

**О. О. Сазонов, И. Н. Закиров, А. Р. Костиков,
А. А. Низамов, Р. С. Давлетбаев**

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ЭТЕРИФИКАЦИИ ОРТО-ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ПОЛИЭТИЛЕНОКСИДОМ

Ключевые слова: реакция этерификации, ИК-спектроскопия, фосфорорганические разветвленные иономерные полиолы.

На основе полиизоцианата ароматической природы и фосфорорганических разветвленные иономерных полиолов (ФИП-ППО), полученных с использованием триэтанолamina (ТЭА), орто-фосфорной кислоты (ОФК) и полипропиленоксида (ППО) в качестве полиола были синтезированы полиуретаны (ФИП-ППО-ПУ). Была установлена каталитическая активность третичных аминов в реакции низкотемпературной этерификации орто-фосфорной кислоты и определена роль ассоциативных взаимодействий с участие третичных аминов и полипропиленоксида в каталитически активированной низкотемпературной этерификации орто-фосфорной кислоты. Полученные ФИП-ППО-ПУ были исследованы в качестве первапорационных мембран при разделении водно-спиртовых растворов. Для улучшения первапорационных характеристик ППО был заменён на полиэтиленоксид с ММ=400 (ПЭО). Оказалось, что ФИП-ПЭО-ПУ проявляют более высокие первапорационные характеристики в сравнении с ФИП-ППО-ПУ. В данной работе представлены результаты исследования активированной триэтанолaminом реакции этерификации орто-фосфорной кислоты полиэтиленоксидом при синтезе ФИП-ПЭО. Согласно данных ИК-спектроскопии, для ФИП-ПЭО высокоинтенсивные полосы фосфат-ионов орто-фосфорной кислоты при 880 и 960 см⁻¹ исчезают и возникают новые полосы при 950 и 1010 см⁻¹. На основе результатов титриметрического анализа была определена конверсия орто-фосфорной кислоты в зависимости от мольного избытка ОФК и ПЭО относительно триэтанолamina при различных температурных условиях. Для системы ТЭА – ОФК – ПЭО мольное соотношение изменялась в пределах [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:(8–20). Установлено, что увеличение мольной доли полиэтиленоксида относительно триэтанолamina при синтезе ФИП-ПЭО приводит к росту конверсии орто-фосфорной кислоты с 23 до 46%. С целью подтверждения каталитического воздействия третичных аминов на процессе этерификации ОФК полиэтиленоксидом, триэтанолamin был заменен на триэтиламин. Наблюдавшиеся в этом случае возрастание скорости реакции и конверсии орто-фосфорной кислоты до 49% свидетельствуют о непосредственном участии аминов в качестве катализаторов.

**O. O. Sazonov, I. N. Zakirov, A. R. Kostikov,
A. A. Nizamov, R. S. Davletbaev**

INVESTIGATION OF THE ETHERIFICATION REACTION OF ORTHOPHOSPHORIC ACID WITH POLYETHYLENE OXIDE

Keywords: etherification reaction, IR spectroscopy, organophosphorus branched ionomeric polyols.

Based on aromatic polyisocyanate and organophosphorus branched ionomeric polyols (PIP-PEO) obtained using triethanolamine (TEA), orthophosphoric acid (OPA) and hydrophobic polypropylene oxide (PPO), polyurethanes (PIP-PPO-PU) were synthesized as polyols. The catalytic activity of tertiary amines in the low-temperature etherification of ortho-phosphoric acid was established and the role of associative interactions with the participation of tertiary amines and polypropylene oxide in the catalytically activated low-temperature etherification of ortho-phosphoric acid was determined. The obtained PIP-PPO-PU were investigated as pervaporation membranes in the separation of aqueous-alcoholic solutions. To improve the first-generation characteristics, PPO was replaced with hydrophilic polyethylene oxide with MM=400 (PEO). It turned out that PIP-PEO-PU exhibit higher pervaporation characteristics in comparison with PIP-PPO-PU. This paper presents the results of a study of the reaction of etherification of orthophosphoric acid with polyethylene oxide activated by triethanolamine during the synthesis of PIP-PEO. According to IR spectroscopy data, for PIP-PEO, the high-intensity bands of phosphate ions of orthophosphoric acid disappear at 880 and 960 cm⁻¹ and new bands appear at 950 and 1010 cm⁻¹. Based on the results of titrimetric analysis, the conversion of orthophosphoric acid was determined depending on the molar excess of OPA and PEO relative to triethanolamine under various temperature conditions. For the TEA – OPA – PEO system, the molar ratio varied within [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:(8–20). It was found that an increase in the molar fraction of polyethylene oxide relative to triethanolamine during the synthesis of PIP-PEO leads to an increase in the conversion of orthophosphoric acid from 23 to 46%. In order to confirm the catalytic effect of tertiary amines on the OPA etherification process with polyethylene oxide, triethanolamine was replaced with triethylamine. The increase in the reaction rate and conversion of orthophosphoric acid to 49% observed in this case indicates the direct involvement of amines as catalysts.

