

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, АРМИРОВАННОГО КОСТРОЙ ЛЬНА

А.В. Котович, В.И. Ольшанский

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

В настоящее время костра льна имеет малое количество сфер применения. В основном ее используют в качестве топлива, в мебельной промышленности и строительстве, а ее объёмы на предприятиях измеряются тоннами.

Целью работы является определение основных теплофизических свойств композиционного материала на основе силикона, армированного кострой льна.

Объектом исследования является композиционный материал.

В статье определены теплофизические свойства композиционного материала на основе силикона, армированного кострой льна. Материал изготавливался методом прессования. Образцы материала испытывались на теплопроводность методом пластины. По результатам испытаний коэффициента теплопроводности композиционного материала построен график зависимости теплопроводности композита от массы материалов, входящих в композит, проведен регрессионный анализ, определены статистически значимые факторы и получено уравнение регрессии коэффициента теплопроводности материала. Получена зависимость коэффициента теплопроводности силикона на основе платины, имеющего твердость по Шору А 10, от толщины. По результатам расчетов получена плотность образцов композиционного материала, получено уравнение регрессии плотности образцов от масс компонентов, входящих в композиционный материал. Рассчитано термическое сопротивление, удельная теплоемкость и коэффициент температуропроводности каждой группы образцов.

Результаты работы позволяют рассчитать теплофизические свойства композиционного материала при различном соотношении компонентов. Исследование показало, что материал является теплоизоляционным.

Ключевые слова: *костра льна; композиционный материал; композит; матрица; наполнитель; теплоизоляционные свойства; теплопроводность; термическое сопротивление; удельная теплоемкость; температуропроводность.*

Информация о статье: *поступила 17 ноября 2023 года.*

THERMAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL REINFORCED WITH FLAX SHIVE

Anton V. Kotovich, Valery I. Alshanski

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

ABSTRACT

Currently, flax shive has a small number of applications. It primarily serves as fuel in the furniture industry and construction, with its volumes in enterprises measured in tons.

The purpose of the study is to determine the fundamental thermal and physical properties of a silicone-based composite material reinforced with flax shive.

The article delineates the thermal and physical properties of a composite material derived from silicone reinforced with flax shive. The material was fabricated through pressing. Samples of the material underwent thermal conductivity testing via the plate method. Based on the test results of the thermal conductivity coefficient of the composite material, a graph illustrating the dependence of the composite's thermal conductivity on the mass of the constituent materials was constructed. A regression analysis was performed, statistically significant

factors were identified and the regression equation of the material's thermal conductivity coefficient was derived. The logarithmic dependence of the thermal conductivity coefficient of platinum-based silicone, possessing a Shore A hardness of 10, on the thickness was determined. Based on the calculation results, the density of the composite material samples was ascertained, and the regression equation of the sample density from the masses of the components incorporated in the composite material was derived. The thermal resistance, specific heat capacity and thermal conductivity coefficient of each group of samples were calculated.

The study outcomes facilitate the calculation of the thermal and physical properties of a composite material with a varying component ratios. The study revealed that the material exhibits heat-insulating properties.

Keywords: *flax shive; composite material; composite; matrix; filler; thermal insulation properties; thermal conductivity; thermal resistance; specific heat capacity; thermal conductivity.*

Article info: *received November 17, 2023.*

ВВЕДЕНИЕ

Лен-долгунец является ценной сельскохозяйственной культурой, волокно которого используют в основном в легкой промышленности для производства тканей [1]. Но в процессе получения льняного волокна образуются отходы его переработки, костра льна, составляющая около 60–70 % массы перерабатываемой тресты [2]. В данный момент объёмы костры на предприятиях Беларуси измеряются тоннами. Костра льна – это одревесневшие частицы стебля величиной около 5 мм.

На территории Республики Беларусь костра льна используется в основном в качестве топлива, так называемые костробрикеты; в мебельной промышленности из костры изготавливают костроплиты; в строительстве – для производства теплоизоляционных материалов. В последних двух сферах костра льна используется мало.

