



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 691.175.2

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.029



КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЪЕМНЫХ ЧЕХЛОВ С ЦЕЛЬЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Гульнара Ильхамовна Амерханова¹, Елена Анатольевна Кияненко²,
Любовь Андреевна Зенитова³

^{1, 2, 3} Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

¹ AmerkhanovaGI@corp.knrtu.ru

² KiyanenkaEA@corp.knrtu.ru

³ ZenitovaLA@corp.knrtu.ru

Аннотация. Проведено исследование возможности применения фибры базальтового волокна при получении образцов композитов на основе полужесткого пенополиуретана, направленное на повышение комплекса физико-механических параметров, а также термостабильности образцов. Наполнение проводили в массовом содержании от 5 до 15 %, размером волокон 6, 12 и 18 мм.

При этом установлено, что такие технологические параметры, как время старта и подъема, а также кажущаяся плотность экспериментальных образцов полужесткого пенополиуретана возрастает. Оптимальное содержание фибры базальтового волокна является 10 % мас. с размером волокон не более 12 мм. Дальнейшее увеличение размера и содержания базальтового волокна приводит к технологическим сложностям.

Установлено, что при наполнении образца ППУ фиброй базальтового волокна наблюдается тенденция к увеличению прочностных свойств композита. При этом наибольшее увеличение достигнуто для образца, наполненного фиброй размером 6 мм в количестве 10 % мас. – напряжение сжатия при 10 %-ной деформации увеличилось на 30 % по сравнению с ненаполненным аналогом. Модуль упругости и эластичность образцов снижается незначительно, что не оказывает негативного влияния на материал.

Выявлено, что введение фибры базальтового волокна способствует повышению коэффициента теплопроводности, а также снижению скорости горения. Так, скорость горения для ненаполненного аналога составила 387 мм/мин, а при наполнении БВ размером 6 мм в количестве 15% мас. привело к снижению данного показателя до 92 мм/мин. Это свидетельствует о возможности применения базальтового волокна в качестве антипирюющей добавки в полимерах.

Ключевые слова: Пенополиуретан, базальтовое волокно, фибра, теплоизоляционный материал, съемные чехлы, теплоизоляция оборудования и трубопроводов.

Для цитирования: Амерханова Г. И., Кияненко Е. А., Зенитова Л. А. Композит на основе пенополиуретана и базальтового волокна для изготовления съемных чехлов с целью теплоизоляции оборудования // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 200–205. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.029, EDN: <https://elibrary.ru/GVFQJE>.

Original article

COMPOSITE BASED ON POLYURETHANE FOAM AND BASALT FIBER FOR THE PRODUCTION OF REMOVABLE COVERS FOR THE PURPOSE OF THERMAL INSULATION OF EQUIPMENT

Gulnara I. Amerkhanova¹, Elena A. Kiyanenka², Lyubov A. Zenitova³

^{1, 2, 3} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

¹ AmerkhanovaGI@corp.knrtu.ru

² KiyanenkaEA@corp.knrtu.ru

³ ZenitovaLA@corp.knrtu.ru

© Амерханова Г.И., Кияненко Е. А., Зенитова Л. А., 2024

КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЪЕМНЫХ ЧЕХЛОВ С ЦЕЛЬЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Abstract. A study was carried out on the possibility of using basalt fiber in the production of composite samples based on semi-rigid polyurethane foam, aimed at increasing the complex of physical and mechanical parameters, as well as the thermal stability of the samples. Filling was carried out in a mass content from 5 to 15 %, with fiber sizes of 6, 12 and 18 mm.

At the same time, it was found that such technological parameters as start and rise times, as well as the apparent density of experimental samples of semi-rigid polyurethane foam increase. The optimal fiber content of basalt fiber is 10% wt. with a fiber size of no more than 12 mm. A further increase in the size and content of basalt fiber leads to technological difficulties.

