

DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-94-100

**Бородулин А.С., Калинин А.Н., \*Терешков А.Г., Музыка С.С.**

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(Национальный исследовательский университет)

Межотраслевой инженеринговый центр «Композиты России»

Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, дом 5.

\*E-mail: atereshkov@emtc.ru

## ПОЛИЭФИРИМИДЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕПЛОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКИМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

**Аннотация.** Термопластичные и растворимые в органических растворителях полиэфиримиды представляют значительный интерес для создания тепло- и термостойких композиционных материалов, обладающих высокими физико-механическими свойствами. В последние десятилетия разработаны основные научные подходы к синтезу полиимидов со способностью к переработке из расплава и растворов в органических растворителях. Эта методология заключается в снижении температуры стеклования жесткоцепных полиимидов путем увеличения гибкости основной полимерной цепи и/или путем уменьшения межмолекулярного взаимодействия.

Эволюция тонкого органического синтеза является одним из приоритетных направлений развития химической технологии. Химия высокомолекулярных соединений является предметом исследования различных ученых, как в отечественном научном поле, так и за рубежом. Данный интерес обусловлен перспективами применения материалов для промышленных целей. Полиэфиримиды относятся к этой группе материалов и содержат в своей цепи различные ароматические, гетероциклические и циклоалифатические группировки и системы. В настоящей статье рассмотрены основные подходы к созданию таких полимеров с улучшенными, по сравнению с полиимидами, технологическими свойствами и перспективы их применения для производства наполненных композиционных материалов на их основе. В работе приводятся свойства рассматриваемых материалов, как обоснование для создания термостойких композиционных материалов.

**Ключевые слова:** полиимиды, полиэфиримиды, температура стеклования, полиамидокислота.

**Введение.** В настоящее время отечественная промышленность не располагает производством суперконструкционных полиэфирных материалов на основе полиэфиркетонов, полиэфирсульфонов, полиариленэфиркетонов, полиэфиримидов. Важность данных материалов обусловлена их широким применением в авиационной, космической и электронной технике, в связи с чем их приходится закупать за рубежом по ценам в десятки раз превышающим широко применяемые на сегодня конструкционные материалы [1, 2].

В настоящее время интенсифицировались работы по разработке отечественных технологий получения суперконструкционных полимеров [3–9]. Однако недостаточно внимания, с нашей точки зрения, уделяется таким материалам, как полиэфиримиды. В связи с этим является актуальной оценка мирового уровня технологий их синтеза и зависимости некоторых физико-механических характеристик получаемых материалов от строения и структуры полимерной молекулы.

**Методология.** В работе были изучены композиционные материалы на основе полиимидов: полимеры «LaRC-TPI» и «Augum», «Kapton» и «Uplex-RN», полиэфиримиды серии «Ultem», полиэфиримид «Augum», полиимидокетон

«LaRC-TPI» («NASA»), полиэфиримид «Uplex-RN», полиэфиримид «Kapton», полиимид «Uplex-S» («Ube Industries»).

**Основная часть.** Известно, что полиимиды представляют собой класс конструкционных полимеров с наиболее удачным сочетанием таких важных для практического применения свойств как высокие тепло- и термостойкость, прочность при разрыве и модуль упругости, хорошие диэлектрические свойства, высокую химическую и радиационную стойкость [10, 11, 12]. Однако, наряду с этими достоинствами полиимидам присущ такой важный недостаток, как плохие технологические свойства – из-за высокой жесткости цепи и сильных межмолекулярных взаимодействий их практически невозможно перерабатывать из расплава или раствора. Поэтому изделия из полиимидов изготавливают малопродуктивным способом горячего прессования или в две стадии, используя вначале раствор полиимидокислоты, а затем после испарения растворителя этот полимер циклизуют до полиимиды.

В последние десятилетия разработаны основные научные подходы к синтезу полиимидов со способностью к переработке из расплава и

растворов в органических растворителях. Эта методология заключается в снижении температуры стеклования ( $T_{ст}$ ) жесткоцепных полиимидов путем увеличения гибкости основной полимерной цепи и/или путем уменьшения межмолекулярного взаимодействия. Для этого используют следующие синтетические способы:

1. Введение в основную цепь полимеров химических групп с более высокой степенью свободы вращения, например,  $-O-$ ,  $-S-$ ,  $-SO_2-$ ,  $-CO-$ ,  $-C(CH_3)_2-$ ,  $-C(CF_3)_2$

2. Введение асимметричных структур в основную цепь с использованием мета- или орто-связей в ароматических группах.

