

УДК 678

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТИФИКАТОРА
НА ОСНОВЕ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ**

**SYNTHESIS AND STUDY OF PLASTICIZER PROPERTIES
BASED ON PETROCHEMICAL RAW MATERIALS**

**И.Н. Вихарева, Г.К. Аминова, Е.А. Буйлова,
Е.Ю. Бобылева, А.К. Мазитова**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**Irina N. Vikhareva, Guliya K. Aminova, Evgeniya A. Builova,
Elena Yu. Bobyleva, Aliya K. Mazitova**

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

e-mail: irina.vikhareva2009@yandex.ru

Аннотация. Нефтехимическое сырье не теряет своей актуальности при получении полимерных материалов. Полученные из ископаемого сырья пластификаторы, как основная часть пластика, являются наиболее доступными и широко применяемыми. Их содержание в композиционных материалах обеспечивает хорошую перерабатываемость и долговременные эксплуатационные свойства. В частности, применение адипинатных пластификаторов помимо перечисленного способствует экологичности получаемых материалов, а также увеличивает их биоразлагаемость в естественных условиях.

Данная работа является продолжением серии исследований получения новых нетоксичных сложноэфирных пластификаторов поливинилхлорида (ПВХ) на основе адипиновой кислоты и оксиалкилированных спиртов.

Разработана методика получения феноксиалкиладипинатов с применением амфотерного катализатора с оптимальными выходами. Показано, что физико-химические свойства синтезированного эфира адипиновой кислоты приемлемы для использования его в качестве пластификатора ПВХ. Исследована возможность практического применения в составе ПВХ-композиций. Термическая стабильность пластификатора изучена методом термогравиметрии на приборе совмещенного термического анализа ТГА-ДСК («Меттлер Толедо»); температуры кристаллизации и плавления пластификатора, а также значения энтальпии этих процессов определены методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе ДСК-1 («Меттлер Толедо»); совместимость полученного пластификатора с ПВХ оценена по критической температуре растворения полимера в пластификаторе. Установлено, что синтезированный дифеноксиэтиладипинат может быть использован в составе композитов ПВХ.

Abstract. Petrochemical raw materials do not lose its relevance in the production of polymeric materials. Plasticizers obtained from fossil raw materials, as the main part of plastic compound, are the most affordable and widely used. Its content in composite materials provides good processability and long-term operational properties. In particular, the use of adipate plasticizers, in addition to the above mentioned, contributes to the environmental friendliness of the materials obtained, as well as increases its biodegradability in vivo.

This work is a continuation of a series of studies on the preparation of new non-toxic ester plasticizers of polyvinyl chloride (PVC) based on adipic acid and alkoxyated alcohols. A procedure has been developed for the production of phenoxyalkyl adipates using an amphoteric catalyst with optimal yields. It is shown that the physicochemical properties of the synthesized adipic acid ester are acceptable for use as a plasticizer for PVC. The possibility of practical application in the PVC compositions has been investigated. The thermal stability of the plasticizer was studied by thermogravimetry using a TGA-DSC combined

thermal analysis instrument (Mettler Toledo); the crystallization and melting temperatures of the plasticizer, as well as the enthalpy of these processes, were determined by differential scanning calorimetry using a DSC-1 instrument (Mettler Toledo); the compatibility of the obtained plasticizer with PVC was evaluated by the critical temperature of polymer dissolution in the plasticizer. It was found that the synthesized diphenoxyethyl adipate can be used in the composition of PVC plastics.

Ключевые слова: адипинатный пластификатор; амфотерный катализатор; биоразлагаемые добавки; нефтехимическое сырье; оксиалкилированный спирт; поливинилхлорид; этерификация

Key words: adipate plasticizer; amphoteric catalyst; biodegradable additives; petrochemical raw materials; oxyalkylated alcohol; polyvinyl chloride; esterification

В настоящее время основным сырьем для химической промышленности служат полезные ископаемые в виде нефти и газа. Важным сегментом в этой области является производство пластических масс [1–3]. Успешное развитие отрасли пластмасс связано не только с доступной сырьевой базой, а также с их универсальными прикладными свойствами [4–6]. Увеличение производства и расширение сфер применения традиционных пластиков привели к накоплению их отходов, из которых только около 10 % перерабатывается, остальная часть накапливается в природе, а разложение в естественных условиях происходит в течение длительного периода времени [7–9].

