

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ СИЛИЛИРОВАННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Ю.Т. Панов, Е.В. Ермолаева, Л.А. Чижова

Юрий Терентьевич Панов (ORCID 0000-0002-9938-8230), Елена Вадимовна Ермолаева*, Лариса Анатольевна Чижова

Кафедра химических технологий, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, ул. Горького, 87, Владимир, Российская Федерация, 600000

E-mail: tpp_vlgu@mail.ru, ermolaeva_ev@inbox.ru *, lar-chizhova@mail.ru

В работе представлены результаты исследований по изучению комплекса технологических свойств (скорость отверждения и вязкость герметика) и эксплуатационных свойств (прочность, относительное удлинение при разрыве, твердость, адгезия к различным поверхностям) одноупаковочных (однокомпонентных) герметиков на основе силилированных (силан-функциональных) полиуретанов в присутствии различных наполнителей. Показана возможность широкого варьирования свойств получаемых герметиков. При отсутствии литературных данных о влиянии наполнителей на свойства силилированных герметиков проведены исследования влияния состава композиции на технологические и эксплуатационные свойства герметиков. В качестве наполнителей использовались карбонат кальция, тальк, диоксид титана, порошок алюминия, хризотилловый асбест. Установлено, что введение порошка алюминия позволяет получить композиции с низкой вязкостью (до 0,4 МПа·с) и высоким относительным удлинением при разрыве (до 220%). Композиции, наполненные асбестом, имеют высокую прочность при разрыве (4,9 МПа) и самое низкое относительное удлинение при разрыве (менее 40%). Методом термогравиметрического анализа изучена потеря массы наполненных образцов. Наибольший эффект без потери физико-механических характеристик показало наполнение диоксидом титана, тальком и порошком алюминия. Потеря массы образцов при скорости нагрева 5 град/мин при температуре 200 °С составила менее 1,3%, таким образом введение наполнителей позволяет повысить термоокислительную стойкость герметиков. Исследованы адгезионные свойства композиций при нанесении герметиков на поверхности из стали, поликарбоната, винилпласта, шифера. Выявленные закономерности позволяют целенаправленно разрабатывать герметики на основе силан-функциональных полимеров с необходимым комплексом свойств в соответствии с требованиями заказчика.

Ключевые слова: герметик, силан-функциональный полимер, технологические и эксплуатационные свойства, термостойкость

EFFECT OF FILLERS ON THE CHARACTERISTICS OF SINGLE-COMPONENT SEALANTS BASED ON SILYLATED POLYURETHANES

Yu.T. Panov, E.V. Ermolaeva, L.A. Chizhova

Yuri T. Panov (ORCID 0000-0002-9938-8230), Elena V. Ermolaeva *, Larisa A. Chizhova

Department of Chemical Engineering, Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovy, Gorky st., 87, Vladimir, 600000 Russia

E-mail: tpp_vlgu@mail.ru, ermolaeva_ev@inbox.ru *, lar-chizhova@mail.ru

The work presents the results of studies of the complex of technological properties (curing rate and viscosity of the sealant) and performance properties (strength, breaking elongation, hardness, adhesion to various surfaces) of single-pack (single-component) sealants based on silylated (silane-functional) polyurethanes in the presence of various fillers. The possibility of wide variation of properties of the resulting sealants is shown. In the absence of literature data on the influence

of fillers on the properties of silylated sealants, studies were carried out on the effect of the composition on the technological and performance properties of sealants. As fillers, calcium carbonate, talc, titanium dioxide, aluminum powder, chrysotile asbestos were used. It is established that the addition of aluminum powder enables to obtain compositions with low viscosity (up to 0.4 MPa·s) and high breaking elongation (up to 220%). Asbestos-filled compositions have high breaking strength (4.9 MPa) and lowest breaking elongation (less than 40%). The mass loss of the filled samples was studied by thermogravimetric analysis. The greatest effect without loss of physical and mechanical characteristics was shown by filling with titanium dioxide, talc and aluminum powder. The weight loss of the samples at a heating rate of 5 deg/min at a temperature of 200 °C was less than 1.3%, so the introduction of fillers increases the thermal-oxidative resistance of the sealants. The adhesion properties of the compositions were investigated when sealants were applied to surfaces made of steel, polycarbonate, viniplast, slate. The revealed regularities allow us to purposefully develop sealants based on silane-functional polymers with the necessary set of properties in accordance with the customer's requirements.