Введение

В настоящее время полиуретаны (ПУ) являются полимерами, которые широко применяются в различных областях промышленности. Столь значительное распространение ПУ обусловлено большими возможностями управления их физическими и

химическими свойствами, достигаемые главным образом путем использования наиболее подходящих для конкретного применения различных полиолов и изоцианатов [1-5]. При этом настройка комплекса свойств ПУ в первую очередь реализуется путем варьирования длины цепи, молекулярной массы, функциональности полиольной составляющей, а также

включение в ее состав гетероатомов, например, фтора и фосфора [5-10].

Одним из активно развиваемых в последнее время способов достижения ценных свойств ПУ является использование при синтезе полиэфиров соединений, содержащих в своем составе ионные группы (ИГ). В этом случае ПУ, синтезированные на основе таких полиолов будут иметь иономерную природу, в основной цепи которых может быть заключено до 15 мол.% ИГ [11-12]. Причем даже относительно небольшое количество ИГ в ПУ может приводить к заметному росту термической стабильности, механической прочности, а также позволяет улучшить такие специальные свойства, как биосовместимость и диффузионные свойства [13-15]. Поэтому разработка новых способов синтеза полиэфирной составляющей, имеющей иономерную природу, для получения соответствующих ПУ с улучшенными характеристиками является актуальной задачей.

В наших работах [16-19] на основе полиизоцианата ароматической природы и фосфорорганических разветвленные иономерных полиолов (ФИП-ППО), полученных с использованием триэтанолamina (ТЭА), *орто*-фосфорной кислоты (ОФК) и полипропиленоксида (ППО) в качестве полиола были синтезированы полиуретаны (ФИП-ППО-ПУ). Была установлена каталитическая активность третичных аминов в реакции низкотемпературной этерификации *орто*-фосфорной кислоты и определена роль ассоциативных взаимодействий с участием третичных аминов и ППО в каталитически активированной низкотемпературной этерификации *орто*-фосфорной кислоты. Полученные ФИП-ППО-ПУ были исследованы в качестве перапорационных мембран при разделении водно-спиртовых растворов. Для улучшения перапорационных характеристик ППО был заменён на полиэтиленоксид с ММ=400 (ПЭО). Оказалось, что ФИП-ПЭО-ПУ проявляют более высокие перапорационные характеристики в сравнении с ФИП-ППО-ПУ.

В данной работе представлены результаты исследования активированной триэтанолaminом реакции этерификации ОФК полиэтиленоксидом при синтезе ФИП-ПЭО.

Экспериментальная часть

В качестве исходных компонентов для синтеза фосфорорганических полиолов были использованы: полиэтиленоксид (ПЭО) с ММ=400 производства "Нижнекамскнефтехим" (Нижнекамск, Россия); полипропиленоксид (ППО) с ММ=1000 компании Wanhua Chemical (Пекин, Китай); 85%-й водный раствор *орто*-фосфорной кислоты (ОФК) производства ООО «МКД-Кемикалс» (Москва, Россия); третичные амины - триэтанолamin (ТЭА) и триэтиламин (ТЭЛА) компании Ltd. "Компонент-реактив" (Москва, Россия).