3. Введение объемных (громоздких) групп, таких как  $-C_6H_5$ ,  $-CH_3$  и  $-CF_3$ , в основные ароматические кольца, что приводит к уменьшению межмолекулярной упаковки.

Для реализации вышеуказанных подходов необходимо специально синтезировать исходные вещества, и в этом плане наиболее удачным с практической точки зрения оказался синтез мономеров, содержащих простые эфирные группы  $-O-$  между ароматическими группировками [13]. В таблице 1 приведены для сравнения температуры стеклования и плавления полиимидов и полиэфиримидов, синтезированных с применением вышеуказанного способа синтеза.

Таблица 1

### Температуры стеклования и плавления полиимидов (ПИ) и полиэфиримидов (ПЭИ)

№	Марка ПИ или ПЭИ	$T_c$ , °C	$T_{пл}$ , °C
1	Uplex-S [14] а)	>500 ж)	–
2	Kapton [14-16] б)	360–410	–
3	Uplex-RN [17, 14, 18] в)	285	–
4	LaRC-TPI [19] г)	250–260	330–350
5	Aurum [20, 21] д)	250	388
6	Ultem [11, 12, 21] е)	217	–

где: а, б, в, г, д описание полимеров см. в тексте; ж) – температура стеклования выше, чем температура разложения полимера.

Полиимид «Uplex-S» («Ube Industries») имеет следующую структуру элементарного звена [14]:

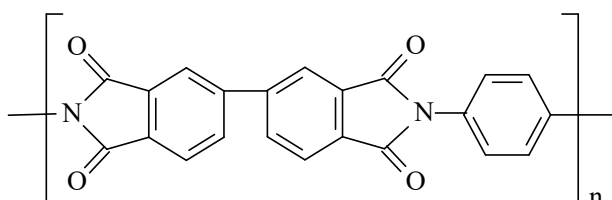


Рис. 1 Структура элементарного звена «Uplex-S»

Полиэфиримид «Kapton», получают из диангида пиромеллитовой кислоты и диаминодифенилоксида [15, 16]. Структура полимера оказалась жесткой, так как он содержит одну мостиковую эфирную связь в повторяющемся элементарном звене, поэтому такой полимер не растворяется в органических растворителях и не перерабатывается из расплава. Его перерабатывают только на стадии образования полиамидокислоты путем пропитки тканей или полива пленок из реакционного раствора в N-метилпирролидоне или диметилацетамиде с последующей циклизацией при ступенчатом нагреве от 200 до 270 °C. Уравнение реакции приведено ниже:

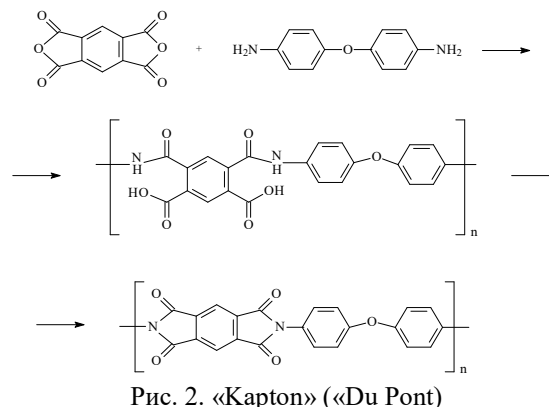


Рис. 2. «Kapton» («Du Pont»)

Полиэфиримид «Uplex-RN» со структурой повторяющегося звена [17, 18]:

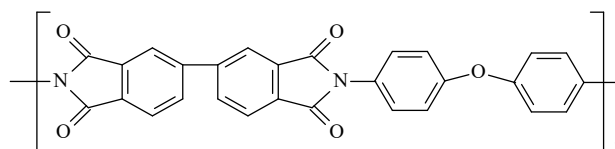


Рис. 3 «Uplex-RN» (Ube Industries)

Также, как и «Kapton» имеет недостаточную гибкость цепи и перерабатывается через растворы полиамидокислоты.