Поэтому важной проблемой в области производства и применения пластмасс является разработка биоразлагаемых полимерных материалов. В первую очередь они могут быть получены на основе возобновляемых сырьевых источников.

Однако данным полимерам свойственна гидрофильность, что отрицательно влияет на физико-механические и эксплуатационные свойства получаемых изделий и, соответственно, ограничивает их применение [10–12]. Более того, в отличие от товарных пластмасс, таких как полиолефины и ПВХ, подобные биополимеры не поддаются или плохо поддаются термической обработке [13, 14]. К недостаткам также можно отнести применяемые в настоящее время технологии их производства, которые потребляют значительное количество энергии и воды и характеризуются выбросами загрязняющих веществ в окружающую среду [15–18].

Биологически разлагаемые полимеры могут быть получены не только на основе возобновляемых источников, а также на нефтехимической основе.

С этой целью используют микробиологически или химически подготовленные полимеры [19, 20]. Подобные смеси полимеров с биоразлагаемыми добавками в естественных условиях полностью компостируемы [21–25].

Таким образом, биоразложение пластика не зависит от его происхождения, то есть биodeградируемые пластмассы одинаково хорошо разлагаются независимо от используемого сырья: ископаемое топливо или растительные ресурсы. Учитывая все факторы производства полимеров: доступность сырья, технологию процесса, энергоемкость, загрязнение окружающей среды, а главное, возможность вторичной переработки, – использование нефтехимического сырья, на наш взгляд, в настоящее время оправданно.

Из литературных данных известно, что в качестве биоразлагаемых добавок могут быть использованы сложноэфирные пластификаторы, полученные на основе адипиновой кислоты [26–29].

В связи с этим был получен новый пластификатор – дифеноксидиэтилдипинат (ДФЭА), обладающий низкой токсичностью и способностью к биоразложению. Затем были изучены его свойства.

Сложный эфир адипиновой кислоты и оксиэтилированного фенола был получен в две стадии.

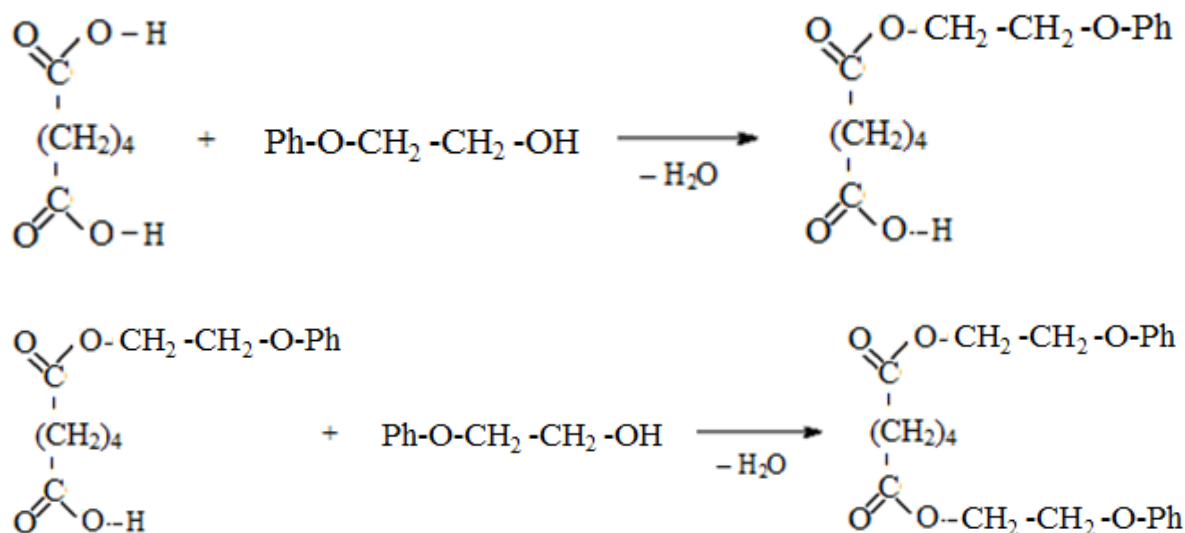


Таблица 1. Физико-химические свойства дифеноксиэтиладипината

Эфир	Показатели				
	Степень оксиэтилирования	М. м. найдено	К.ч., мг КОН/г	Э.ч., мг КОН/г	d ²⁰ ₄
ДФЭА	1	387	0,2	289	1,1007

Затем были изучены свойства полученного пластификатора для его практического применения в составе ПВХ-композиций, а именно: термостабильность, температуры плавления и кристаллизации, совместимость с полимером.