Вопрос поиска новых сфер применения костры льна достаточно важен, и, в случае его решения, можно будет повысить рентабельность использования костры льна, сделать её использование более экономически эффективным и расширить сферы применения [3]. Одним из путей использования отходов льняного производства является их применение в композиционных материалах.

Композиционные материалы (композиты) представляют собой матрицу, металлическую или неметаллическую, в которой определенным образом расположены упрочняющие элементы [4].

В настоящее время композиционные материалы являются одними из самых востребованных материалов во многих отраслях благодаря уникальному сочетанию свойств, возможности

модернизации, а также их разнообразию [5–7].

Ранее уже проводились исследования свойств композиционных материалов на основе силикона с различными наполнителями [8–10], а также свойств композитов, армированных кострой льна [11–13], но свойства композита, состоящего из силиконовой матрицы, армированной кострой льна, ранее не исследовались.

Областью применения данного материала является деталь низа обуви: простилка.

Простилка в обуви выполняет функции заполнения и выравнивания пространства, образующегося в передней части обуви между стелькой, краями затяжной кромки и подошвой. Данная деталь обуви должна быть экологически безопасна и не выделять вредных веществ, быть гибкой, выполнять роль теплоизоляционного слоя, быть способной впитывать влагу и не должна способствовать размножению бактерий.

Наличие силикона в качестве связующего обеспечит гибкость материала. Костра льна не боится плесени, обладает антибактериальными свойствами, хорошо сохраняет тепло и обеспечивает влагообменные свойства материала.

Целью данной работы является определение основных теплофизических свойств композиционного материала на основе силикона, армированного кострой льна.

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существуют различные методы получения многокомпонентных материалов, и каждый из них имеет как свои преимущества, так и недостатки. Наиболее популярными и одновременно подходящими для нового материала являются следующие [14, 15]:

1. Контактное формование. Оно основано на ручном распределении материала наполнителя и последующем нанесении связующего. После отверждения готовое изделие извлекается из формы и подвергают механической обработке: обрезание излишков, высверливание отверстий, и т. д.

Преимуществами данного метода являются: возможность получить изделие сложной формы и большого размера; конструкция изделия легко изменяется; для изготовления матрицы подходит практически любой материал, способный сохранить свои пропорции и форму.

Недостатками данного метода являются: большие затраты ручного труда; низкая производительность; качество изделий зависит от квалификации рабочего; в большей степени подходит для мелкосерийного производства.

2. Прессование. Основано на придании нужной формы изделию под воздействием высокого давления, образующегося в пресс-форме, при температуре быстрого затвердевания связующего.

Преимущества данного метода: возможность изготавливать большой объём материала; большая скорость изготовления изделия, высокое качество поверхности изделия.

Недостатки данного метода: износ деталей пресс-формы, изготовление изделий преимуще-

ственно простой формы.

3. Пропитка и формование композита под давлением (RTM – Resin Transfer Moulding), в процессе которого связующее вещество переходит в закрытую пресс-форму, в которой уже содержится наполнитель.

Преимущества RTM: возможно массовое производство изделий; производство автоматизировано; уменьшение количества используемого сырья; хорошая пропитка изделия связующим.

Недостатки RTM: для каждого нового типа изделия необходима новая пресс-форма.

Наиболее предпочтительным методом производства исследуемого материала является прессование.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Прессование проводилось на винтовом прессе. Пластины композиционного материала были разделены на отдельные образцы для проведения испытаний на теплопроводность методом пластины. Испытания на теплопроводность проведены на стенде НТЦ-22.05.1.Б. Образец данного материала представлен на рисунке 1. Режимы прессования представлены в таблице 1.