Полиимидокетон «LaRC-TPI» («NASA») имеет следующую структуру элементарного звена [19]:

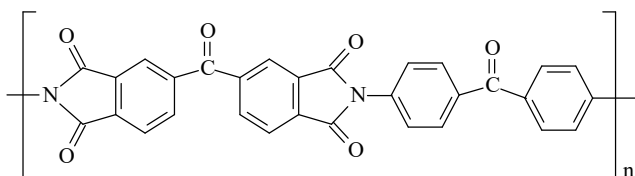


Рис. 4. Полиимидокетон «LaRC-TPI» («NASA»)

Этот полимер, благодаря наличию двух шарнирных групп (C=O) в повторяющемся элементарном звене, размягчается и может перерабатываться через расплав под высоким давлением. Его рекомендуют в качестве формовочного порошка, композитной матричной смолы, высокотемпературной пленки и волокна.

Термопластичный и органорастворимый полиэфиримид марки «Augum» получают из диангида пиромеллитовой кислоты и диамина с дифенильной и двумя простыми эфирными группами [20]:

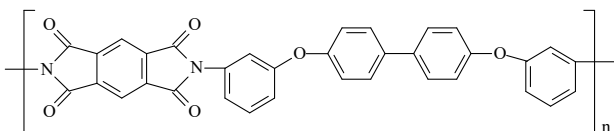


Рис. 5. «Augum» («Mitsui Chemicals»)

Полиэфиримид «Augum» впервые был разработан фирмой «DuPont» и в настоящее время производится фирмой «Mitsui Chemicals». Температура стеклования этого полимера составляет 250 °С, температура плавления кристаллической фазы 388 °С. Максимальная температура эксплуатации изделий на его основе может составить около 240 °С. Так как скорость кристаллизации этого полимера низкая, то его можно перерабатывать обычными методами литья под давлением и экструзии. Для полимера характерны: высокая термическая устойчивость, низкий коэффициент трения, высокая устойчивость к плазме, радиационная стойкость, высокие диэлектрические свойства, превосходная стабильность размеров (лучше, чем у РЕЕК и алюминия), хорошее сохранение модуля упругости при повышенных температурах, низкая ползучесть.

Полимер марки «Augum PL450С» применяют для производства теплостойкой изоляции проводов, кабелей высокого напряжения, трубопроводов и волокон. Литые изделия из него или его стеклонаполненные марки могут заменять детали из металлов, керамики и других более дорогих пластмасс. Например, из него изготавливают жаростойкие шестерни, уплотнения, втулки, крепежные детали, катушки, электрические изоляторы, основы полупроводниковых плат, детали реактивных двигателей, шарики обратных клапанов, шлицевые муфты, лопасти, износостойкие полосы, седла клапанов, носители

для алюминиевых жестких дисков и кремниевых пластин, подшипники скольжения, фиксаторы подшипников и т.п. [21].

Полиэфиримиды серии «Ultem» были разработаны подразделением «General Electric's Plastics Division». После того, как «SABIC» приобрела «Plastics Division GE» в 2007 году марка «Ultem» стала собственностью крупнейшей компании Саудовской Аравии.

«Ultem 1000» имеет следующую структурную формулу:

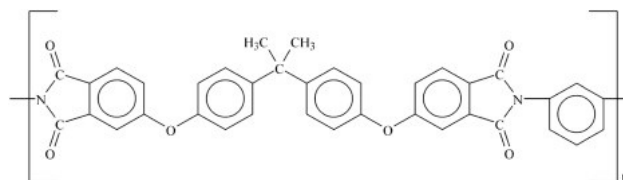


Рис. 6. «Ultem 1000»

Благодаря наличию в элементарном звене сразу трех шарнирных групп, этот полимер легко перерабатывается из расплава и растворов в органических растворителях. Это прочный термопласт с высокой тепло- и термостойкостью, хорошими механическими, диэлектрическими свойствами и огнестойкостью. Материал является более доступной альтернативой полиэфирэфиркетону, но имеет более низкую ударную вязкость и температуру эксплуатации. Благодаря ценному комплексу свойств марка «Ultem 9085» нашла применение в технологии трехмерной 3D-печати.