Для сравнения использовали образец промышленного пластификатора ди-2-этилгексилфталата (ДОФ), широко применяемого в составе различных ПВХ-материалов и изделий.

Термическая стабильность пластификатора была изучена методом термогравиметрии на приборе совмещенного термического анализа ТГА-ДСК («Меттлер Толедо») в интервале температур 20–500 °С при скорости нагрева 5 °С/мин.

Для оценки термической устойчивости пластификаторов использовали следующие параметры (таблица 2):

- T_n – температура, соответствующая началу снижения массы пластификатора при нагреве, характеризующая присутствие в продукте летучих примесей;
- Δm – снижение массы при нагреве пластификатора до температур 180 °С и 200 °С, соответствующих температурному интервалу переработки ПВХ-композиций;
- T_k – температура, соответствующая полному разложению продукта.

Таблица 2. Результаты термического анализа пластификаторов

Пластификатор	T_n , °С	Δm , %		T_k , °С
		при 180 °С	при 200 °С	
ДОФ	132	1,0	1,9	467
ДФЭА	144	0,8	1,6	453

Из результатов термического анализа следует, что разложение полученного пластификатора ДФЭА происходит в интервале температур от 144 °С до 453 °С. Разработанный пластификатор характеризуется относительно высоким значением температуры T_n – 144 °С. Это значение на 12 °С выше аналогичного параметра для промышленного ДОФ (таблица 2).

Следует также отметить относительно низкое для полученного пластификатора ДФЭА значение параметра Δm при температурах 180 °С и 200 °С, характеризующего содержание в продукте летучих примесей, которые могут выделяться в процессе переработки пластифицированной ПВХ-композиции при формовании материалов и изделий. Так, для пластификатора ДФЭА полученное значение Δm при 180 °С (0,8 %) ниже, чем у промышленного ДОФ (1,0 %) (таблица 2).

Таким образом, по термической стабильности пластификатор ДФЭА не уступает пластификатору ДОФ.

Синтезированный пластификатор, в отличие от ДОФ, представляет собой твердый продукт, поэтому важное значение для его практического использования имеют параметры плавления и кристаллизации.

Температуры кристаллизации и плавления пластификатора, а также значения энтальпии этих процессов определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе ДСК-1 («Меттлер Толодо») в интервале температур от минус 50 °С до 115 °С при скорости нагрева/охлаждения 5 °С/мин.

На термограмме пластификатора в режиме нагрева в интервале температур 72–106 °С фиксируются эндотермический пик, соответствующий процессу плавления, с максимумом $T_{пл} = 96,7$ °С.

Процесс кристаллизации пластификатора при охлаждении образца выражен не так отчетливо: в области температур от минус 13 °С до 7 °С имеется экзотермический пик слабой интенсивности с максимумом $T_{кр} = -3,5$ °С.

Значения энтальпии плавления $\Delta H_{пл}$ и кристаллизации $\Delta H_{кр}$, соответствующие указанным пикам на ДСК-термограмме, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты ДСК-анализа пластификатора дифеноксиэтиладипината

$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{пл}, \text{Дж/г}$	$T_{кр}, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_{кр}, \text{Дж/г}$
96,7	-152,9	-3,5	3,5

Следует отметить, что на ДСК-термограмме пластификатора отсутствуют какие-либо сигналы, соответствующие примесям других соединений. Таким образом, полученный пластификатор представляет собой достаточно чистый продукт.

Важным параметром, определяющим возможность использования пластификатора в составе полимерных композиций, является его совместимость с полимером. Одним из методов определения совместимости

пластификатора с ПВХ является оценка по критической температуре растворения полимера в пластификаторе $T_{кр}$.

