

УДК 678.743.22-9

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.3.7

**СВОЙСТВА ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНОГО ПЛАСТИКАТА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАСТИФИКАТОРА ДИЭТИЛГЕКСИЛЦИКЛОГЕКСАНА**© Л. А. Мазина<sup>1\*</sup>, Р. Ф. Нафикова<sup>2</sup>, Р. М. Ахметханов<sup>3</sup><sup>1</sup>Башкирский государственный университет

Стерлитамакский филиал

Россия, Республика Башкортостан, 453103 г. Стерлитамак, пр. Ленина, 49.

<sup>2</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет

Стерлитамакский филиал

Россия, Республика Башкортостан, 453100 г. Стерлитамак, пр. Октября, 2.

<sup>3</sup>Башкирский государственный университет

Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

\*Email: mazina.la@gmail.com

Ограничение областей применения материалов на основе пластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) из-за негативного воздействия диоктилфталата (ДОФ) на здоровье человека способствует поиску альтернативных экологически безопасных пластификаторов. В настоящей работе исследуются пластифицирующие свойства диэтилгексилциклогексана (ДЭГЦГ) и его совместимость с поливинилхлоридом. Определена критическая температура растворения ПВХ в пластификаторе ДЭГЦГ и изучены релаксационные процессы методом динамомеханического анализа (ДМА), что позволило оценить влияние исследуемого пластификатора на молекулярную подвижность и температурные переходы пластика ПВХ. Установлено, что ПВХ пластикат, полученный с ДЭГЦГ, характеризуется более высокими значениями показателя текучести расплава и низкой плотностью, более высокой эластичностью при низких температурах по сравнению с полимерным материалом, содержащим ДОФ. В то же время пластификатор ДЭГЦГ имеет более высокую критическую температуру растворения ПВХ и ограниченно совмещается с полимером. При достижении содержания в полимерном материале ДЭГЦГ 60 масс.ч/100 масс.ч ПВХ наблюдается выпотевание пластификатора, при гомогенизации и термопластикации на валках образуется жирный налет, снижаются физико-механические характеристики. В сравнении с ДОФ пластификатор ДЭГЦГ несколько хуже совмещается с ПВХ, что следует учитывать при его использовании на практике.

**Ключевые слова:** поливинилхлорид, пластификатор, диэтилгексилциклогексан, критическая температура растворения.

В настоящее время на основе крупнотоннажного полимера-поливинилхлорида производится большой ассортимент полимерных материалов и изделий, которые применяются во многих сферах жизнедеятельности человека. Для получения эластичных материалов, сохраняющих свои свойства в широком интервале температур, в ПВХ композициях используются пластификаторы. Пластификация полимеров является одним из распространенных способов получения материалов с заданными свойствами, из пластифицированного ПВХ изготавливают упаковки для пищевых продуктов, медицинских материалов и изделий, детских игрушек и др.

Универсальным пластификатором для получения изделий на основе пластифицированных ПВХ композиций является диоктилфталат. Пластификатор ДОФ обладает хорошей совместимостью с ПВХ, обеспечивает удовлетворительные физико-механические характеристики, эластичность, морозостойкость пластикаторов. ДОФ не только является универсальным пластификатором, но и отличается доступностью и относительной дешевизной [1–4]. Однако в противовес всем перечисленным досто-

инствам, ДОФ имеет существенный недостаток. Многочисленными исследованиями изделий, изготовленных из пластифицированного ПВХ, проведенными в разных странах, установлено неблагоприятное воздействие ДОФ на здоровье человека, что повлекло за собой ограничение областей его применения [6–14]. Устанавливаемые законодательством запреты и растущее давление со стороны потребителей вынуждают производителей ПВХ пластикаторов искать экологически безопасную замену фталатным пластификаторам [15–19].

В настоящее время в качестве альтернативы ДОФ наиболее часто используют диоктиловые эфиры адипиновой, себациновой, лимонной, терефталевой кислот, а также производные растительных масел, которые ограниченно совместимы с ПВХ и отличаются дороговизной [20–21].