«Ultem 1000» имеет температуру длительного использования до +170 °С. Он огнестоек без антипиренов, имеет низкое дымовыделение при контакте с открытым пламенем, что делает возможным применение этого материала в пассажирском воздушном сообщении. Основные характеристики «Ultem-1000»: очень высокая прочность, высокая жесткость и твердость, высокая устойчивость к деформации, отличное сопротивление ползучести, превосходная термостойкость расплава, низкий коэффициент теплового расширения, высокая стойкость к химикатам, высокая погодоустойчивость, стойкость к  $\gamma$ -лучам и гидролизу, очень высокая прочность при кручении, допускается для контакта с пищевыми продуктами. Основным недостатком является не очень хорошая стойкость к трещинообразованию, за счёт внутренних напряжений.

Изделия из «Ultem 1000», применяемые в машиностроении и станкостроении: втулки переключения суппорта, зубчатые колеса распределителя, венцы червячных редукторов РЧ-32, РЧ-37, точные гайки поперечных суппортов, подвижные направляющие, шестерни коробки скоростей, червячные колеса редуктора привода, втулки,

вкладыши в узлах трения (салазки, бабки, ползуны и т.п.), вкладыши шпинделя, салазки, втулки, шестерни, подшипники скольжения, звездочки 7-ми, 12-ти, 14-ти лучевые.

Для химической промышленности из «Ultem 1000» изготавливают такие изделия как: насосы (лопасти, крыльчатки, зубчатые колеса, подшипники скольжения и качения, манжеты сальников, корпуса роторов); фильтры (колеса и ступицы); сетчатые столы; дозаторы, сепараторы (вкладыши узлов трения, корпуса).

Переработка «Ultem 1000» возможна всеми стандартными методами в зависимости от дальнейших целей. Чаще всего его используют для литья тонкостенных изделий, так как он относится к суперконструкционным материалам.

Как видно из таблицы 1, в полимерах «LaRC-TP1» и «Augum» наблюдаются температуры плавления хорошо упорядоченных областей, но у других полиимидов они не наблюдаются. «Karton» и «Upilex-RN» имеют менее упорядоченную агрегатную структуру, которая отличается от кристаллической фазы, но все же делает эти материалы не термопластичными из-за их повышенной жесткости цепи и сильного межмолекулярного взаимодействия [21]. В отличие от этого, полиэфиримид «Ultem» полностью аморфен и имеет хорошую перерабатываемость из расплава или растворов.

Учитывая выше изложенное, нами были разработаны рецептуры сополиэфиримидов на основе диангирида бензофенонтетракарбоновой кислоты, диангирида пиромеллитовой кислоты, 4,4'-диаминодифенилоксида и смеси изомеров фенилендиамина. Полученные сополиимиды охарактеризованы данными ИК-спектороскопии, элементного анализа, гель-проникающей хроматографии, дифференциальной сканирующей калориметрии и динамического механического анализа. Найдено, что зациклизованные сополиэфиримиды оптимального состава имеют температуру стеклования от 200 до 240 °С, размягчаются выше этой температуры и могут перерабатываться из расплава. Кроме того, все они растворяются в диполярных апротонных растворителях, а некоторые из них и в хлорированных углеводородах.

**Выводы.** Таким образом, осуществлена разработка лабораторной технологии получения высокомолекулярных сополиэфиримидов на основе диангирида бензофенонтетракарбоновой кислоты, диангирида пиромеллитовой кислоты, 4,4'-диаминодифенилоксида и смеси изомеров фенилендиамина с температурой стеклования от 200 до 240 °С способных к переработке из расплава и растворов в доступных органических растворителях. Синтезированные сополиэфир-

имиды перспективны для создания высокомолекулярных дисперсно армированных стекловолоконном или углеволоконном литевых и экструзионных композитов, а также активно разрабатываемых в последнее время высоко теплостойких термопластичных препрегов на основе углетканей. Последние представляют особый практический интерес, так как позволяют получать различные конструкционные изделия с помощью доступного метода температурного формования под давлением или вакуумом.