Установлено, что температура растворения ПВХ в пластификаторе ДФЭА заметно (на 65 °С) выше, чем в ДОФ (таблица 4), что указывает на меньшую совместимость данного пластификатора с полимером. По-видимому, данный пластификатор может быть отнесен к числу вторичных пластификаторов, ограниченно совместимых с полимером, которые рекомендуется использовать в виде смеси с первичным пластификатором, например с ДОФ.

Получена смесь ДОФ с синтезированным пластификатором ДФЭА в соотношении 5 : 1 (масс.), при этом температура растворения пластификатора в ДОФ составила 80 °С. Совместимость ПВХ с данной смесью пластификаторов ($T_{кр} = 125$ °С) несколько ниже, чем с ДОФ (таблица 4), тем не менее данная смесь может быть использована в составе композитов ПВХ.

Таблица 4. Результаты определения критической температуры растворения пластификаторов

Пластификатор	Температура растворения пластификатора в ДОФ, °С	$T_{кр}$, °С
ДОФ	–	113
ДФЭА	–	178
Смесь ДОФ + ДФЭА	80	125

Получены композиции ПВХ со смесью ДОФ – пластификатор ДФЭА различного состава. Композиции обладают хорошей технологичностью при переработке и могут быть рекомендованы для широких испытаний.

Выводы

1. На основе нефтехимического сырья реакцией этерификации адипиновой кислоты феноксиэтанолом в присутствии амфотерного катализатора оксида цинка ZnO и азеотропного водовыносителя получен новый пластификатор дифеноксиэтиладипинат с выходом 96 %.

2. ПВХ-композиции с использованием разработанного дифеноксиэтиладипината по термической стабильности, температуре плавления и кристаллизации не уступают промышленным пластикатам, содержащим диоктилфталат.

3. Разработанные ПВХ-композиции, содержащие ДОФ и вторичный пластификаторДФЭА, обладают хорошей технологичностью при переработке.

Список используемых источников

1. Energy Balances of OECD Countries 2009. Paris: OECD Publishing, 2009. 354 p.

2. Фадина Ю.И. Анализ российского рынка полимеров и дальнейшие пути его развития // Бизнес-образование в экономике знаний. 2017. № 1 (6). С. 99-101.

3. Jakoby R. Marketing and Sales in the Chemical Industry. New York: Wiley-VCH, 2002. 177 p.

4. Холден Г., Крихельдорф Х.Р., Куирк Р.П. Термоэластопласты. СПб.: Профессия, 2011. 717 с.

5. Мазитова А.К., Аминова Г.К., Нафикова Р.Ф., Дебердеев Р.Я. Основные поливинилхлоридные композиции строительного назначения. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2013. 111 с.

6. Шиллер М. Добавки к ПВХ. Состав, свойства, применение. СПб.: Профессия, 2017. 416 с.

7. Охрана окружающей среды в России. Статистический сборник. М.: Росстат, 2018. 125 с. URL: https://www.gks.ru/free_doc/doc_2018/ohrana_2018.pdf (дата обращения: 25.05.2020).
8. The Known Unknowns of Plastic Pollution // The Economist. 03.03.2018. URL: <https://www.economist.com/international/2018/03/03/the-known-unknowns-of-plastic-pollution> (дата обращения: 26.05.2020).
9. Hester R.E., Harrison R.M. Marine Pollution and Human Health. London: Royal Society of Chemistry, 2011. 182 p.
10. Chiellini F., Ferri M., Morelli A., Dipaola L., Latini G. Perspectives on Alternatives to Phthalate Plasticized Poly(vinyl chloride) in Medical Devices Applications // Progress in Polymer Science. 2013. Vol. 38. Issue 7. P. 1067-1088. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.03.001.
11. Vieira M.G.A., Silva M.A.D., Santos L.O., Beppu M.M. Natural-Based Plasticizers and Biopolymer Films: A Review // European Polymer Journal. 2011. Vol. 47. Issue 3. P. 254-263. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.
12. Vijayendran B.R., Benecke H., Elhard J.D., McGinniss V.D., Ferris K.F. Environmentally Friendly Plasticizers for Polyvinyl Chloride (PVC). Dallas: Resins Antec, 2001. 604 p.
13. Шембель Н.Л., Чеботарь А.М., Сагалаев Г.В. Наполнители полимерных материалов. М.: Знание, 1997. С. 87-91.
14. Шериева М.Л., Шустов Г.Б., Шетов Р.А., Бештоев Б.З., Канаметова И.К. Исследование смесей на основе кукурузного крахмала и полиэтилена // Новые полимерные композиционные материалы: матер. II Всеросс. науч.-практ. конф. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет, 2005. С. 266-273.
15. Patt R., Kordsachia O., Suttinger R., Ohtani Y., Hoesch J.F., Ehrler P., Eichinger R., Holik H., Hamm U., Rohmann M.E., Mummenhoff P., Petermann E., Miller R.F., Frank D., Wilken R., Baumgarten H.L., Rentrop G.-H. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH, 1995. Vol. A18. 773 p.