It has been established that when a PU foam sample is filled with basalt fiber, there is a tendency to increase the strength properties of the composite. In this case, the greatest increase was achieved for a sample filled with 6 mm fiber in an amount of 10% wt. – compressive stress at 10% deformation increased by 30% compared to the unfilled analogue. The elastic modulus and elasticity of the samples decrease slightly, which does not have a negative effect on the material.

It was revealed that the introduction of basalt fiber helps to increase the thermal conductivity coefficient, as well as reduce the burning rate. Thus, the burning rate for the unfilled analogue was 387 mm/min, and when filled with 6 mm BB in an amount of 15 % wt. led to a decrease in this indicator to 92 mm/min. This indicates the possibility of using basalt fiber as an antipyretic additive in polymers.

Keywords: Polyurethane foam, basalt fiber, fiber, thermal insulation material, removable covers, thermal insulation of equipment and pipelines.

For citation: Amerkhanova G. I., Kiyanenko E. A., Zenitova L. A. (2024) Composite based on polyurethane foam and basalt fiber for the manufacture of removable covers for the purpose of thermal insulation of equipment. *Polzunovskiy vestnik*. (3), 200-205. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.029. EDN: <https://elibrary.ru/GVFQJE>.

ВВЕДЕНИЕ

В нефтехимической промышленности применяются процессы, имеющие повышенные температуры. С целью исключения факторов взаимобмена тепла с атмосферой, а также возможных ожогов, необходимо использовать теплоизоляцию оборудования и трубопроводов. С этой целью можно использовать изделия из изоляционного материала на основе пенополиуретана, выполненные в виде съемных чехлов.

В качестве теплоизоляционного материала широко используется жесткий пенополиуретан (ППУ), характеризующийся высокими теплоизоляционными характеристиками [1, 2]. Но для использования его для изготовления быстросъемных чехлов он не подходит, поскольку имеет недостаточную гибкость, что может привести к разрушению материала при изоляции оборудования, имеющего различные формы. Для этих целей оптимальным является полужесткий пенополиуретан.

Известно, что химическая промышленность является одним из пожароопасных объектов, поэтому одним из важных факторов является минимизация рисков, способствующих или вызывающих горение материала [3]. Для повышения комплекса прочностных свойств, а также увеличения термостабильности, огнестойкости пенополиуретана в данной работе используется базальтовое волокно (БВ), характеризующееся повышенным комплексом прочностных свойств, имеющим широкий диапазон рабочих температур, высокую гидротехническую стойкость и др. [4].

Химическая структура БВ аналогична стекловолокну, при этом отличается более высокой прочностью, термо- и химической стойкостью. Его получают термохимическим процессом из вулканической базальтовой породы, диаметром

от 10 до 20 мкм и длиной от 3 до 130 мм. [5].

В состав БВ входят такие соединения, как оксид кремния (SiO_2 – 44÷46 % мас.), оксид алюминия (Al_2O_3 – 11÷12 % мас.), оксид кальция (CaO – 11÷12 % мас.), оксид магния (MgO – 9÷11 % мас.) и другие (менее 6 % мас.) На поверхности БВ имеются силанольные группы, связанные с водородом, образующие активные адсорбционные центры [6].

Необходимо отметить также, что прочностные характеристики (прочность при растяжении) базальтового волокна находится в сопоставляемых значениях с арамидным волокном, в то же время модуль упругости БВ выше стекловолокна.

Благодаря совокупности свойств базальтовое волокно широко применяется для изготовления высокопрочностных композиционных полимерных материалов, которые используются в качестве конструкционных материалов, которые имеют более низкую себестоимость по сравнению с арамидными материалами, углепластиком и сталью [7-9]. Область применения данных материалов достаточно большая – это автомобилестроение, авиастроение, судостроение, строительство и т.д. [10, 11]. БВ также используют для армирования бетонов, при этом улучшается их структура, а также комплекс физико-механических показателей [12].