Синтез фосфорорганических разветвленных иономерных полиолов (ФИП-(2-9)-ПЭО) проводили в одну стадию с использованием ТЭА, ОФК и ПЭО при мольных соотношениях [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:(2-9):(6-20). Для этого сначала рассчитанное количе-

ство ОФК в виде 85 % его раствора в воде и ПЭО помещали в круглодонную колбу. Далее с целью удаления воды данную смесь при непрерывном перемешивании и температуре 80 °С в течение 2-х часов выдерживали под вакуумом, при котором остаточное давление составляло не более 2,0 мм рт. ст. В последующем в систему вводили ТЭА и при том же уровне вакуума и температуре в течение 1-го часа проводили каталитическую реакцию этерификации ОФК. Полученный ФИП-ПЭО хранили в емкости с герметично закрываемой крышкой.

Для получения ИК-спектров продуктов взаимодействия был использован ИК-Фурье-спектрометр ИнфраЛЮМ ФТ-08 Санкт-Петербург, Россия) с помощью метода спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения при разрешении и количестве сканирований 4 см⁻¹ и 32 соответственно.

Массовую долю ОФК в продуктах синтеза определяли путем титриметрического анализа, при котором стандартным раствором выступал NaOH, а индикатором - фенолфталеин.

Обсуждение результатов

Об участии ОФК в реакции этерификации в системе ТЭА-ОФК-ПЭО свидетельствуют данные ИК-спектроскопии, представленные на рисунке 1. Видно, что полосы фосфат-ионов ОФК высокой интенсивности в области 880 и 960 см⁻¹ отсутствуют на спектрах продуктов взаимодействия, вместе с тем возникают новые полосы при 950 и 1010 см⁻¹. При этом почти полная вовлеченность в реакцию этерификации ОФК наблюдается на ИК-спектрах 3 и 4.

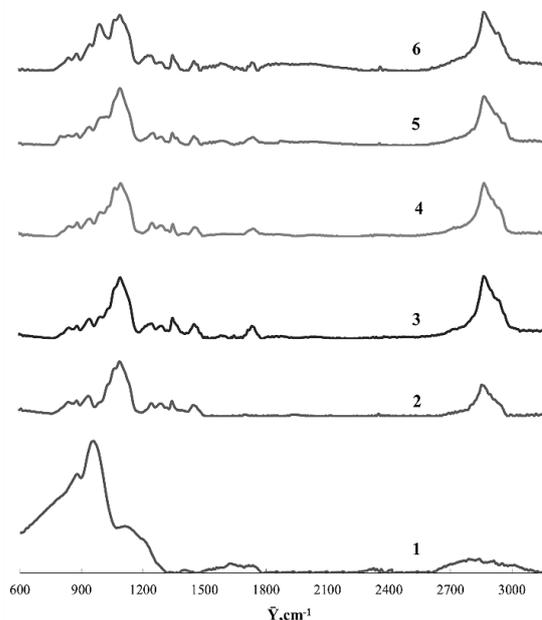


Рис. 1 – ИК-спектры ОФК (1), ПЭО (2), ФИП-3-ПЭО (3), ФИП-4-ПЭО (4), ФИП-5-ПЭО (5), ФИП-6-ПЭО (6)

Fig. 1 - IR spectra of OPA (1), PEO (2), PIP-3-PEO (3), PIP-4-PEO (4), PIP-5-PEO (5), PIP-6-PEO (6)

Последнее можно объяснить тем, что полоса 950 см⁻¹ на спектрах ОФК, которая практически не проявляется на спектрах у этих образцов,

соответствует колебаниям связи Р-О в составе Р-О-Н. В тоже время эта полоса возникает с небольшим смещением вправо у образца ФИП-6-ПЭО с максимальным содержанием ОФК, использованного в данной работе при синтезе полиолов.

Далее были определены конверсия ОФК при синтезе ФИП-ПЭО с различным мольным содержанием ОФК и ПЭО относительно ТЭА в системе [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]. Из рисунка 2 следует, что для двух составов с [ТЭА]:[ОФК]=1:3, которым соответствуют кривые 1 и 2, увеличение количества используемого при синтезе ПЭО повышает конверсию ОФК. При этом введение сравнительно большого количества ОФК в систему ТЭА – ОФК – ПЭО (кривая 3), наоборот, приводит снижению степени конверсии.