Образцы варьировались по массовому соотношению компонентов. В качестве связующего использовался двухкомпонентный сили-



Рисунок 1 – Образец композиционного материала

Таблица 1 – Режимы прессования

Массы материалов силикон/костра в композите, г/г	70/22	55/22	40/22	70/26	40/26	70/30	55/30	40/30
Давление P , кПа	294	292	289	328	325	361	358	356
Температура t , °C	28	28	25	25	27	27	28	28
Время τ , мин	120	120	120	120	120	120	120	120

кон на основе платины, имеющий твердость по Шору А 10. В качестве армирующего материала использовалась костра льна. Толщина образцов составляет 4 мм. Результаты испытания композиционного материала на теплопроводность методом пластины представлены на рисунке 2.

Результаты проведенных испытаний показывают, что данный материал является теплоизоляционным, так как теплоизоляционные материалы имеют коэффициент теплопроводности ниже 0,25 Вт/м·К [16]. Гистограмма показывает, что теплопроводность композиционного материала зависит, в первую очередь, от армирующего ма-

териала – костры льна. Наблюдается постепенное возрастание теплопроводности материала при одинаковом количестве костры и увеличении количества силикона, а также скачкообразное снижение теплопроводности при увеличении количества костры. Наиболее вероятными объяснениями данного факта является более низкое значение теплопроводности костры льна относительно силикона, и при увеличении объёмного содержания костры коэффициент теплопроводности композита уменьшается.

Для получения значения коэффициента теплопроводности силикона были изготовлены об-



Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплопроводности композита от масс материалов матрицы и наполнителя

разцы различной толщины, которые испытывались на теплопроводность. Для данных образцов использовался тот же силикон, что и для композиционного материала. По полученным данным построен график зависимости теплопроводности силикона от толщины (рисунок 3).

По полученной логарифмической зависимости было спрогнозировано значение коэффициента теплопроводности силикона толщиной 1,8 мм, которое составило 0,204 Вт/м·К. Данное значение толщины силикона было выбрано исходя из того, что в плоскости сечения образцов на их толщину, равную 4 мм, приходится от 1,8 до 2,5 мм силикона в зависимости от масс материалов в композите. Значения толщин получены с помощью расчетов. Выбранное значение толщины является минимальным и показывает максимально приближенное к образцам значение коэффициента теплопроводности. Данное значение теплопроводности больше максимального для образцов композита. Это подтверждает предположение, что с увеличением количества силикона в образцах их теплопроводности увеличиваются. Логарифмическая зависимость имеет вид:

$$y = 0,041 \cdot \ln(x) + 0,18 \quad (R^2 = 0,9569) \quad (1)$$

где x – толщина силикона, мм.

Проведенный по результатам испытаний коэффициент теплопроводности композиционного материала регрессионный анализ показал, что модель является статистически значимой. Масса костры в композиционный материал является статистически значимой величиной, ее р-значение равняется $9 \cdot 10^{-6}$, что значительно меньше уровня значимости, равного 0,05. При увеличении массы костры коэффициент теплопроводности уменьшается. Масса силикона также является статистически значимой величиной, ее р-значение равняется 0,014, однако значимость масса силикона на несколько порядков ниже, чем значимость массы костры.

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 190,046 \cdot 10^{-3} - 2,458 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 + 0,133 \cdot 10^{-3} \cdot x_2 \quad (R^2 = 0,9858) \quad (2)$$

где x_1 – масса костры, г; x_2 – масса силикона, г.

В таблице 2 показана плотность образцов композиционного материала.

Из таблицы 2 видно, что плотность композиционного материала уменьшается с увеличением массы костры и увеличивается с увеличением массы силикона. Это подтверждается результатами регрессионного анализа. Масса костры и