В данной работе для получения высокопрочного, термостойкого и теплоизоляционного материала, предназначенного для изготовления быстросъемных чехлов оборудования, использовали полужесткий ППУ, наполненный базальтовым волокном.

МЕТОДЫ

Для получения полужесткого пенополиуретана использовали следующие компоненты:

- компонент А – полиэфирный компонент (смесь простых полиэфиров, катализаторов, стабилизаторов пенообразования и воды) SPECFLEX NF 675 производства «Дау Изолан», г.Владимир, Россия;

- компонент Б – полимерный дифенилметандиизоцианат (содержание NCO-групп в количестве 29,4÷30,8% мас.) производства «Дау Изолан», г.Владимир, Россия (ТУ 113-03-38-106-90).

Для получения композита на основе ППУ использовали базальтовое волокно производства ПАО «Новгородский стекольный завод» размером волокон 6, 12, 18 мм.

Образцы готовили следующим образом: БВ в количестве от 10 до 15 % мас. по отношению к сумме компонентов А+Б порционно вводили в гидроксилсодержащий компонент А, после чего смесь тщательно перемешивали с помощью верхнеприводного перемешивающего устройства. После чего вводили расчетное количество компонента Б и снова перемешивали. Массовое соотношение компонента А к Б равно 1:0,6.

Полученную смесь сразу переливали в жестяную коробку размером 15×15×15 см, выложенную полиэтиленовой пленкой или бумагой, при этом фиксировали «время старта» и «время подъема». Испытания полученных образцов на физико-механические показатели проводили по истечении трех суток [13, 14].

Основными технологическими характеристиками пенополиуретанов являются следующие:

- время старта – время от начала перемешивания смеси компонентов А и Б до начала вспенивания (четкого видимого увеличения объема смеси компонентов), с;

- время подъема – время от начала вспенивания до конца вспенивания, когда пена перестает расти, с;

- кажущаяся плотность при свободном вспенивании (ГОСТ 409-77 «Пластмассы ячеистые и резины губчатые»), кг/м³.

Напряжение сжатия при 10%-ной деформации (МПа) определяли по ГОСТ 23206-78 «Пластмассы ячеистые жесткие метод испытания на сжатие.

Теплопроводность (Вт/м·К) – по ГОСТ 23630.2-

Таблица 1 – Технологические параметры ППУ, наполненных фиброй БВ

Table 1 – Technological parameters of PUF filled with BV fiber

Параметры	Содержание БВ, % мас.									
	0	5			10			15		
	Размер БВ, мм									
	–	6	12	18	6	12	18	6	12	18
«Время старта», с	30	31	34	38	33	40	47	35	45	52
«Время подъема», с	86	90	98	100	95	110	114	100	120	125
Кажущаяся плотность, г/см ³	0,060	0,069	0,082	0,090	0,089	0,102	0,112	1,049	1,113	1,121

79 «Метод определения теплопроводности».

Коэффициент теплопроводности определяли в соответствии с ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме».

Огнестойкость определяли в соответствии с ГОСТ 28157-89 «Пластмассы. Методы определения стойкости к горению». Огнеопасность материала характеризуется скоростью и особенностями горения испытуемого образца материала.

Скорость горения (v) в мм/мин вычисляли по формуле:

$$v = 60 l/t, \text{ где:}$$

l - длина сгоревшего участка образца в мм;

t - время горения образца на этом участке, с.

Подсчет значения скорости горения (v) проводили с точностью до 0,1 и округляли до целых единиц.

Материал огнеопасен: если он имеет скорость горения 100 мм/мин и более.