В данной статье приводятся данные по исследованию влияния пластификатора ДЭГЦГ на свойства ПВХ пластика. В качестве объекта сравнения выбрали серийно используемый в производстве пластификатор – ДОФ. Характеристика исследуемого пластификатора ДЭГЦГ приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика пластификатора ДЭГЦГ

Наименование	Нормативные показатели	Фактические показатели
Цвет по платиново-кобальтовой шкале, не более	20	3
Содержание летучих веществ, %, не более	0.15	0.01
Индекс рефракции, $n_{25/D}$ , в пределах	1.456–1.462	1.459
Плотность при $T=20\text{ }^\circ\text{C}$ , $\text{г/см}^3$	0.953–0.959	0.956
Кислотное число, $\text{мг КОН/г}$ , не более	0.3	0.09

Таблица 2

Результаты испытаний базовых композиций

Наименование показателя	Содержание пластификаторов, $\text{масс.ч/100 масс.ч ПВХ}$					
	ДОФ			ДЭГЦГ		
	20	40	60	20	40	60
Твердость по Шору А, <i>усл. ед.</i>	99	92	75	97	90	75
Прочность при разрыве, <i>МПа</i>	35.3	24.9	19.1	35.4	25.1	18.5
Относительное удлинение при разрыве, %	227	296	398	232	297	380
Плотность, $\text{г/см}^3$	1.3132	1.2684	1.2233	1.3090	1.2571	1.2124

Эффект пластификации полимеров различными пластификаторами неодинаков и зависит от их химической природы и строения.

Поскольку пластификаторы химически не связаны с полимером, они легко диффундируют в окружающую среду в течение жизненного цикла полимерных материалов. Десорбция пластификатора из ПВХ, с одной стороны, приводит к повышению температуры стеклования полимера со снижением эксплуатационных свойств, с другой – к негативному воздействию выделившегося пластификатора на человека [2; 5].

Совместимость пластификатора с ПВХ оценивали по критической температуре растворения полимера, позволяющей установить растворяющую способность пластификатора при повышенных температурах.

Известно, что пластифицированный ПВХ перерабатывают при температурах, превышающих на 20–80 °С его критическую температуру растворения. Пластификатор пригоден для получения пленок при нормальном давлении и нагревании при 160 °С в течение 10 мин, если критическая температура растворения полимера в пластификаторе соответствует 90–135 °С. Критическая температура растворения 136–160 °С указывает на малую растворяющую способность пластификатора [22–23]. Факт зависимости температуры переработки ПВХ пластификатов от критической температуры растворения полимера удовлетворительным образом подтверждается на практике.

Критическая температура растворения ПВХ в пластификаторе ДЭГЦГ составила 139 ( $\pm 1$ ) °С, что несколько превышает значение данного показателя для серийного ДОФ, равного 120 ( $\pm 1$ ) °С.

Исследование влияния пластификаторов ДЭГЦГ и ДОФ на свойства ПВХ пластификатов проводили в базовых композициях, содержащих ПВХ с

константой  $K_{\phi} = 70$ , стабилизатор, пластификатор в дозировках 20, 40 и 60 масс.ч/100 масс.ч ПВХ.

При вальцевании композиций, содержащих 20 и 40 масс.ч/100 масс.ч ПВХ пластификатора ДЭГЦГ, технологических затруднений не возникало. Увеличение дозировки до 60 масс.ч приводило к образованию на валках жирного прозрачного налета. Вероятно, при этой дозировке ДЭГЦГ связь в системе полимер – пластификатор ослабевает, что ведет к возрастанию миграции последнего.

В табл. 2 приведены результаты испытаний ПВХ пластика, полученные с различной дозировкой пластификаторов.

Из представленных в таблице данных видно, что при содержании пластификаторов ДОФ и ДЭГЦГ в количестве 20 и 40 масс.ч /100 масс.ч ПВХ показатели «прочность при разрыве» и «относительное удлинение при разрыве» ПВХ пластификатов находятся на одном уровне. При увеличении дозировки ДЭГЦГ до 60 масс.ч/100 масс.ч ПВХ наблюдается более заметное снижение физико-механических характеристик пластика, в сравнении с пластиком, содержащим ДОФ. Аналогичная зависимость свойств наблюдается и по влиянию их на твердость полимерного материала. Так, при введении в состав пластика 20 и 40 масс.ч/100 масс.ч ПВХ пластификаторов для ДЭГЦГ наблюдается снижение твердости пластика с 97 до 90 усл. ед., для ДОФ – с 99 до 92 усл. ед. При этих дозировках ДЭГЦГ в сравнении с ДОФ проявляет себя как более эффективный пластификатор, однако при увеличении его содержания до 60 масс.ч/100 масс.ч значения твердости обоих полимерных образцов становятся одинаковыми.