16. Plehn W. Vergleich der Umweltauswirkungen von Polyethylen- und Papiertragetaschen. Berlin: Umweltbundesamt, 1988. 50 s.

17. Биоразлагаемые полимеры // Сырье и упаковка. 2012. № 6 (132). URL: <https://cosmetic-industry.com/biorazlagaemye-polimery.html> (дата обращения: 28.05.2020).

18. Chaffee C., Yaros B.R. Final Report. Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags – Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper. Horsham: Boustead Consulting and Associates Ltd., 2007. 64 p.

19. Kaplan D.L. Biopolymers from Renewable Resources. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. 420 p. DOI: 10.1007/978-3-662-03680-8.

20. Steinbuchel A., Vandamme E.J., De Baets S. Biopolymers. Vol. 5: Polysaccharides I: Polysaccharides from Prokaryotes. Weinheim: Wiley-VCH, 2002. 524 p.

21. Орехов Д.А., Власова Г.М., Макаревич А.В., Пинчук Л.С. Биоразлагаемые пленки на основе термопластов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2000. Т. 44. № 6. С. 100-103.

22. Рыбкина С.П., Пахаренко В.А., Шостак Т.С., Пахаренко В.В. Основные направления в области создания биоразлагаемых термопластов // Пластические массы. 2008. № 10. С. 47-54.

23. Суворова А.И., Тюкова И.С. Биоразлагаемые системы: термодинамика, реологические свойства и биокоррозия // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2008. Т. 50. № 7. С. 1162-1171.

24. Штильман М.И. Биодegradация полимеров // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: биология. 2015. Т. 8. № 2. С. 113-130. DOI: 10.17516/1997-1389-2015-8-2-113-130.

25. Бокшицкий М.Н. Длительная прочность полимеров. М.: Химия, 1978. 309 с.

26. Мазитова А.К., Вихарева И.Н., Аминова Г.К., Тимофеев А.А., Буйлова Е.А., Дистанов Р.Ш. Исследование влияния количества добавок на

свойства эфиров адипиновой кислоты // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2019. Т. 11. № 4. С. 437-446. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-4-2019/437-446.pdf (дата обращения: 30.05.2020). DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-437-446.

27. Ермолович О.А., Макаревич А.В., Гончарова Е.П., Власова Г.М. Методы оценки биоразлагаемости полимерных материалов // Биотехнология. 2005. № 4. С. 47-54.

28. Мазитова А.К., Вихарева И.Н., Маскова А.Р., Гареева Н.Б., Шайхуллин И.Р. Исследование влияния добавок на биodeградацию ПВХ-материалов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2020. Т. 12. № 2. С. 94-99. URL: http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-2-2020/94-99.pdf (дата обращения: 30.05.2020). DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-94-99.

29. Vieira M.G.A., da Silva M.A., dos Santos L.O., Beppu M.M. Natural-Based Plasticizers and Biopolymer Films: A Review // European Polymer Journal. 2011. Vol. 47. Issue 3. P. 254-263. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.

References

1. *Energy Balances of OECD Countries 2009*. Paris, OECD Publishing, 2009. 354 p.

2. Fadina Yu.I. Analiz rossiiskogo rynka polimerov i dal'neishie puti ego razvitiya [Russian Polymer Market Survey and Tendencies for Its Further Development]. *Biznes-obrazovanie v ekonomike znanii – Business Education in the Knowledge Economy*, 2017, No. 1 (6), pp. 99-101. [in Russian].