Материал не огнеопасен: если имеет скорость горения 100 мм/мин и менее, если не загорелся за 30 с от пламени горелки, если погас, не догорев до начала мерной базы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для изготовления образцов на основе пенополиуретана использовали базальтовое волокно (фибру) размером 6, 12 и 18 мм. Экспериментальные образцы ППУ получали при содержании различных размеров БВ при их массовом содержании от 5,0 до 15,0 %. Первоначально полученные образцы исследовали на время старта, подъема и кажущуюся плотность (таблица 1). По результатам исследования выявлено, что с ростом величины волокна, а также степени наполнения увеличиваются все технологические параметры. Это связано с увеличением общей массы наполнителя БВ, которое способствует росту плотности материала.

При этом выявлено, что введение волокон размером 18 мм технологически затруднено из-за повышения вязкости материала.

КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА И БАЗАЛЬНОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЪЕМНЫХ ЧЕХЛОВ С ЦЕЛЬЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Далее проводили исследования экспериментальных образцов ППУ на комплекс физико-механических показателей (таблица 2). При оценке полученных результатов при наполнении ППУ БВ размером 6 мм выявлено, что с ростом количества наполнителя материал становится более прочным вплоть до 10 % мас. наполнения. При этом прочность на сжатие увеличилась в среднем на 25 %. При содержании БВ в количестве 15 % мас. прочность на сжатие несколько снижается, но остается на более высоком уровне по сравнению с ненаполненным аналогом.

Для ППУ, наполненных БВ с размером более 12 мм наблюдается та же тенденция, что и для образцов, наполненных с БВ размером 6 мм, но значения прочности на сжатие несколько

ниже – 0,50 МПа при наполнении в количестве 10 % мас. и 0,46 – при 15 % мас.

При наполнении ППУ БВ размером фибры 18 мм выявлено, что прочность на сжатие снизилась и максимальное значение достигнуто – 0,48 МПа при наполнении 10 % мас. Этот показатель на 7,7 % меньше, чем при наполнении ИБВ с размером 6 мм.

Параметры снижения прочностных характеристик образцов с наполнением волокнами размером 12 и 18 мм может быть связано с негативным влиянием на прочность материала в связи с нарушением структуры и возможным нарушением ПУ перегородок в материалах. Также можно отметить технологические сложности при введении в ППУ волокон более 12 мм.

Таблица 2 – Результаты физико-механических показателей ППУ, наполненных БВ

Table 2 – Results of physical and mechanical parameters of PU filled with BV

Параметры	Содержание БВ, % мас.									
	0		5			10			15	
	Размер БВ, мм									
	0	6	12	18	6	12	18	6	12	18
σ , МПа	0,39	0,44	0,43	0,42	0,52	0,5	0,48	0,48	0,46	0,44
E	5,5	5,3	5,4	5,5	5,2	5,3	5,4	5,0	5,1	5,3
ε , %	38	35	37	37	33	35	36	30	32	33

Примечание: Напряжение сжатия при 10%-ной деформации - σ , МПа; модуль упругости – E ; эластичность – ε , %.

Таким образом, при исследовании комплекса прочностных показателей выявлено, что лучшие показатели достигнуты для образцов ППУ, наполненных БВ с размером 6 мм в количестве 10 % мас.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности на сжатие образцов ППУ от степени наполнения фиброй БВ.