Исследованиями технологических свойств ПВХ пластика установлено, что ДЭГЦГ повышает текучесть расплава в большей степени, чем ДОФ, и с увеличением его содержания в ПВХ композиции ПТР увеличивается более значительно (рис. 1).

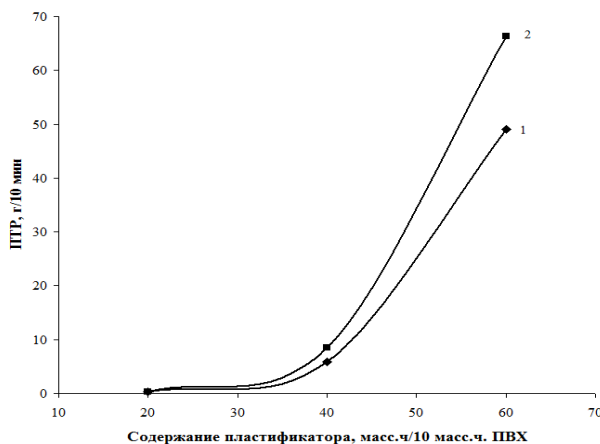


Рис. 1. Зависимость показателя текучести расплава ПВХ пластика от содержания пластификаторов: 1 – ДОФ; 2 – ДЭГЦГ.

Таблица 3

Результаты исследования ПВХ пластика методом ДМА

Наименование пластификатора	Содержание, масс.ч/100 масс.ч ПВХ	$T_n$ , °C	$T_{ст}$ , °C	$T_k$ , °C	$T_{tg\delta\max}$ , °C	$T_k - T_n$	$E$ , МПа
ДОФ	40	-29.4	-26.2	23.2	30	52.6	5800
	60	-53.5	-36.8	-8.5	3.4	45	5200
ДЭГЦГ	40	-63.5	-43.4	9.2	28.7	72.7	5900
	60	-78.2	-48.6	-18	-1.6	60.2	3700

$T_n$  – температура начала перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое;

$T_{ст}$  – температура стеклования;

$T_k$  – температура конца перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое;

$T_k - T_n$  – интервал температур, в котором наблюдается область  $\alpha$ -релаксации;

$E$  – модуль упругости.

Динамико-механический анализ (ДМА) проводили на приборе NETZSCH DMA 242 в режиме растяжения и интервале температур от минус 100 °C до плюс 80 °C и плюс 40 °C, при частоте 1 Гц в атмосфере азота, подаваемого со скоростью 100 мл/мин.

ДМА чувствителен к молекулярным движениям и позволяет при фиксированной частоте в широком интервале температур определять собственные каждому исследуемому образцу температурные переходы. Основным релаксационным процессом, проявляющимся в главной релаксационной области ( $\alpha$ -релаксация), является переход из стеклообразного состояния в высокоэластическое (или наоборот). Условной границей между этими состояниями является температура стеклования  $T_{ст}$  – это температура, ниже которой «заморожено» движение сегментов полимерных молекул. Тангенс угла механических потерь  $tg\alpha$  является отношением модуля вязкости к модулю упругости при деформациях растяжения или сдвига [24–25].

Исследование релаксационных процессов методом ДМА позволило оценить влияние исследуемых пластификаторов на молекулярную подвиж-

ность и температурные переходы ПВХ пластика (рис. 2–5).

На всех графиках наблюдается одинарный пик тангенса угла механических потерь в области температур размягчения, что свидетельствует о гомогенности ПВХ пластика. Пластификатор ДОФ имеет высокую совместимость с ПВХ, и содержание его в составе пластика практически не оказывает влияния на ширину пика  $tg\alpha$ . При пластификации полимера ДЭГЦГ его дозировка заметно влияет на ширину пика тангенса угла механических потерь. ДЭГЦГ в количестве 40 масс.ч хорошо совмещается с ПВХ – ширина пика  $tg\alpha$  аналогична полимерным материалам, пластифицированным ДОФ. Однако при увеличении содержания ДЭГЦГ до 60 масс.ч/100 масс.ч ПВХ пик  $tg\alpha$  становится заметно шире, что показывает более низкую однородность системы.