*Источник финансирования.* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках реализации научного проекта № 18-29-18035 (договор №18-29-18035/18).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нелюб В.А. Углепластики с функциональными свойствами на основе металлизированных углеродных лент // Сборник тезисов докладов VII научной молодежной школы-конференции. М.: 2019. 304 с.
2. Нелюб В.А., Берлин А.А. Электрические свойства углепластиков и способы их регулирования // Химическая промышленность сегодня, 2019. № 1. С. 38–43.
3. Патент РФ № 2653058. Нелюб В.А., Бородулин А.С., Калинин А.Н. и др. Огнестойкий ароматический полиэфирсульфон. 2017.
4. Бородулин А.С., Калинин А.Н. и др. Патент РФ № 2683268. Ароматические полиэфир. 2019.
5. Бородулин А.С., Калинин А.Н. и др. Патент РФ № 2683270. Огнестойкий ароматический полиэфир. 2019.
6. Borodulin A.S., Kalinnikov A.N., Bazheva R. C. at all. Receipt and investigation of performance characteristics of super constructions polyesters. - International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Vol. 9 (13). Pp. 1117–1127.
7. Borodulin A.S., Kalinnikov A.N., Bazheva R.C. at all. Synthesis and properties of aromatic polyethersul-fones//International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). 2018. Vol. 9 (13). Pp. 1109–1116.
8. Borodulin A.S., Kalinnikov A.N., Kharaev A.M. at all. New Polymeric Binders for the Production of Composit // International Conference on Modern Trends in Man-ufacturing Technologies and Equipment 2018. International Journal of Materials today: proceedings. 2019. Vol. 11. Issue P1. Pp. 3107–3111.
9. Нелюб В.А., Бородулин А.С. и др. Полиэфирсульфоны с улучшенными теплофизическими свойствами // Клеи, герметики, технологии. 2018. № 7. С. 15–20.

10. Бессонов М.И., Котон М.М., Кудрявцев В.В., Лайус Л.А. Полиимиды – класс термостойких полимеров. Л.: Наука, 1983. 328 с.
11. Johnson R.O., Burlhis H.S. Polyetherimide: a new high-performance thermoplastic resin//J. Polym. Sci.: Polym Symp. 1983. Vol. 70. Pp. 129–143.
12. Parker D., Vussink J., Grampel H.T., Wheatley G.W., Dorf E.U., Ostlinning E., Reinking K., Schubert F., Junger O. Polymers, high-temperature. In: Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Wiley//Weinheim, 2012.
13. Saudi Basic Industries Corporation. URL://www.sabic-ip.com/gep/Plastics/en/ProductsAndServices/ProductLine/ul-tem.html,http://www.sabic-ip.com/gepapp/eng/weather/weatherhtml?sltRegion-List=1002002000%26sltPrd=1002003018%26slt-Grd=1002011252%26sltUnit=0%26sltModule=DATASHEETS%26sltVersion=Internet%26sltType=Online
14. Salamone J.C. (1996) Polymeric materials encyclopedia, vol 8. CRC Press, Boca Raton, 2018
15. DuPont//URL:http://www2.dupont.com/Kapton/en\_US/URL assets/downloads/pdf/HN\_datasheet.pdf
16. Takekoshi T. Chapter 2: Synthesis of polyimides. In: Ghosh M.K., Mittal K.L. (eds) Polyimides: fundamentals and applications, plastic engineering // Marcel Dekker, Inc., New York. 1996. Pp. 7–48.
17. Polyimide products which has developed by Ube Industries, Ltd.//Ube Industries//URL://www.upilex.jp/e\_index.html
18. Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials//URL: Ube Industries. http://www.ube.es/archivos/pdfs/UpilexRN-566.pdf
19. Hou T.H., Bai J.M. (1990) LaRC-TPI 1500 series polymers. NASA contractor report 181899//Mitsui Chemicals//URL: www.mitsuichem.com/service/functional\_polymeric/compound/aurum/DuPont. http://www2.dupont.com/Vespel/en\_US/assets/downloads/aurum/pl450c.pdf
20. McKeen L.W. Ch. 4.1.8. Polyetherimide. In: Fluorinated Coatings and Finishes Handbook //2016, 112 p.
21. Isoda S., Shimada H., Kochi M., Kambe H. Molecular aggregation of solid aromatic polymers. I. Small-angle X-ray scattering from aromatic polyimide film. J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed. 1981. Vol. 19. Pp. 1293–1312.

#### *Информация об авторах*

**Бородулин Алексей Сергеевич**, кандидат технических наук, заместитель директора МИЦ КР МГТУ им. Баумана. E-mail: asb@emtc.ru. Межотраслевой инжиниринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, дом 5.

**Калинников Александр Николаевич**, заместитель директора МИЦ КР МГТУ им. Баумана. E-mail: alexandr.kalinnikov@emtc.ru. Межотраслевой инжиниринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, дом 5.