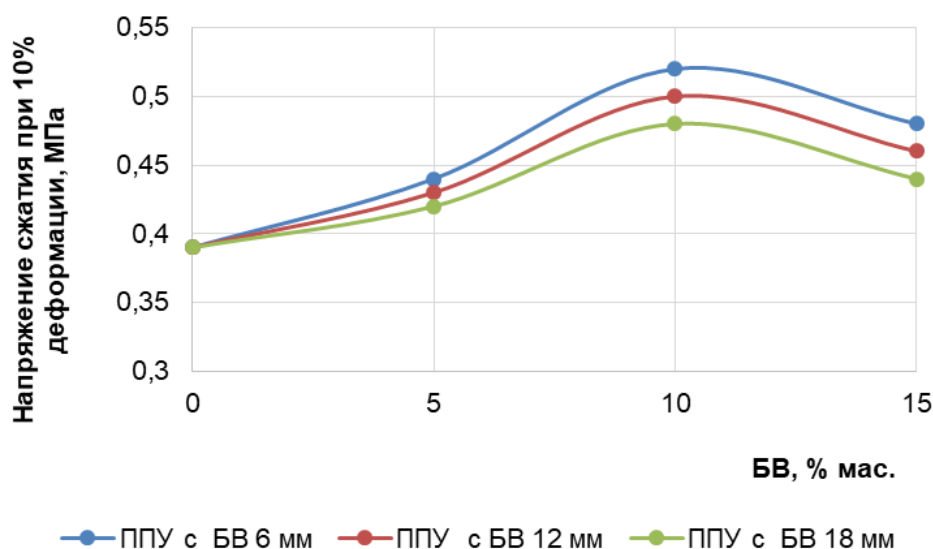


Рисунок 1 – Зависимость напряжения сжатия при 10%-ной деформации, (МПа) образцов ППУ, наполненных БВ (размером 6, 12, 18 мм) в количестве до 15,0 % мас.

Figure 1 – Dependence of the compression stress at 10% deformation, (MPa) of PU foam samples filled with BV (size 6, 12, 18 mm) in an amount up to 15.0% by weight

Для теплоизоляционных материалов одним из важных показателей является воздухопроницаемость. На рисунке 2 приведена зависимость воздухопроницаемости образцов ППУ, от размера БВ, откуда видно, что использование

наполнителя незначительно понижает воздухопроницаемость, что косвенно доказывает увеличение количества закрытых пор в образцах.

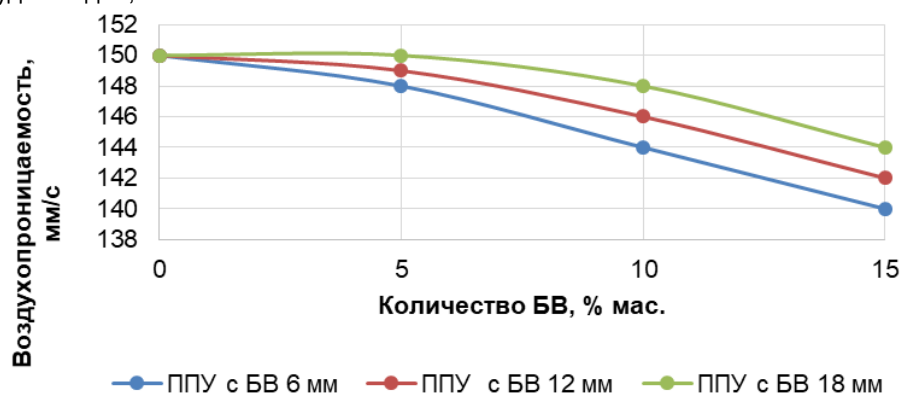


Рисунок 2 – Зависимость воздухопроницаемости образцов ППУ, наполненных БВ (размер 6, 12, 18 мм) в количестве до 15,0 % мас.

Figure 2 – Dependence of the air permeability of PU foam samples filled with BV (size 6, 12, 18 mm) in an amount up to 15.0% by weight

Результаты исследований экспериментальных образцов ППУ, наполненных БВ размером от 6 до 18 мм на теплопроводность и горючесть приведены в таблице 3, из которой видно, что введение фибры БВ способствует незначительному росту коэффициента теплопроводности, а также снижению скорости горения.

При этом отмечена тенденция снижения скорости горения образцов при введении в композицию ППУ БВ размером 12 и 18 мм. Лучшие результаты достигнуты при введении 15 % мас. БВ размером 18 мм – снижение скорости горения

на 9 % по сравнению с добавлением БВ размером 6 мм и составило 98 мм/с.

При сопоставлении показателей стойкости к горению ППУ, наполненного базальтовым волокном и добавкой антипиреном трихлорэтилфосфатом (ТХЭФ) выявлено, что коэффициент теплопроводности (Вт/м·К) находится практически на одном уровне. По скорости горения ППУ с БВ приближается также к образцу с ТХЭФ.