Key words: single-pack (single-component) sealantst, silylated (silane-functional) polymer, technological and performance properties, heat resistance

Для цитирования:

Панов Ю.Т., Ермолаева Е.В., Чижова Л.А. Влияние наполнителей на свойства однокомпонентных герметиков на основе силилированных полиуретанов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2023. Т. 66. Вып. 9. С. 110–115. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6804.

For citation:

Panov Yu.T., Ermolaeva E.V., Chizhova L.A. Effect of fillers on the characteristics of single-component sealants based on silylated polyurethanes. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 9. P. 110–115. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6804.

ВВЕДЕНИЕ

Получение герметизирующих материалов холодного отверждения, позволяющих получать в отвержденном состоянии бесшовные герметичные покрытия, весьма актуально [1]. Современные герметики, более 90% которых используются в строительстве, подразделяют на двухупаковочные и одноупаковочные [2]. В последние годы все более широкое применение находят одноупаковочные герметики, в первую очередь, из-за удобства применения, даже несмотря на то, что двухупаковочные имеют более высокие эксплуатационные свойства [3]. Одноупаковочные герметики отверждаются влагой воздуха с образованием газообразных продуктов, которые остаются в объеме герметика [4] и приводят к значительному снижению прочностных свойств.

При производстве одноупаковочных герметиков все более широкое применение находят гибридные полимеры на основе полиуретана с алкоксисилановыми группами на концах [5-7]. Применение гибридных полимеров позволяет сочетать положительные свойства двух или нескольких полимерных материалов. В частности, применение силиконовых и полиуретановых полимеров позво-

ляет повысить прочность герметиков и дает возможность получения толстостенных покрытий. При отверждении таких полимеров отсутствует газовыделение, нет свободных изоцианатов, что снижает их токсичность [8]. Современные требования, предъявляемые к герметикам, вызывают необходимость их совершенствования. Если для герметиков на основе традиционных полимеров разработаны как теоретические основы создания таких материалов, так и практические составы [3, 9-13], то данные по герметикам на основе гибридных полимеров практически отсутствуют [14].

Целью данной работы является исследование влияния компонентов композиции, в первую очередь, наполнителей, на технологические и эксплуатационные свойства герметиков, и разработка на основе полученных результатов композиций с повышенной термостойкостью.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использовался герметик на основе силилированного полимера (ТУ20.30.22-193-22736960-2017) производства НПФ «Адезив» г. Владимир.

В качестве наполнителей использовали:

- карбонат кальция марки Nakuenka® CCR-S;
- тальк марки ТРПН;

- диоксид титана марки Tioxide TR-92;
- порошок алюминия марок ПА-4 с размером частиц 63 мкм; ПАД-1 с размером частиц 63 мкм; ПАД-6 с размером частиц 5 мкм; ПАП-2 с размером частиц 56 мкм;

- хризотилловый асбест.

Герметик в лабораторных условиях получали в вакуумном диссольтере Dispermat VLOK вместимостью 2 л (производство Германия).

Время образования поверхностной пленки и скорость отверждения герметика определяли по ТУ 20.30.22 194-22736960-2017 «КЛЕЙ-ГЕРМЕТИК ВИЛАДЕКС (Viladex)».

Прочность и относительное удлинение при растяжении определены по ГОСТ 21751-76 на универсальной разрывной машине GP2DLC-0.5 (Точприбор, Россия) при скорости движения зажима 100 мм/мин.

Адгезионную прочность определяли через 7 сут. после отверждения (при температуре 23 °С и относительной влажности воздуха 50%) после нанесения герметика на соответствующую поверхность [15]. Адгезионные свойства оценивали по следующей шкале:

- адгезионный отрыв (а.) – отрыв герметика от исследуемой поверхности более чем на 95%;

- адгезионно-когезионный отрыв (а.-к.) – отрыв герметика от исследуемой поверхности не более чем на 50%;

- когезионный отрыв (к.) – отрыв по герметику более чем на 95%.