**Терешков Александр Геннадьевич**, ведущий инженер-конструктор МИЦ КР МГТУ им. Баумана. E-mail: atereshkov@emtc.ru. Межотраслевой инжиниринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, дом 5.

**Музыка Сергей Сергеевич**, руководитель договорного отдела МИЦ КР МГТУ им. Баумана. E-mail: mss@emtc.ru. Межотраслевой инжиниринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, дом 5.

---

*Поступила в сентябре 2019 г.*

© Бородулин А.С., Калинников А.Н., Терешков А.Г., Музыка С.С., 2019

**Borodulin A.S., Kalinnikov A.N., \*Tereshkov A.G., Muzyka S.S.**

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)

Intersectoral engineering center «Composites of Russia MSTU N.E. Bauman»

Russia, 105005, Moscow, 2nd Bauman, 5

\*E-mail: atereshkov@emtc.ru

## POLYETHERIMIDE FOR CREATION OF HEAT-RESISTANT POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS WITH HIGH PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

**Abstract.** Thermoplastic and soluble in organic solvents polyetherimide is of great interest for the creation of heat-resistant composite materials with high physical and mechanical properties. In recent decades, the main scientific approaches to the synthesis of polyimides with the ability to process from melt and solutions in organic solvents have been developed. According to this methodology, the glass transition temperature of rigid-chain polyimides is reduced by increasing the flexibility of the main polymer chain and/or by reducing the intermolecular interaction.

Evolution of fine organic synthesis is one of the priority directions of development of chemical technology. Chemistry of high-molecular compounds is the subject of research by various domestic and foreign scientists. This interest is due to the prospects for the use of materials for industrial purposes. The polyetherimide contains various aromatic, heterocyclic and cycloaliphatic groups and systems in its chain. This article describes the main approaches to the creation of polymers with improved, compared with polyimides, technological properties and prospects for their application in the production of filled composite materials based on them. The paper presents the properties of the materials under consideration as a justification for the creation of heat-resistant composite materials.

**Key words:** polyimides, and polyetherimide, glass transition temperature.

### REFERENCES

1. Nelyub V.A. CFRPs with functional properties based on metallized carbon tapes [Ugleplastiki s funkcional'nymi svojstvami na osnove metallizirovannyh uglerodnyh lent]. Abstracts of reports of VII scientific youth school-conference. M.: 2019. 304 p. (rus)
2. Nelyub V.A., Berlin A.A. Electrical properties of carbon plastics and methods for their regulation [Jelektricheskie svojstva ugleplastikov i sposoby ih regulirovaniya] Chemical industry today. 2019. No. 1. Pp. 38–43. (rus)
3. RF patent No. 2653058. Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kalinnikov A.N. and other Flame retardant aromatic polyethersulfone. 2017. (rus)
4. Borodulin A.S., Kalinnikov A.N. and other RF Patent No. 2683268. Aromatic polyesters. 2019. (rus)
5. Borodulin A.S., Kalinnikov A.N. and other RF Patent No. 2683270. Fire-resistant aromatic polyester. 2019. (rus)
6. Borodulin A. S., Kalinnikov A. N., Bazheva R. C. at all. Receipt and investigation of performance characteristics of super constructions polyesters. - International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Vol. 9 (13). Pp. 1117–1127.
7. Borodulin A.S., Kalinnikov A. N., Bazheva R. C. at all. Synthesis and properties of aromatic polyethersulfones. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). 2018. Vol. 9 (13). Pp. 1109–1116.
8. Borodulin A.S., Kalinnikov A.N., Kharaev A.M. [et all] New Polymeric Binders for the Production of Composi. International Conference on Modern Trends in Man-ufacturing Technologies and Equipment 2018. International Journal of Materials today: proceedings. 2019. Vol. 11. Issue P1. Pp. 3107–3111.
9. Nelyub V.A., Borodulin A.S. [et all] Polyethersulfones with improved thermophysical properties. [Polijefirsul'fony s uluchshennymi teplofizichesimi svojstvami] M.: Publishing House of Science and Technology LLC, Journal of Adhesives, Sealants, Technologies. 2018. No. 7. Pp. 15–20.
10. Bessonov M.I., Koton M.M., Kudryavtsev V.V., Laius L.A. Polyimides – a class of heat-resistant polymers. [Poliimidy – klass termostojkih polimerov]. L.: Nauka, 1983. 328 p.
11. Johnson R.O., Burlhis H.S. Polyetherimide: a new high-performance thermoplastic resin//J. Polym. Sci.: Polym Symp. 1983. Vol. 70. Pp. 129–143.
12. Parker D., Vussink J., Grampel H.T., Wheatley G.W., Dorf E.U., Ostlinning E., Reinking K., Schubert F., Junger O. Polymers, high-temperature. In: Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry.-Wiley//Weinheim, 2012.
13. Saudi Basic Industries Corporation. URL://www.sabic-ip.com/gep/Plastics/en/ProductsAndServices/ProductLine/ul-tem.html,http://www.sabic-ip.com/ge-papp/eng/weather/ weatherhtml?sltRegion-List=1002002000%26sltPrd=1002003018%26slt-