Таким образом, с помощью наполнения БВ можно добиться огнестойкости материала без внедрения дорогостоящих и вредных антипиренов.

Таблица 3 – Результаты теплопроводности и горючести образцов ППУ, наполненных БВ

Table 3 – Results of thermal conductivity and flammability of PU foam samples filled with BV

Параметры	Содержание БВ, % мас.										ТХЭФ, 10% мас.
	0	5			10			15			
	Размер БВ, мм										
	0	6	12	18	6	12	18	6	12	18	
$K_{\text{тепл.}}$	0,030	0,031	0,032	0,032	0,032	0,033	0,034	0,034	0,034	0,034	0,031
$V_{\text{гор.}}$	385	310	220	218	96	104	112	92	96	98	78

Примечание: $K_{\text{тепл}}$ – коэффициент теплопроводности (Вт/м·К), $V_{\text{гор.}}$ – скорость горения (мм/мин).

ВЫВОДЫ

В результате проведения данной работы получены образцы полужесткого пенополиуретана, наполненного фиброй базальтового волокна размером 6, 12 и 18 мм, при ее массовом содержании от 5 до 15 %.

Выявлено, что образцы ППУ, наполненные БВ от 5 до 15 % мас., обладают высокими физико-механическими показателями и относительно высокой степенью защищенности от горения. Наилучшими показателями огнестойкости

обладают образцы, наполненные БВ в количестве 15 % мас. Также по полученным исследованиям можно сделать вывод, что использование БВ в качестве наполнения целесообразнее, чем использование антипирена, так как в этом случае достигается основная цель – придание ППУ негорючести. При этом ППУ стал незначительно плотнее и несущественно потерял в теплоизолирующих свойствах. С другой стороны, увеличение плотности ППУ приводит к возрастанию прочностных свойств.

КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЪЕМНЫХ ЧЕХЛОВ С ЦЕЛЬЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакирова И.Н., Зенитова Л.А. Газонаполненные полимеры: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2009. 105 с.
2. Зонненшайн М.Ф. Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение. Москва: ЦОП Профессия, 2018. 576 с.
3. Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушков В.А. Горючесть полимерных строительных материалов. Москва: Стройиздат, 1978. 224 с.
4. Амерханова Г.И., Кияненко Е.А., Зенитова Л.А. Базальтовое волокно-наполнитель полиуретанов // Вестник Технологического университета. 2020. №8. С.24-29.
5. Оснос М.С., Оснос С.П. Базальтовые непрерывные волокна-основа для создания новых промышленных производств и широкого применения армирующих и композитных материалов // Композитный мир. 2019. №1. С.58-65.
6. Amerkhanova G.I., Kiyanencko E.A., Zenitova L.A. Basalt fiber and its application in polymer composite materials. *Butlerov Communications A*. 2021. Vol.2, No.3. P.10-15.
7. Амерханова Г.И., Зенитова Л.А., Хацринов А.И. Полиуретановые композиции, наполненные плазмообработанным базальтовым волокном // Вестник Технологического университета. 2020. Т.23, №12. С.38-42.
8. Тинь Н.К., Чалая Н.М., Осипчик В.С. Разработка полипропиленового композита, наполненного базальтовым волокном и стеклянными микросферами // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. 2020. Т. XXXIV, №7. С.105.
9. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. Санкт Петербург: Научные основы и технологии, 2008. 822 с.
10. Булатов Г.А. Пенополиуретаны в машиностроении и строительстве. Москва: Машиностроение, 1978. 184 с.
11. Воробьев В.А., Андрианов Р.А. Полимерные теплоизоляционные материалы. – Москва: Стройиздат. 1972. 320 с.
12. Амерханова Г.И., Хацринов А.И., Зенитова Л.А. Композиты на основе плазмообработанного базальтового волокна для высоконагруженных бетонных изделий // Бултеровские сообщения. 2020. т.63, в.7. С. 60-65.
13. Клемпнер Д., Сенджаревич В. Полимерные пены и технологии вспенивания. Москва: ЦОП Профессия, 2009. 600 с.
14. Баур Э., Оссвальд Т.А., Рудольф Н. Настольная книга переработчика пластмасс. Справочник по полимерным материалам. Москва: ЦОП Профессия, 2021. 672 с.