В целом химическое строение пластификатора оказывает заметное влияние на температурные переходы ПВХ пластики (табл. 3).

С увеличением температуры полимерный материал размягчается и наблюдается постепенное уменьшение динамического модуля упругости  $E'$ .

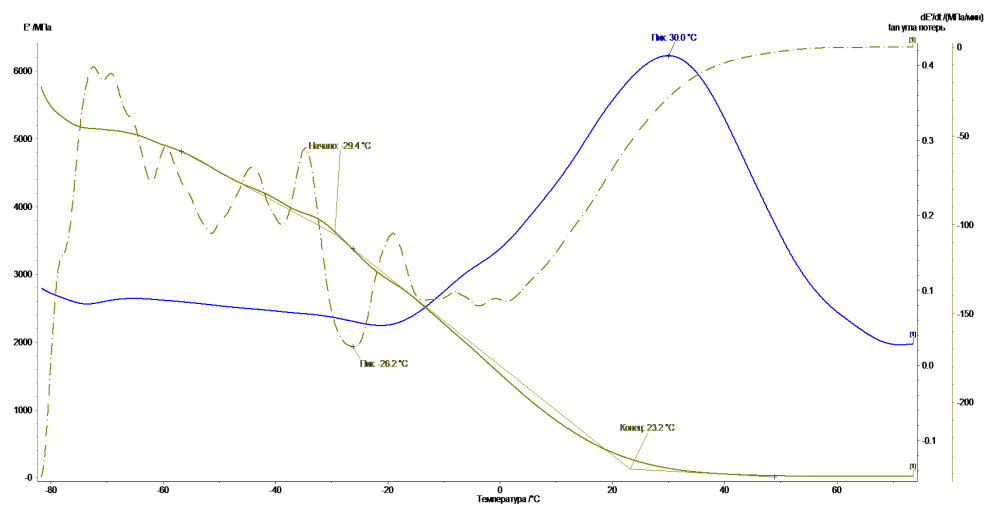


Рис. 2. Термограмма ДМА для ПВХ пластиката с ДОФ (40 масс.ч/100 масс.ч ПВХ).

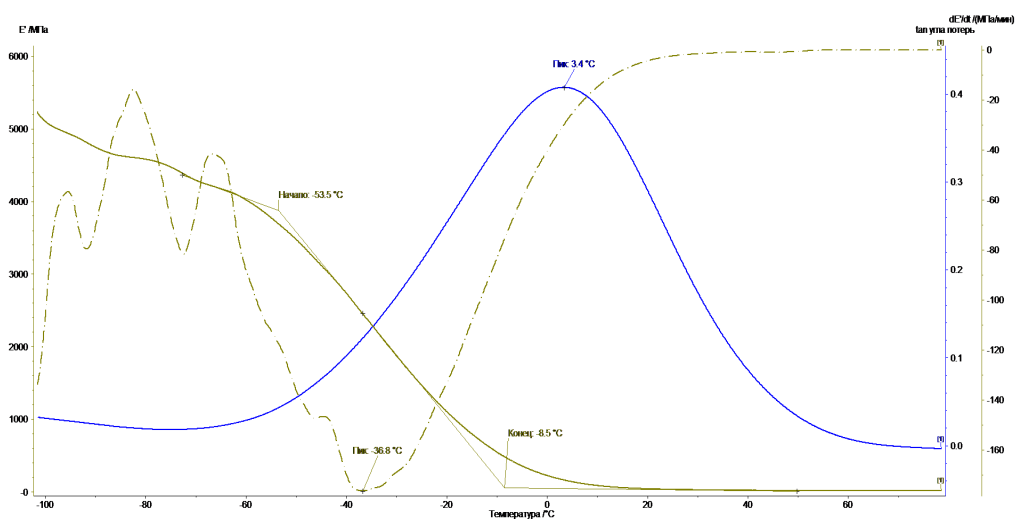


Рис. 3. Термограмма ДМА для ПВХ пластиката с ДОФ (60 масс.ч/100 масс.ч ПВХ).