Grd=1002011252%26sltUnit=0%26sltModule=DATASHEETS%26sltVersion=Internet%26sltType=Online

14. Salamone J.C. (1996) Polymeric materials encyclopedia, vol 8. CRC Press, Boca Raton, 2018

15. DuPont//URL:[http://www2.dupont.com/Kahton/en\\_US/URL\\_assets/downloads/pdf/HN\\_datasheet.pdf](http://www2.dupont.com/Kahton/en_US/URL_assets/downloads/pdf/HN_datasheet.pdf)

16. Takekoshi T. Chapter 2: Synthesis of polyimides. In: Ghosh M.K., Mittal K.L. (eds) Polyimides: fundamentals and applications, plastic engineering//Marcel Dekker, Inc., New York, 1996. Pp. 7–48.

17. Polyimide products which has developed by Ube Industries, Ltd.//Ube Industries//URL:[http://www.upilex.jp/e\\_index.html](http://www.upilex.jp/e_index.html)

18. Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials//URL: Ube Industries. <http://www.ube.es/archivos/pdfs/UpilexRN-566.pdf>

19. Hou T.H., Bai J.M. (1990) LaRC-TPI 1500 series polymers. NASA contractor report 181899//Mitsui Chemicals//URL: [www.mitsui-chem.com/service/functional\\_polymeric/compound/aurum/DuPont](http://www.mitsui-chem.com/service/functional_polymeric/compound/aurum/DuPont). [http://www2.dupont.com/Vespel/en\\_US/assets/downloads/aurum/pl450c.pdf](http://www2.dupont.com/Vespel/en_US/assets/downloads/aurum/pl450c.pdf)

20. McKeen L.W. Ch. 4.1.8. Polyetherimide. In: Fluorinated Coatings and Finishes Handbook. 2016, 112 p.

21. Isoda S., Shimada H., Kochi M., Kambe H. (1981) Molecular aggregation of solid aromatic polymers. I. Small-angle X-ray scattering from aromatic polyimide film. J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed. 1981. Vol. 19. Pp. 1293–1312.

#### *Information about the authors*

**Borodulin, Alexey S.** PhD. E-mail: [asb@emtc.ru](mailto:asb@emtc.ru). Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University), Intersectoral engineering center «Composites of Russia MSTU N.E. Bauman». Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya, 5.

**Kalinnikov, Alexander N.** Deputy Director. E-mail: [alexandr.kalinnikov@emtc.ru](mailto:alexandr.kalinnikov@emtc.ru). Intersectoral engineering center "Composites Russia" MGTU im. N. E. Bauman. Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya, 5.

**Terechkov, Alexander G.** Leading Engineer-designer. Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University), Intersectoral engineering center «Composites of Russia MSTU N.E. Bauman». Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya, 5.

**Muzyka, Sergey S.** Head of Contract Department. Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University), Intersectoral engineering center «Composites of Russia MSTU N.E. Bauman». Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya, 5.

---

*Received in September 2019*

#### **Для цитирования:**

Бородулин А.С., Калинин А.Н., Терешков А.Г., Музыка С.С. Полиэфиримиды для создания теплоустойчивых полимерных композиционных материалов с высокими физико-механическими свойствами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 94–100. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-94-100

#### **For citation:**

Borodulin A.S., Kalinnikov A.N., Tereshkov A.G., Muzyka S.S. Polyetherimide for creation of heat-resistant polymeric composite materials with high physical and mechanical properties. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 11. Pp. 94–100. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-94-100