Твердость по шкале Шор А определяли по ГОСТ 263-75 на образцах толщиной 6 мм.

Определение условной динамической вязкости проводили при температуре $(25,0 \pm 0,1)$ °С на вискозиметре Brookfield DV-II-PRO.

Термостойкость герметиков исследовалась термогравиметрическим методом на термоанализаторе Instruments SDT 650 по методике, предложенной в работе [16], с учетом теоретического обоснования для определения параметров, характеризующих кинетику протекающих процессов [17-19] в среде азота.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, в состав герметиков входят наполнители (до 1000 масс. ч.), пластификаторы (до 200 масс. ч.), катализаторы (до 5 масс. ч.), промоторы адгезии (до 10 масс. ч.) и другие компоненты (до 20 масс. ч.) [20]. Влияние этих компонентов на герметики на основе гибридных полимеров изучено недостаточно, но предварительные испытания показывают, что оптимально подобранные наполнители могут повысить эксплуатационные свойства, в том числе термоокислительную стойкость. В табл. 1 представлен состав герметиков с различными наполнителями, которые наиболее часто используются при изготовлении традиционных герметиков [21].

Таблица 1

Состав исследуемых композиций, масс.ч.
Table 1. Composition formulation, parts by weight

| Компонент | Номер композиции | | | | | | | |
|--------------------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Гибридный олигомер | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| Целевые добавки | 26,5 | 27,3 | 27,3 | 27,3 | 27,3 | 27,3 | 27,3 | 27,3 |
| Наполнители: | | | | | | | | |
| диоксид титана | 3,0 | 29,9 | | | | | | |
| карбонат кальция | 51,5 | 23,8 | 23,7 | - | 23,7 | 23,7 | 11,8 | 23,7 |
| тальк | - | - | 30,0 | 23,7 | - | - | - | - |
| порошок алюминия | | | | | | | | |
| ПАД-1 | - | - | - | - | 30,0 | - | - | - |
| ПАД-6 | - | - | - | 30,0 | - | - | - | - |
| ПА-4 | - | - | - | - | - | 30,0 | - | - |
| ПАП-2 | - | - | - | - | - | - | 34,7 | - |
| Асбест | - | - | - | - | - | - | - | 27,4 |

Влияние наполнителей на технологические и эксплуатационные свойства герметиков представлены в табл. 2 и 3.

Как видно из табл. 2 и 3, частичная замена традиционного карбоната кальция на другие наполнители приводит как к положительным, так и

к отрицательным результатам. В частности, введение алюминия снижает вязкость герметика, увеличивает скорость отверждения, но снижает прочностные и адгезионные свойства. Введением асбеста удалось получить герметик с высокими прочностными показателями, но высокой вязкостью и минимальной эластичностью.

Термостойкость герметиков исследовали методом термогравиметрического анализа и прогревом в термошкафу при температуре 210 °С в те-

чение 30 мин. На рисунке представлены типичные термогравиметрические кривые образца 1 при скорости нагрева 5 °С/мин и 20 °С/мин.

Таблица 2

Влияние наполнителей на технологические свойства герметиков
Table 2. Effect of fillers on the technological characteristics of sealants

| Показатели | Номер композиции | | | | | | | |
|---|------------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Время образования поверхностной пленки, мин | 25 | 17 | 35 | 32 | 22 | 25 | 20 | 13 |
| Скорость отверждения, мм/24ч | 3,0 | 3,1 | 1,5 | 2,4 | 1,5 | 2,9 | 0,3 | 2,4 |
| Вязкость герметика, МПа·с | 4,00 | - | - | 0,40 | 0,38 | 0,41 | 3,80 | - |