3. Jakoby R. *Marketing and Sales in the Chemical Industry*. New York, Wiley-VCH, 2002. 177 p.

4. Kholden G., Krikhel'dorf Kh.R., Kuirk R.P. *Termoelastoplasty* [Thermoplastic Elastomers]. Saint-Petersburg, Professiya Publ., 2011. 717 p. [in Russian].

5. Mazitova A.K., Aminova G.K., Nafikova R.F., Deberdeev R.Ya. *Osnovnye polivinilkhlordnye kompozitsii stroitel'nogo naznacheniya* [Basic Polyvinyl Chloride Compositions for Construction Purposes]. Ufa, UGNTU Publ., 2013. 111 p. [in Russian].
6. Shiller M. *Dobavki k PVKh. Sostav, svoistva, primeneniye* [PVC Additives. Composition, Properties, Application]. Saint-Petersburg, Professiya Publ., 2017. 416 p. [in Russian].
7. *Okhrana okruzhayushchei sredy v Rossii. Statisticheskii sbornik* [Environmental Protection in Russia. Statistical Compilation]. Moscow, Rosstat Publ., 2018. 125 p. URL: https://www.gks.ru/free_doc/doc_2018/okhrana_2018.pdf (accessed 25.05.2020). [in Russian].
8. The Known Unknowns of Plastic Pollution. *The Economist*. 03.03.2018. Available at: <https://www.economist.com/international/2018/03/03/the-known-unknowns-of-plastic-pollution> (accessed 26.05.2020).
9. Hester R.E., Harrison R.M. *Marine Pollution and Human Health*. London, Royal Society of Chemistry, 2011. 182 p.
10. Chiellini F., Ferri M., Morelli A., Dipaola L., Latini G. Perspectives on Alternatives to Phthalate Plasticized Poly(vinyl chloride) in Medical Devices Applications. *Progress in Polymer Science*, 2013, Vol. 38, Issue 7, pp. 1067-1088. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.03.001.
11. Vieira M.G.A., Silva M.A.D., Santos L.O., Beppu M.M. Natural-Based Plasticizers and Biopolymer Films: A Review. *European Polymer Journal*, 2011, Vol. 47, Issue 3, pp. 254-263. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.
12. Vijayendran B.R., Benecke H., Elhard J.D., McGinniss V.D., Ferris K.F. *Environmentally Friendly Plasticizers for Polyvinyl Chloride (PVC)*. Dallas, Resins Antec, 2001. 604 p.
13. Shembel N.L., Chebotar A.M., Sagalaev G.V. *Napolniteli polimernykh materialov* [Fillers for Polymeric Materials]. Moscow, Znanie Publ., 1997. pp. 87-91. [in Russian].

14. Sherieva M.L., Shustov G.B., Shetov R.A., Beshtoev B.Z., Kanametova I.K. Issledovanie smesei na osnove kukuruznogo krakhmala i polietilena [Study of Mixtures Based on Corn Starch and Polyethylene]. *Materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Novye polimernye kompozitsionnye materialy»* [Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference «New Polymer Composite Materials»]. Nalchik, Kabardino-Balkarskii gosudarstvennyi universitet Publ., 2005, pp. 266-273. [in Russian].

15. Patt R., Kordsachia O., Suttinger R., Ohtani Y., Hoesch J.F., Ehrler P., Eichinger R., Holik H., Hamm U., Rohmann M.E., Mummenhoff P., Petermann E., Miller R.F., Frank D., Wilken R., Baumgarten H.L., Rentrop G.-H. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim, Wiley-VCH, 1995. Vol. A18. 773 p.

16. Plehn W. *Vergleich der Umweltauswirkungen von Polyethylen- und Papiertragetaschen*. Berlin, Umweltbundesamt Publ., 1988. 50 s.

17. Biorazlagaemye polimery [Biodegradable Polymers]. *Syr'e i upakovka – Raw Materials and Packaging*, 2012, No. 6 (132). Available at: <https://cosmetic-industry.com/biorazlagaemye-polimery.html> (accessed 28.05.2020). [in Russian].

18. Chaffee C., Yaros B.R. *Final Report. Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags – Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper*. Horsham, Boustead Consulting and Associates Ltd., 2007. 64 p.

