N.** Structural model of viscosity changes during oligomer resin ED-20 curing. *Plast. Massy*. 2019. N 1-2. P. 3-5 (in Russian).
19. ГОСТ 33-2016. Oil and petroleum products. Transparent and opaque liquids. Determination of kinematic and dynamic viscosity (with corrections, with a Change of N 1) M.: Federal State Budgetary Institution "PCT". 2021. 24 p.
20. **Naumova Yu.A., Kolesova L.A., Karpova S.G., Lyusova L.R., Kotova S.V., Popov A.A.** Hydrodynamic and conformational properties of butadiene nitrile rubbers in solutions in esters. *High-Molecular Comp. Ser. A.* 2020. V. 62 N 3. P. 163-169. DOI: 10.31857/S2308112020020017.
21. **Galitseisky K.B., Tamantsev Ya.A., Dokuchaev R.V., Matseevich T.A., Buzin M.I., Piminova K.S., Askadsky A.A.** Component compatibility and relaxation properties of composites based on secondary polypropylene and modified basalt fibers. *High-Molecular Comp. Ser. A.* 2020. V. 62. N 5. P. 357-369. DOI: 10.31857/S2308112020050053.
22. **Askadskii A.A., Matseevich T.A., Kondrashchenko V.I.** Dependence of zero viscosity of shear from chemical structure of polymer. *Plast. Massy*. 2018. N 11-12. P. 7-11 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2018-11-12-7-11.

Поступила в редакцию 04.05.2022

Принята к опубликованию 05.07.2022

Received 04.05.2022

Accepted 05.07.2022