Таблица 3

Влияние наполнителей на эксплуатационные свойства герметиков
Table 3. Effect of fillers on the performance characteristics of sealants

| Показатели | Номер композиции | | | | | | | |
|--|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Плотность, г/см ³ | | 1,55 | 1,44 | 1,51 | 1,50 | 1,56 | 1,42 | 1,43 |
| Прочность при разрыве, МПа | 2,35 | 2,97 | 2,51 | 1,82 | 2,34 | 2,0 | 3,4 | 4,93 |
| Относительное удлинение при разрыве, % | 233 | 252 | 116 | 172 | 223 | 183 | 63 | 38,7 |
| Остаточное удлинение при разрыве, % | 2,7 | 0 | 2,7 | - | 0 | 2,7 | 0 | 0 |
| Твердость по шкале Шор А, усл. ед. | 47 | 37/41 | 48/53 | 40/44 | 43/44 | 42/45 | 57/63 | 59/64 |
| Адгезия к: | | | | | | | | |
| стали | к. | а. | а. | а. | а. | а. | а.-к. | а. |
| нержавеющей стали | к. | к. | к. | - | к. | к. | к. | к. |
| алюминию | к. | а. | а.-к. | а. | а. | а. | к. | а. |
| оцинкованной поверхности | к. | а. | к. | а. | а. | а. | а.-к. | а. |
| поликарбонату | к. | а. | а. | а. | а. | а. | а. | а. |
| винилпласту | а. | а. | а. | а. | а. | а. | а. | - |
| шиферу | к. | а. | к. | к. | к. | к. | к. | а.-к. |

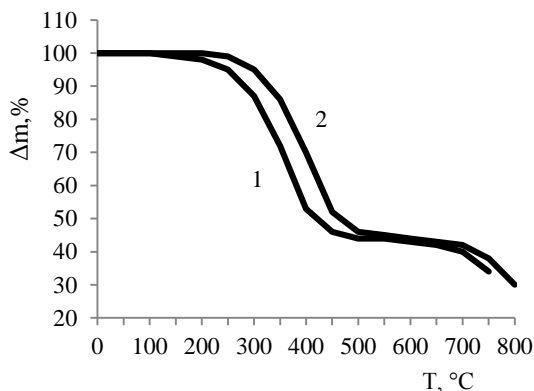


Рис. Термогравиметрическая кривая образца 1: скорость нагрева 5 °С/мин (1), 20 °С/мин (2)

Fig. Thermo-gravimetric curve for specimen 1: heating rate 5 °С/min (1), 20 °С/min (2)

Как видно из рисунка, скорость нагрева практически не сказывается на характере кривых, поэтому все остальные зависимости были получены при одной скорости нагрева (5 град/мин). Результаты термогравиметрических исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4

Термогравиметрические свойства герметиков с различными наполнителями
Table 4. Thermo-gravimetric characteristics of sealants with various fillers

| Наименование компонента | Номер образца герметика (см.табл.1) | | | | |
|--|-------------------------------------|------|------|------|------|
| | 1 | 4 | 7 | 8 | |
| Потеря массы, %, при скорости нагрева 5 °С/мин при температуре | 200 °С | 0,9 | 0,6 | 1,1 | 1,2 |
| | 300 °С | 24,0 | 20,8 | 48,3 | 40,4 |
| | 500 °С | 47,4 | 46,2 | 52,5 | 48,1 |
| Температура, °С окончания снижения массы образца | 715 | 740 | 750 | 730 | |
| Условный коксовый остаток, % | 31,3 | 45,4 | 47,8 | 38,5 | |

Как видно из табл. 4, в присутствии исследуемых наполнителей термостойкость герметиков находится в области 200 °С, что вполне удовлетворяет требованиям заказчика.

ВЫВОДЫ

Герметики на основе гибридных полиуретановых полимеров имеют одну очень важную особенность: они позволяют получать однокомпонентную систему, которая отверждается влагой воздуха без образования газообразных продуктов, что априори делает такие материалы более прочными из-за отсутствия газовых включений.

Показано, что использование наполнителей позволяет в широких пределах регулировать технологические и эксплуатационные свойства герметиков в зависимости от требований заказчиков, например, уменьшать или увеличивать исходную вязкость композиции, уменьшать или увеличивать скорость отверждения.

Установлено, что герметики с диоксидом титана и порошкообразным алюминием более стойки к термоокислительной деструкции.

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2020-0015, госзадание ВлГУ). Исследования проводились с использо-

ванием оборудования межрегионального многопрофильного и междисциплинарного центра коллективного пользования перспективных и конкурентоспособных технологий по направлениям развития и применения в промышленности/машиностроении отечественных достижений в области нанотехнологий (соглашение №075-15-2021-692 от 5 августа 2021 года).