19. Kaplan D.L. *Biopolymers from Renewable Resources*. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. 420 p. DOI: 10.1007/978-3-662-03680-8.

20. Steinbuchel A., Vandamme E.J., De Baets S. *Biopolymers. Vol. 5: Polysaccharides I: Polysaccharides from Prokaryotes*. Weinheim, Wiley-VCH, 2002. 524 p.

21. Orekhov D.A., Vlasova G.M., Makarevich A.V., Pinchuk L.S. Biorazlagaemye plenki na osnove termoplastov [Biodegradable Thermoplastic

Films]. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi – Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2000, Vol. 44, No. 6, pp. 100-103. [in Russian].

22. Rybkina S.P., Pakharenko V.A., Shostak T.S., Pakharenko V.V. Osnovnye napravleniya v oblasti sozdaniya biorazlagaemykh termoplastov [The Main Directions in the Field of Creating Biodegradable Thermoplastics]. *Plasticheskie massy – Plasticheskie Massy*, 2008, No. 10, pp. 47-54. [in Russian].

23. Suvorova A.I., Tyukova I.S. Biorazlagaemye sistemy: termodinamika, reologicheskie svoistva i biokorroziya [Biodegradable Systems: Thermodynamics, Rheological Properties and Biocorrosion]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A – Polymer Science. Series A*, 2008, Vol. 50, No. 7, pp. 1162-1171. [in Russian].

24. Shtilman M.I. Biodegradatsiya polimerov [Biodegradation of Polymers]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: biologiya – Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2015, Vol. 8, No. 2, pp. 113-130. DOI: 10.17516/1997-1389-2015-8-2-113-130. [in Russian].

25. Bokshitskii M.N. *Dlitel'naya prochnost' polimerov* [Long-Term Strength of Polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 309 p. [in Russian].

26. Mazitova A.K., Vikhareva I.N., Aminova G.K., Timofeev A.A., Builova E.A., Distanov R.Sh. Issledovanie vliyaniya kolichestva dobavok na svoistva efirov adipinovoi kisloty [Investigation of the Effect of the Amount of Additives on the Properties of Adipic Acid Esters]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyi internet-zhurnal – Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal*, 2019, Vol. 11, No. 4, pp. 437-446. URL: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-4-2019/437-446.pdf (accessed 30.05.2020). DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-437-446. [in Russian].

27. Ermolovich O.A., Makarevich A.V., Goncharova E.P., Vlasova G.M. Metody otsenki biorazlagaemosti polimernykh materialov [Methods for Analyzing of Biodegradability of Polymeric Materials]. *Biotekhnologiya – Biotechnology*, 2005, No. 4, pp. 47-54. [in Russian].

28. Mazitova A.K., Vikhareva I.N., Maskova A.R., Gareeva N.B., Shaikhullin I.R. Issledovanie vliyaniya dobavok na biodegradatsiyu PVKh-materialov [Study of the Effect of Additives on Biodegradation of PVC Materials]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyi internet-zhurnal – Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal*, 2020, Vol. 12, No. 2, pp. 94-99. URL: http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-2-2020/94-99.pdf (accessed 30.05.2020). DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-94-99. [in Russian].

29. Vieira M.G.A., da Silva M.A., dos Santos L.O., Beppu M.M. Natural-Based Plasticizers and Biopolymer Films: A Review. *European Polymer Journal*, 2011, Vol. 47, Issue 3, pp. 254-263. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.

Сведения об авторах

About the authors

Вихарева Ирина Николаевна, ассистент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Irina N. Vikhareva, Assistant of Applied and Natural Sciences Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: irina.vikhareva2009@yandex.ru

Аминова Гулия Карамовна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Guliya K. Aminova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Applied and Natural Sciences Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: aminovagk@inbox.ru

Буйлова Евгения Андреевна, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Evgeniya A. Builova, Candidate of Chemical Sciences, Associated Professor, Assistant Professor of Applied and Natural Sciences Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: evg-builova@yandex.ru

Бобылева Елена Юрьевна, старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Elena Yu. Bobyleva, Senior Lecturer of Roads and Construction Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ugntu_tsp@list.ru

Мазитова Алия Карамовна, д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aliya K. Mazitova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Applied and Natural Sciences Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: elenaasf@yandex.ru