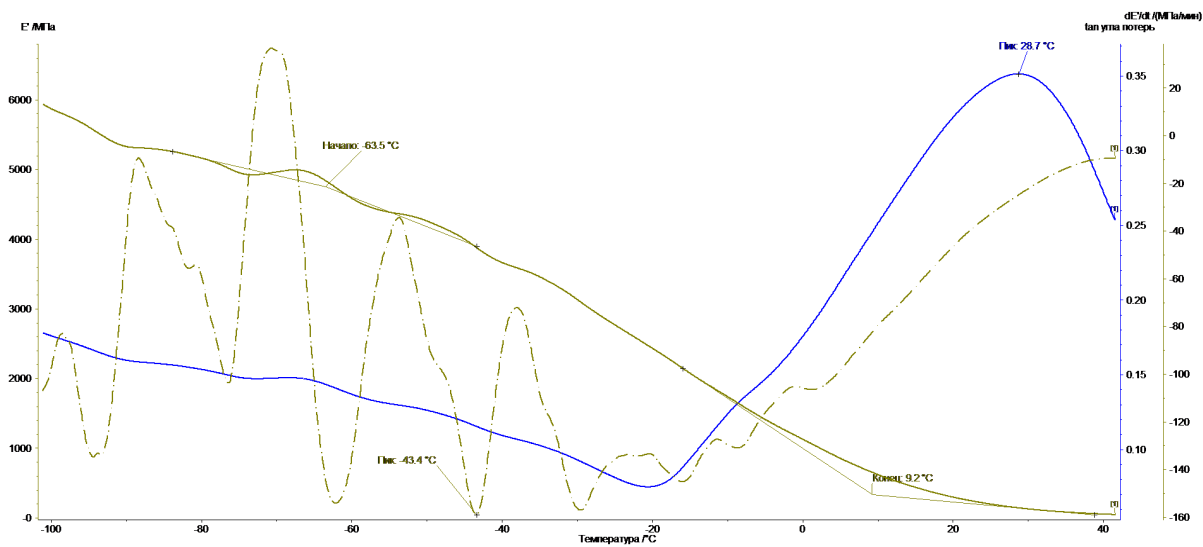


Рис. 4. Термограмма ДМА для ПВХ пластиката с пластификатором ДЭГЦГ (40 масс.ч/100 масс.ч ПВХ).

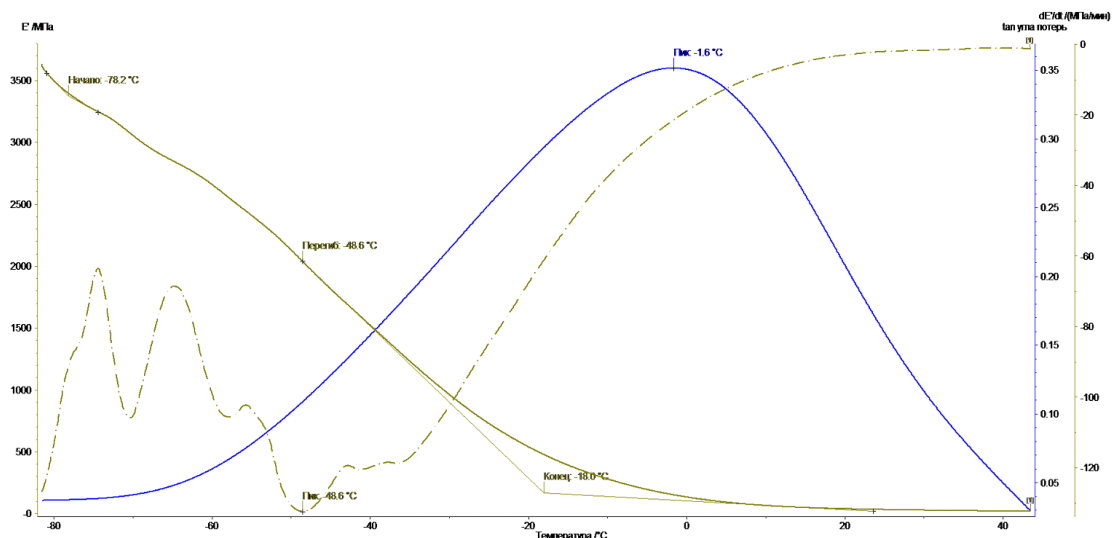


Рис. 5. Термограмма ДМА ПВХ пластика с пластификатором ДЭГЦГ (60 масс.ч/100 масс.ч ПВХ).