The research was carried out within the state assignment in the field of scientific activity of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme FZUN-2020-0015, state assignment of VISU). The study was carried out using the equipment of the interregional multispecialty and interdisciplinary center for the collective usage of promising and competitive technologies in the areas of development and application in industry/mechanical engineering of domestic achievements in the field of nanotechnology (Agreement No. 075-15-2021-692 of August 5, 2021).

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

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Loginova S.E., Gladkikh S.N., Kurilova E.A., Nikonova N.V. // *Polym. Sci. Ser. D*. 2021. V. 14. N 2. P. 156–159. DOI: 10.1134/S1995421221020143.
2. Лисаневич М.С., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н. // *Вестн. технол. ун-та*. 2020. Т. 23. № 1. С. 46–54.
3. Логинова С.Е., Аверченко Е.Б., Гладких С.Н. // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2017. № 2. С. 2–7.
4. Тимакова К.А., Панов Ю.Т. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 9. С. 60–65. DOI: 10.6060/ivkkt.20196209.5922.
5. Лукина Н.Ф., Петрова А.П., Исаев А.Ю. // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2020. № 9. С. 33–39. DOI: 10.31044/1813-7008-2020-0-9-33-39.
6. Senichev V.Y., Krasnosel'skikh S.F., Senichev A.V. // *Polym. Sci. Ser. D*. 2018. V. 11. N 1. P. 56–59. DOI: 10.1134/S1995421218010197.
7. Логинова С.Е., Аверченко Е.Б. // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2015. № 8. С. 2–7.
8. Cao C.L., Cheng J., Liu X.D. // *J. Adhesion Sci. Technol.* 2012. V. 26 (10-11). P. 1395–1405. DOI: 10.1163/156856111X618272.
9. Логинова С.Е., Гладких С.Н., Курилова Е.А., Nikonova H.B., Аверченко Е.Б. // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2018. № 5. С. 2–7.
10. Khairullin I.K., Sinaiskii A.G., Dal'gren I.V. // *Polym. Sci. Ser. D*. 2013. V. 6. N 1. P. 72–76. DOI: 10.1134/S1995421213010061.
11. Шабалина М.С., Антипова Е.А., Хлебов Г.А. // *Каучук и резина*. 2014. № 5. С. 26–29.
12. Петлин И.А., Куркин А.И., Хакимуллин Ю.Н. // *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2013. Т. 16. № 15. С. 63–67.

REFERENCES

1. Loginova S.E., Gladkikh S.N., Kurilova E.A., Nikonova N.V. // *Polym. Sci. Ser. D*. 2021. V. 14. N 2. P. 156–159. DOI: 10.1134/S1995421221020143.
2. Lisanevich M.S., Galimzyanova R.Yu., Khakimullin Yu.N. // *Vestn. Tekhnol. Univ.* 2020. V. 23. N 1. P. 46–54 (in Russian).
3. Loginova S.E., Averchenko E.B., Gladkikh S.N. // *Klei, Germetiki, Tekhnol.* 2017. N 2. P. 2–7 (in Russian).
4. Timakova K.A., Panov Yu.T. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khem. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 9. P. 60–65 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196209.5922.
5. Lukina N.F., Petrova A.P., Isaev A.Y. // *Klei, Germetiki, Tekhnol.* 2020. N 9. P. 33–39 (in Russian). DOI: 10.31044/1813-7008-2020-0-9-33-39.
6. Senichev V.Y., Krasnosel'skikh S.F., Senichev A.V. // *Polym. Sci. Ser. D*. 2018. V. 11. N 1. P. 56–59. DOI: 10.1134/S1995421218010197.
7. Loginova S.E., Averchenko E.B. // *Klei, Germetiki, Tekhnol.* 2015. N 8. P. 2–7 (in Russian).
8. Cao C.L., Cheng J., Liu X.D. // *J. Adhesion Sci. Technol.* 2012. V. 26 (10-11). P. 1395–1405. DOI: 10.1163/156856111X618272.
9. Loginova S.E., Gladkikh S.N., Kurilova E.A., Nikonova N.V., Averchenko E.B. // *Klei. Germetiki. Tekhnologii*. 2018. N 5. P. 2–7 (in Russian).
10. Khairullin I.K., Sinaiskii A.G., Dal'gren I.V. // *Polym. Sci. Ser. D*. 2013. V. 6. N 1. P. 72–76. DOI: 10.1134/S1995421213010061.
11. Shabalina M.S., Antipova E.A., Khlebov G.A. // *Kauchuk Rezina*. 2014. N 5. P. 26–29 (in Russian).