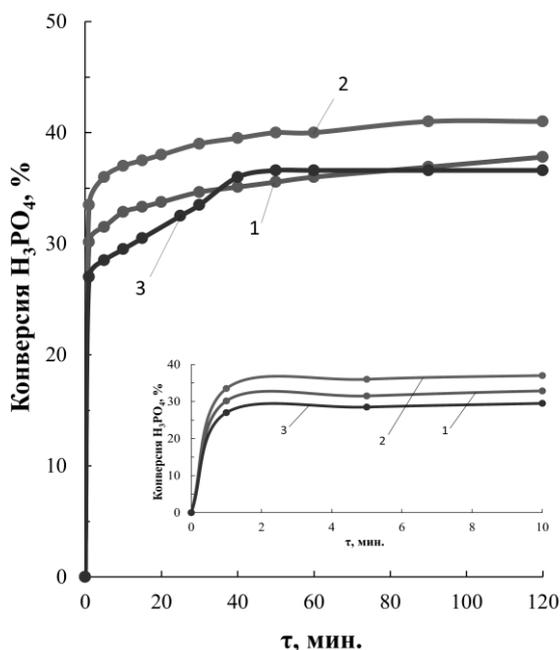


Рис. 2 – Зависимости степени конверсии ОФК от времени при 80°С для составов [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:3:3 (1), [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:3:6 (2), [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:6 (3)

Fig. 2 – Time dependences of OPA conversion rate at 80°С for the compositions [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:3:3 (1), [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:3:6 (2), [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:6 (3)

Из рисунка 3 видно, что в случае [ТЭА]:[ОФК]=1:5 и мольного избытка ПЭО в системе ТЭА – ОФК – ПЭО относительно ТЭА в диапазоне от 8 до 20 ведет к заметному увеличению конверсии ОФК с 23 до 46%.

С целью подтверждения участия в процессе этерификации ОФК полиэтиленоксидом третичных аминов как катализатора, использованный гидроксилсодержащий триэтанолмин был заменен на триэтиламин (ТЭЛА). В таком варианте синтез проводили при более низкой температуре (60 °С), чем в случае использования ТЭА. Из рассмотрения кривых 1 и 2 (рис.4) соответствующих составов следует, что при использовании ТЭЛА наблюдается

возрастание скорости реакции и конверсии, достигающей 49%. Обнаруженная закономерность свидетельствуют о непосредственном участии третичных аминов в роли катализаторов и подтверждает необходимость их применения для осуществления исследуемой реакции этерификации. При этом, включение 0,1 моль ППО в реакционную систему на основе [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:6, которой соответствует кривая 4 на рисунке 4, ведет к снижению конверсии ОФК до 30,5%, указывающее на то, что ППО не участвует в каталитический процессе в присутствии ПЭО.

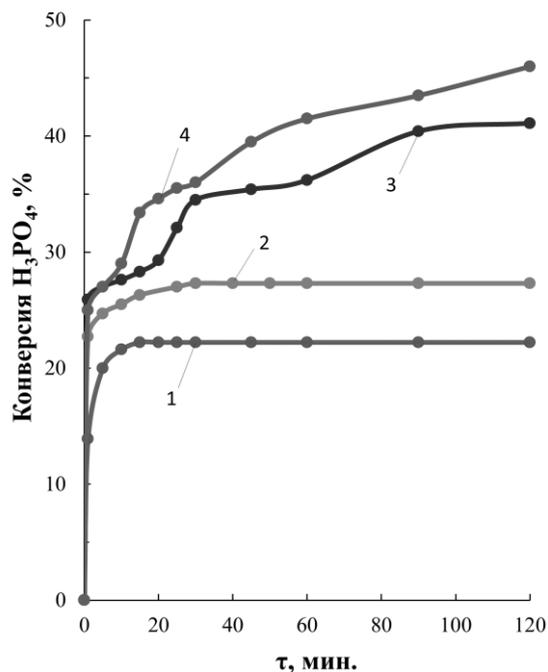


Рис. 3 – Зависимости степени конверсии ОФК от времени при 80°С для составов [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:8 (1), [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:10 (2), [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:15 (3), [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:20 (4)

Fig. 3 – Time dependences of OPA conversion rate at 80°С for the compositions [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:8 (1), [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:10 (2), [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:15 (3), [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:20 (4)

Для системы ТЭА–ОФК–ПЭО реакция идёт с более высокой скоростью, в сравнении с системой ТЭА–ОФК–ППО. Однако, при этом наблюдается заметное понижение конверсии ОФК [17]. Так, при мольных соотношениях [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:3:3, 1:3:6 и 1:5:6 конверсия ОФК уже на первой минуте реакции практически выходит на плато и составляет от 27 до 33,5%.