Проведенные исследования термомеханических характеристик ПВХ пластификатов показывают, что для образца, содержащего 40 масс.ч ДОФ, переход в область высокоэластичного состояния наблюдается выше температуры стеклования, определенной как первая производная  $E' = f(t)$  и равной минус 26.2 °C (рис. 2). Область от минус 29.4 °C до 23 °C характеризуется резким уменьшением модуля упругости  $E$ . Такие существенные изменения в температурной зависимости механических свойств связаны с главным температурным переходом из стеклообразного состояния в высокоэластичное. Пик  $tg \alpha$  появляется при температуре плюс 30 °C. При увеличении содержания ДОФ до 60 масс.ч/100 масс.ч ПВХ температура стеклования снижается до минус 36.8 °C, а резкое уменьшение модуля упругости наблюдается в области от минус 53.5 °C до минус 8.5 °C (рис. 3).

Для образца, содержащего пластификатор ДЭГЦГ, переход в область высокоэластичного состояния наблюдается выше температуры стеклования, равной минус 43.4 °C (рис. 4). Резкое уменьшение модуля упругости  $E$  наблюдается в области от минус 63.5 °C до 9.2 °C. Пик  $tg \alpha$  появляется при температуре 28.7 °C. С увеличением дозировки пластификатора ДЭГЦГ до 60 масс.ч/100 масс.ч ПВХ температура стеклования снижается до минус 36.8 °C, а резкое уменьшение модуля упругости наблюдается в области от минус 53.5 °C до минус 8.5 °C (рис. 5).

### Выводы

Использование пластификатора ДЭГЦГ взамен ДОФ позволяет получить ПВХ пластикаты с более высокой эластичностью при низких температурах, высокими значениями показателя текучести расплава и более низкой плотностью. При этом пластификатор ДЭГЦГ имеет более высокую критическую температуру растворения ПВХ и, следовательно, хуже совмещается с ПВХ, что следует учитывать при разработке рецептур ПВХ пластикатов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гроссман Ф. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ. СПб.: НОТ, 2009. 607 с.
2. Уилки Ч., Саммерс Дж., Даниелс Ч. Поливинилхлорид. СПб: Профессия, 2007. 728 с.
3. Shah B. L., Shertukde V. V. Effect of Plasticizers on Mechanical, Electrical, Permanence, and Thermal Properties of Poly(vinylchloride) // Journal of Applied Polymer Science. 2003. Vol. 90. Pp. 3278–3284.
4. Patrick S. G. Practical Guide to Polyvinyl Chloride. UK: Rapra Technology Limited, 2005. 162 p.
5. Mehta B., Kathalewar M., Mantri J. Biobased Co-plasticizer for PVC in Addition with Epoxidised Soyabean Oil to Replace Phthalates // Journal of Engineering and Technology, 2014. Vol. 3. No. 4. Pp. 20–30.
6. Veiga M., Bohrer D., Nascimento P., Ramirez A., Carvalho L., Binotto R. Migration of Phthalate-based Plasticizers from PVC and non-PVC Containers and Medical Devices // J. Braz. Chem. Soc. 2012. Vol. 23. No. 1. Pp. 72–77.
7. Swan S. H. Environmental phthalate exposure in relation to reproductive outcomes and other health endpoints in humans // Environmental Research. 2008. Vol. 108. Pp. 177–184.
8. Swan S. H., Liu F., Hines M., Kruse R. L., Wang C., Redmon J. B., Sparks A., Weiss B. Prenatal phthalate exposure and reduced masculine play in boys // International Journal of Andrology. 2010. Vol. 33. Pp. 259–269.
9. Matsumoto M., Hirata-Koizumi M., Ema M. Potential adverse effects of phthalic acid esters on human health: A review of recent studies on reproduction // Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2008. Vol. 50. Pp. 37–49.
10. Moheb-eldien M. The Most Recent Hazards Of Phthalates That Threaten Food Safety And Human Health // International Journal of Medical Science and Clinical Inventions. 2014. Vol. 1. No. 10. Pp. 527–535.
11. Mitro S. D. Phthalate metabolite exposures among immigrants living in the United States: findings from NHANES, 1999–2014 // Journal of Exposure Science. Environmental Epidemiology. 2019. Vol. 29. Pp. 71–82.
12. Gray E., Mccally M. Aggregate Exposures to Phthalates in Humans // Health Care without Harm. 2002. P. 49.
13. Шкаева И. Е., Солнцева С. А., Никулина О. С., Николаев А. И., Дулов С. А., Земляной А. В. Токсичность и опасность фталатов // Токсикологический вестник. 2019. №6. С. 3–9.
14. Regulation (EC) №1907/2006 of the European Parliament and of the council of 18 December 2006 // Official Journal of the