Информация об авторах

Г. И. Амерханова – ассистент, ведущий инженер кафедры «Технологии неорганических веществ и материалов» Казанского национального исследовательского технологического университета.

Е. А. Кияненко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии синтетического каучука» Казанского национального исследовательского технологического университета.

Л. А. Зенитова – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии синтетического каучука» Казанского национального исследовательского технологического университета.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 12 Mar 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.

REFERENCES

1. Bakirova I.N. & Zenitova L.A. (2009). *Gas-filled polymers: Textbook*. Kazan: Publishing house of Kazan State Technical University. (In Russ.).
2. Sonnenschein M.F. (2018). *Polyurethanes. Composition, properties, production, application*. Moscow: TsOP Profession. (In Russ.).
3. Vorobyov V.A., Andrianov R.A. & Ushkov V.A. (1978). *Flammability of polymer building materials*. Moscow: Stroyizdat. (In Russ.).
4. Amerkhanova G.I., Kiyanencko E.A. & Zenitova L.A. (2020). Basalt fiber filler for polyurethanes. *Bulletin of the Technological University*, (8), 24–29. (In Russ.).
5. Osnos M.S. & Osnos S.P. (2019). Basalt continuous fibers are the basis for the creation of new industrial production and the widespread use of reinforcing and composite materials. *Composite World*, (1), 58–65. (In Russ.).
6. Amerkhanova G.I., Kiyanencko E.A. & Zenitova L.A. (2021). Basalt fiber and its application in polymer composite materials. *Butlerov Communications A*, (3), 10–15. (In Russ.).
7. Amerkhanova G.I., Zenitova L.A. & Khatsrinov A.I. (2020). Polyurethane compositions filled with plasma-treated basalt fiber. *Bulletin of the Technological University*, (12), 38–42. (In Russ.).
8. Tin N.K., Chalaya N.M. & Osipchik V.S. (2020). Development of a polypropylene composite filled with basalt fiber and glass microspheres. *Advances in chemistry and chemical technology: collection. Scientific*, (7), 105–105. (In Russ.).
9. Mikhailin Yu. A. (2008). *Structural polymer composite materials*. St. Petersburg: Scientific foundations and technologies. (In Russ.).
10. Bulatov G.A. (1978). *Polyurethane foams in mechanical engineering and construction*. Moscow: Mechanical Engineering. (In Russ.).
11. Vorobyov V.A. & Andrianov R.A. (1972). *Polymer thermal insulation materials*. Moscow: Stroyizdat. (In Russ.).
12. Amerkhanova G.I., Khatsrinov A.I. & Zenitova L.A. (2020). Composites based on plasma-treated basalt fiber for highly loaded concrete products. *Butlerov Communications*, (7). (In Russ.).
13. Klempler D. & Senjarevich V. (2009). *Polymer foams and foaming technologies*. Moscow: TsOP Profession. (In Russ.).
14. Baur E., Osswald T.A. & Rudolf N. (2021). *Handbook for plastics processor. Handbook of polymer materials*. Moscow: TsOP Profession. (In Russ.).

Information about the authors

G. I. Amerkhanova – assistant, leading engineer of the Department of “Technology of Inorganic Substances and Materials” of Kazan National Research Technological University.

E. A. Kiyanencko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Synthetic Rubber Technologies at Kazan National Research Technological University.

L. A. Zenitova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Synthetic Rubber Technologies at Kazan National Research Technological University.