13. **Кербер М.Л.** Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб: Профессия. 2008. 560 с.
14. **Цвайфель Х., Маер Р.Д., Шиллер М.** Добавки к полимерам. Справочник. СПб.: Профессия. 2010. 1088 с.
15. **Li Q., Crowley R.W., Bloomquist D. B., Roque R.** // *J. Mater. Civ. Eng.* 2014. V. 26 (12). P. 1–9. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001020.
16. **Тимакова К.А.** Синтез и свойства полиуретановых предполимеров для однокомпонентных герметиков. Сб. тр.: Химическая наука: современные достижения и историческая перспектива. III Всероссийская научная интернет-конференция с международным участием (Казань). 2015. С. 125-130.
17. **Сеничев В.Ю., Красносельских С.Ф., Сеничев А.В.** // *Клеи. Герметики. Технологии.* 2016. № 11. С. 9-12.
18. **Хайруллин И.К., Синайский А.Г., Дальгрэн И.В., Поманская М.П., Хайруллин И.И., Чеботарев М.А.** // *Клеи. Герметики. Технологии.* 2012. № 7. С. 2-7.
19. **Елисеев О.А., Глазов П.А., Илюхина М.А.** // *Клеи. Герметики. Технологии.* 2015. № 6. С. 18-21.
20. **Тимакова К.А., Панов Ю.Т., Самойленко В.В.** // *Клеи. Герметики. Технологии.* 2015. № 10. С. 2-8.
21. **Муртазина Л.И., Гарифуллин А.Р., Никульцев И.А., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н.** // *Изв. Казан. гос. архит.-строит. ун-та.* 2015. № 31 (1). С. 134–141.
12. **Petlin I.A., Kurkin A.I. Khakimullin Yu.N.** // *Vestn. Kazan. Tekhnol. Univ.* 2013. V. 16. N 15. P. 63-67 (in Russian).
13. **Kerber M.L.** Polymer composite materials: structure, properties, technology. SPb.: Professiya. 2008. 560 p. (in Russian).
14. **Zweifel H., Maer R., Schiller M.** Plastics Additives Handbook. SPb.: Professiya. 2010. 1088 p. (in Russian).
15. **Li Q., Crowley R.W., Bloomquist D. B., Roque R.** // *J. Mater. Civ. Eng.* 2014. V. 26 (12). P. 1–9. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001020.
16. **Timakova K.A.** Synthesis and properties of polyurethane prepolymers for one-component sealants: Coll. of presentations of Russian Conf. on Chemical Science: Modern Achievements and Historical Perspective (Kazan). 2015. P. 125-130 (in Russian).
17. **Senichev V.Yu., Krasnoselskikh S.F., Senichev A.V.** // *Klei. Germetiki. Tekhnologii.* 2016. N 11. P. 9-12 (in Russian).
18. **Khairullin I.K., Sinaisky A.G., Dalgren I.V., Pomanskaya M.P., Khairullin I.I. Chebotarev M.A.** // *Klei. Germetiki. Tekhnologii.* 2012. N 7. P. 2-7 (in Russian).
19. **Eliseev O.A., Glazov P.A., Ilyukhina M.A.** // *Klei. Germetiki. Tekhnologii.* 2015. N 6. P. 18-21 (in Russian).
20. **Timakova K.A., Panov Yu.T., Samoylenko V.V.** // *Klei. Germetiki. Tekhnologii.* 2015. N 10. P. 2-8 (in Russian).
21. **Murtazina L.I., Garifullin A.R., Nikul'tsev I.A., Galimzyanova R.Yu., Khakimullin Yu.N.** // *Izv. Kazan. Gos. Arkhit.-Stroit. Univ.* 2015. N 31 (1). P. 134–141 (in Russian).

Поступила в редакцию 26.01.2023

Принята к опубликованию 14.04.2023

Received 26.01.2023

Accepted 14.04.2023