- European Union. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do>
15. Wadey B. L. An innovative plasticizer for sensitive applications // *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2003. Vol. 9. No. 4. Pp 172–176.
  16. Zhang L., Zhang J., Ding X., Zhu J., Liu Y., Fan Y., Wu Y., Wei Y. Synthesis and Application of a New Environmental Friendly Plasticizer // *American Journal of Biomedical Science and Engineering*. 2015. No. 1. Pp. 9–19.
  17. Bocqué M., Voirin C., Lapinte V., Caillol S., Robin J.-J. Petro-based and bio-based plasticizers: Chemical structures to plasticizing properties // *J. Polym. Sci.* 2016. Vol. 54. Pp. 11–33.
  18. Balakrishnan B., Kumar D. S., Yoshida Y., Jayakrishnan A. Chemical modification of poly(vinyl chloride) resin using poly(ethylene glycol) to improve blood compatibility // *Biomaterials*. 2005. Vol. 26. Pp. 3495–3502.
  19. Gil N., Negulescu I., Saska M. Evaluation of the effects of bio-based plasticizers on thermal and mechanical properties of poly (vinylchloride) // *J. Applied Polymer Science*. 2006. Vol. 102. Pp. 1366–1373.
  20. Wypych G. *Handbook of Plasticizers*, 2nd edition, Editor Chemical Technology Publishing Toronto. New York, 2004. Pp. 218–226.
  21. Ахметханов Р. М., Захаров В. П., Мазина Л. А., Нафикова Р. Ф., Степанова Л. Б. Термическая и термоокислительная устойчивость поливинилхлорида, пластифицированного диоктилтерефталатом // *Вестник Башкирского университета*. 2017. Т. 22. №4. С. 991–994.
  22. Тиниус К. *Пластификаторы*. Л.: Химия, 1964. 915 с.
  23. Штаркман Б. П. *Пластификация поливинилхлорида*. М.: Химия, 1975. 248 с.
  24. Menard K. P. *Dynamic mechanical analysis: a practical introduction*. CRC Press LLC, 1999. 205 p.
  25. Boughalmi R., Jarray J., Cheikh Larbi F., Dubault A., Halaru J. L. *Molecular Analysis of the Mechanical Behavior of Plasticized Amorphous Polymers* // *Oil & Gas Science and Technology*. 2006. Vol. 61. No. 6. Pp. 725–733.

*Поступила в редакцию 28.06.2021 г.*

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.3.7

**PROPERTIES OF POLYVINYLCHLORIDE PLASTICATE OBTAINED WITH THE USE OF PLASTICIZER DIETHYLHEXYLCYCLOHEXANE**© **L. A. Mazina**<sup>1\*</sup>, **R. F. Nafikova**<sup>2</sup>, **R. M. Akhmetkhanov**<sup>3</sup><sup>1</sup>*Sterlitamak branch of Bashkir State University  
49 Lenin Avenue, 453103 Sterlitamak, Republic of Bashkortostan, Russia.*<sup>2</sup>*Sterlitamak branch of Ufa State Petroleum Technological University  
2 Oktyabrya Avenue, 453100 Sterlitamak, Republic of Bashkortostan, Russia.*<sup>3</sup>*Bashkir State University  
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

\*Email: mazina.la@gmail.com

Limited applications of materials based on plasticized polyvinyl chloride (PVC) due to the adverse effects of dioctyl phthalate (DOP) on human health promote the search for alternative environmentally safe plasticizers. In the present work, the plasticizing properties of diethylhexylcyclohexane (DEHCH) and its compatibility with polyvinyl chloride are studied. The critical temperature of PVC dissolution in the plasticizer was determined and the relaxation processes were studied by dynamomechanical analysis (DMA). It allowed evaluating the effect of the plasticizer on the molecular mobility and temperature transitions of PVC plastic compound. It was found that PVC plastic compound obtained with DEHCH has higher values of melt flow index and low density, higher elasticity at low temperatures compared to the polymer material containing DOP. At the same time, the plasticizer DEHCH has a higher critical dissolution temperature of PVC and has a limited compatibility with the polymer. When the content of the plasticizer in the polymer material reached the value of 60 mass parts per 100 mass parts of PVC, exudation of plasticizer was observed, greasy film formed on rolls during homogenization and thermo-plasticization, physical and mechanical properties were reduced. Compared to DOP, plasticizer DEHCH is somewhat less compatible with PVC; it should be taken into account when using DEHCH in practice.