При увеличении в реакционной системе [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:(8–20) мольного избытка ПЭО относительно ТЭА ([ПЭО]:[ТЭА]) с 8 до 20 изменяется характер зависимости конверсии ОФК от мольного соотношения [ПЭО]:[ТЭА] (рис. 5). По мере возрастания доли ПЭО в мольном соотношении [ПЭО]:[ТЭА] с 6 до 8 конверсия ОФК падает с 36%

до 22%. Последующее повышение мольного избытка [ПЭО]:[ТЭА] с 8 до 20 конверсия ОФК возрастает до 46%.

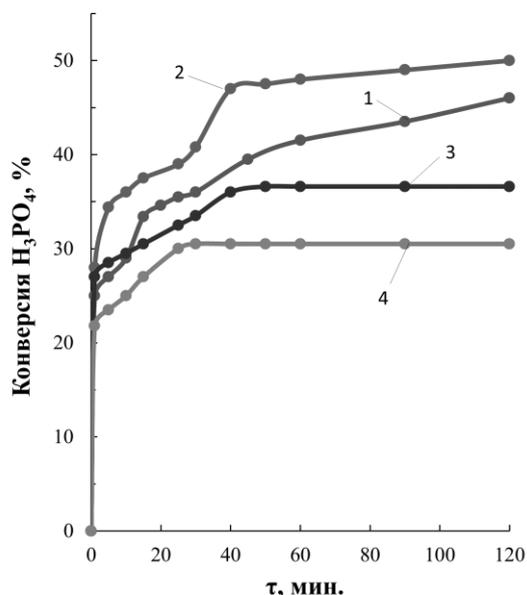


Рис. 4 – Зависимости степени конверсии ОФК от времени при 80°C для составов [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:20 (1), [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:15 (2), [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]=1:5:6 (3), [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО]:[ППО-1000]=1:5:6:0,1 (4)

Fig. 4 – Time dependences of OPA conversion rate at 80°C for the compositions [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:20 (1), [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:15 (2), [TEA]:[OPA]:[PEO]=1:5:6 (3), [TEA]:[OPA]:[PEO]:[PPO-1000]=1:5:6:0.1 (4)

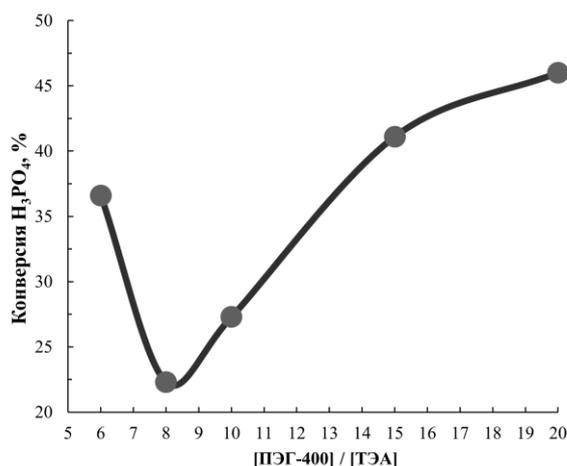


Рис. 5 – Зависимости степени конверсии ОФК при 80 °C от мольного соотношения [ПЭО]:[ТЭА] на конечной стадии взаимодействия в системе [ТЭА]:[ОФК]:[ПЭО] = 1:5:(8–20)

Fig. 5 – Dependences of the degree of conversion of OPA at 80 °C on the molar ratio of [PEO]:[TEA] at the final stage of interaction in the system [TEA]:[OPA]:[PEO] = 1:5:(8-20)

Полученные в ходе исследования результаты подтверждают возможность использования ПЭО взамен ППО, при которой точно так же осуществляется инициированная третичным амином низкотемпературная этерификация ОФК и при которой так же образуются фосфорорганические иономерные полиолы, выступающие как один из основных компонентов для синтеза соответствующих ПУ.

Выводы

Проведено исследование инициированной третичными аминами реакции этерификации ОФК полиэтиленоксидом. Было установлено, что для синтеза фосфорорганических полиолов иономерной природы может быть использован гидрофильный полиэтиленоксид взамен гидрофобного полипропиленоксида. На основе результатов титриметрического анализа была определена конверсия ОФК в зависимости от мольного избытка ОФК и ПЭО относительно ТЭА при различных температурных условиях. Установлено, что увеличение мольной доли ПЭО относительно ТЭА при синтезе ФИП-ПЭО приводит к росту конверсии ОФК с 23 до 46%. С целью подтверждения каталитического воздействия третичных аминов на процессе этерификации ОФК полиэтиленоксидом, триэтаноламин был заменен на триэтиламин. Наблюдавшиеся в этом случае возрастание скорости реакции и конверсии орто-фосфорной кислоты до 49% свидетельствуют о непосредственном участии аминов в качестве катализаторов.

Работа выполнена за счет предоставленного в 2024 году Академией наук Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан» или аналог на языке обнародования.

Литература

1. A. Das, P. Mahanwar, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, **3**, 93–101 (2020).
2. Y. Ahmadi, K.-H. Kim, M. Tabatabaei, *Energy Storage Mater*, **30**, 74–86 (2020).
3. H. Khatoun, S. Iqbal, S. Irfan, A. Darda, N.K. Rawat, *Progress in Organic Coatings*, **154**, 106124 (2021).
4. N. Gama, A. Ferreira, A. Barros-Timmons, *Materials*, **11**, 1841 (2018).
5. S. Tian, *Polymers*, **12**, 1996 (2020).
6. C. Wang, C. Mu, W. Li, H. Xiao, *Advances in Colloid and Interface Science*, **283**, 102235 (2020).
7. A.-H. Yang, C. Deng, H. Chen, Y.-X. Wei, Y.-Z. Wang, *Polymer Degradation and Stability*, **144**, 82 (2017).
8. F. Pierre, B. Commarieu, A. C. Tavares, J. Claverie, *Polymers*, **86**, 91–97 (2016).
9. D. Włodarczyk, M. Urban, M. Strankowski, *Physica Scripta*, **91**, 104003 (2016).
10. K. Namita, M.J. Girish, S.T. Mhaske, *Progress in Organic Coatings*, **176**, 107377 (2023).
11. P. Krol, *Journal of Materials Science*, **55**, 73–87 (2020).
12. P. Krol, *Progress in Materials Science*, **52**, 915–1015 (2007).
13. O. Jaudouin, J.J. Robin, J.M. Lopez-Cuesta, D. Perrin, C. Imbert, *Polymer International*, **61**, 495–510 (2012).