**Keywords:** polyvinyl chloride, plasticizer, diethylhexylcyclohexane, critical dissolution temperature.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin\_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

**REFERENCES**

1. Grossman F. Rukovodstvo po razrabotke kompozitsii na osnove PVKh [A guidebook for designing PVC-based compositions]. Saint Petersburg: NOT, 2009.
2. Willkie Ch., Sammers J., Daniels Ch. Polivinilklorid [Polyvinyl chloride]. Saint Petersburg: Professiya, 2007.
3. Shah B. L., Shertukde V. V. Journal of Applied Polymer Science. 2003. Vol. 90. Pp. 3278–3284.
4. Patrick S. G. Practical Guide to Polyvinyl Chloride. UK: Rapra Technology Limited, 2005.
5. Mehta B., Kathalewar M., Mantri J. Journal of Engineering and Technology, 2014. Vol. 3. No. 4. Pp. 20–30.
6. Veiga M., Bohrer D., Nascimento P., Ramirez A., Carvalho L., Binotto R. J. Braz. Chem. Soc. 2012. Vol. 23. No. 1. Pp. 72–77.
7. Swan S. H. Environmental Research. 2008. Vol. 108. Pp. 177–184.
8. Swan S. H., Liu F., Hines M., Kruse R. L., Wang C., Red-mon J. B., Sparks A., Weiss B. International Journal of Andrology. 2010. Vol. 33. Pp. 259–269.
9. Matsumoto M. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2008. Vol. 50. Pp. 37–49.
10. Moheb-eldien M. International Journal of Medical Science and Clinical Inventions. 2014. Vol. 1. No. 10. Pp. 527–535.
11. Mitro S. D. Journal of Exposure Science. Environmental Epidemiology. 2019. Vol. 29. Pp. 71–82.
12. Gray E., Mccally M. Health Care Without Harm. 2002. Pp. 49.
13. Shkaeva I. E., Solntseva S. A., Nikulina O. S., Nikolaev A. I., Dulov S. A., Zemlyanoi A. V. Toksikologicheskii vestnik. 2019. No. 6. Pp. 3–9.
14. Regulation (EC) No. 1907/2006 of the European Parliament and of the council of 18 December 2006. Official Journal of the European Union. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do>
15. Wade B. L. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2003. Vol. 9. No. 4. Pp. 172–176.

16. Zhang L., Zhang J., Ding X., Zhu J., Liu Y., Fan Y., Wu Y., Wei Y. American Journal of Biomedical Science and Engineering. 2015. No. 1. Pp. 9–19.
17. Bocqué M., Voirin C., Lapinte V., Caillol S., Robin J.-J. J. Polym. Sci. 2016. Vol. 54. Pp. 11–33.
18. Balakrishnan B., Kumar D. S., Yoshida Y., Jayakrishnan A. Biomaterials. 2005. Vol. 26. Pp. 3495–3502.
19. Gil N., Negulescu I., Saska M. J. Applied Polymer Science. 2006. Vol. 102. Pp. 1366–1373.
20. Wypych G. Handbook of Plasticizers, 2nd edition, Editor Chemical Technology Publishing Toronto. New York, 2004. Pp. 218–226.
21. Akhmetkhanov R. M., Zakharov V. P., Mazina L. A., Nafikova R. F., Stepanova L. B. Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2017. Vol. 22. No. 4. Pp. 991–994.
22. Tinius K. Plastifikatory [Plasticizers]. Leningrad: Khimiya, 1964.
23. Shtarkman B. P. Plastifikatsiya polivinilkhlorida [Plasticization of polyvinyl chloride]. Moscow: Khimiya, 1975.
24. Menard K. P. Dynamic mechanical analysis: a practical introduction. CRC Press LLC, 1999.
25. Boughalmi R., Jarray J., Cheikh Larbi F., Dubault A., Halary J. L. Oil & Gas Science and Technology. 2006. Vol. 61. No. 6. Pp. 725–733.

*Received 28.06.2021.*