14. N.L. Tai, R. Adhikari, R. Shanks, P. Hakkey, B. Adhikari, *Carbohydrate Polymers*, **197**, 321–335 (2018)
15. T. Buruiana, A. Airinei, E.C. Buruiana, G. Robila, *European Polymer Journal*, **33**, 877–880 (1997).
16. I.M. Davletbaeva, O.O. Sazonov, I.N. Zakirov, A.M. Gumerov, A.V. Klinov, A.R. Fazlyev, A.V. Malygin, *Polymers*, **14**, 1442 (2021).
17. I.M. Davletbaeva, O.O. Sazonov, I.N. Zakirov, R.S. Davletbaev, S.V. Efimov, V.V. Klochkov, *Polymers*, **14**, 3295 (2022).
18. О.О. Сазонов, И.Н. Закиров, А.Р. Давлетбаева, И.М. Мухамадеев, И.М. Давлетбаева, *Вестник технологического университета*, **25 (10)**, 77-82 (2022).
19. О.О. Сазонов, И.Н. Закиров, Р.С. Давлетбаев, Н.М. Панов, И.М. Давлетбаева, *Вестник технологического университета*, **25 (10)**, 88-91 (2022).
7. A.-H. Yang, C. Deng, H. Chen, Y.-X. Wei, Y.-Z. Wang, *Polymer Degradation and Stability*, **144**, 82 (2017).
8. F. Pierre, B. Commarieu, A. C. Tavares, J. Claverie, *Polymers*, **86**, 91–97 (2016).
9. Włodarczyk, M. Urban, M. Strankowski, *Physica Scripta*, **91**, 104003 (2016).
10. K. Namita, M.J. Girish, S.T. Mhaske, *Progress in Organic Coatings*, **176**, 107377 (2023).
11. P. Krol, *Journal of Materials Science*, **55**, 73–87 (2020).
12. P. Krol, *Progress in Materials Science*, **52**, 915–1015 (2007).
13. O. Jaudouin, J.J. Robin, J.M. Lopez-Cuesta, D. Perrin, C. Imbert, *Polymer International*, **61**, 495–510 (2012).
14. N.L. Tai, R. Adhikari, R. Shanks, P. Hakkey, B. Adhikari, *Carbohydrate Polymers*, **197**, 321–335 (2018)
15. T. Buruiana, A. Airinei, E.C. Buruiana, G. Robila, *European Polymer Journal*, **33**, 877–880 (1997).
16. I.M. Davletbaeva, O.O. Sazonov, I.N. Zakirov, A.M. Gumerov, A.V. Klinov, A.R. Fazlyev, A.V. Malygin, *Polymers*, **14**, 1442 (2021).
17. I.M. Davletbaeva, O.O. Sazonov, I.N. Zakirov, R.S. Davletbaev, S.V. Efimov, V.V. Klochkov, *Polymers*, **14**, 3295 (2022).
18. O.O. Sazonov, I.N. Zakirov, A.R. Davletbaeva, I.M. Mukhamadeev, I.M. Davletbaeva, *Herald of Technological University*, **25 (10)**, 77-82 (2022).
19. O.O. Sazonov, I.N. Zakirov, R.S. Davletbaev, N.M. Panov, I.M. Davletbaeva, *Herald of Technological University*, **25 (10)**, 88-91 (2022).

References

1. Das, P. Mahanwar, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, **3**, 93–101 (2020).
2. Y. Ahmadi, K.-H. Kim, M. Tabatabaei, *Energy Storage Mater*, **30**, 74–86 (2020).
3. H. Khatoon, S. Iqbal, S. Irfan, A. Darda, N.K. Rawat, *Progress in Organic Coatings*, **154**, 106124 (2021).
4. N. Gama, A. Ferreira, A. Barros-Timmons, *Materials*, **11**, 1841 (2018).
5. S. Tian, *Polymers*, **12**, 1996 (2020).
6. Wang, C. Mu, W. Li, H. Xiao, *Advances in Colloid and Interface Science*, **283**, 102235 (2020).

© **О. О. Сазонов** – доцент кафедры Технологии Синтетического Каучука (ТСК), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, sazonov.oleg1995@yandex.ru; **И. Н. Закиров** – старший преподаватель кафедры ТСК КНИТУ, ZakirovIN96@yandex.ru; **А. Р. Костиков** – магистрант кафедры ТСК КНИТУ, nbvrf152@mail.ru; **А. А. Низамов** – доцент кафедры Материаловедение и технология материалов (МТМ), Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ), nizamov564@mail.ru; **Р. С. Давлетбаев** – заведующий кафедрой ИМТМ, КГЭУ, darus@rambler.ru;

© **O. O. Sazonov** – Associate professor of the department of Technology of Synthetic Rubber (TSR), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, sazonov.oleg1995@yandex.ru; **I. N. Zakirov** – Senior Lecturer of the TSR department, KNRTU, ZakirovIN96@yandex.ru; **A. R. Kostikov** – Master-student of the TSR department, KNRTU, nbvrf152@mail.ru; **A. A. Nizamov** – Associate Professor of the department of Material Science and Technology of Materials (MSTM), Kazan State Energy University (KSEU), nizamov564@mail.ru; **R. S. Davletbaev** – Head of the MSTM department, KSEU, darus@rambler.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 07.03.25.

Дата принятия рукописи в печать – 02.04.25.