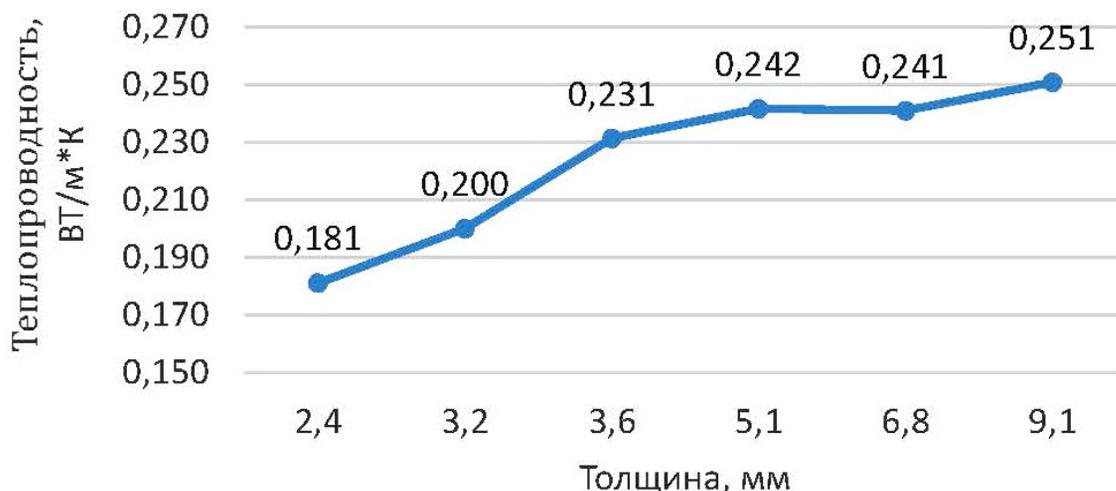


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплопроводности силикона от толщины

Таблица 2 – Плотность образцов композиционного материала

Массы материалов силикон/костра в композите, г/г	70/22	55/22	40/22	70/26	40/26	70/30	55/30	40/30
Плотность ρ , кг/м ³	817	783	764	768	748	752	729	683

силикона являются статистически значимыми величинами, их р-значение равняется 0,0012 и 0,0054 соответственно. Масса костры имеет большее значение, но имеет отрицательный характер: с увеличением массы костры плотность композиционного материала уменьшается.

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 885,389 - 8,333 \cdot x_1 + 1,578 \cdot x_2 \quad (R^2 = 0,929) \quad (3)$$

где x_1 – масса костры, г; x_2 – масса силикона, г.

Для полноты теплофизических характеристик необходимо рассчитать термическое сопротивление теплопередачи, удельную (массовую) теплоемкость и коэффициент температуропроводности образцов композиционного материала.

Термическое сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4)$$

где R – термическое сопротивление теплопередачи, м²·К/Вт; δ – толщина образца, м; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·°С.

Удельная теплоемкость численно равна количеству теплоты, которое необходимо передать единичной массе вещества для того, чтобы его температура изменилась на единицу.

$$c_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}, \quad (5)$$

где c_p – удельная теплоемкость, Дж/кг·К; Q – количество теплоты, полученное веществом при нагреве, либо выделившееся при охлаждении, Дж; ΔT – разница температур между поверхностями материала, К.

С учетом того, что режим является нестационарным, Q изменяется во времени. Тогда, согласно уравнению Фурье:

$$Q = \frac{\lambda \cdot F \cdot \Delta T \cdot \tau}{\delta}, \quad (6)$$

где F – площадь пластины, м²; τ – время, с.

Подставив уравнение (6) в (5) получится:

$$c_p = \frac{\lambda \cdot F \cdot \Delta T \cdot \tau}{\delta \cdot m \cdot \Delta T} = \frac{\lambda \cdot F \cdot \tau}{\delta \cdot \rho \cdot F \cdot \delta} = \frac{\lambda \cdot \tau}{\delta^2 \cdot \rho}, \quad (7)$$

Коэффициент температуропроводности характеризует скорость изменения температуры. Чем выше коэффициент температуропроводности, тем быстрее теплота проходит через материал.

Уравнение коэффициента температуропроводности имеет вид:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}, \quad (8)$$

где a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Подставив уравнение (7) в (8) получится:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot \lambda \cdot \tau} = \frac{\delta^2}{\tau \cdot \rho}. \quad (9)$$

Значения термического сопротивления материала, удельной (массовой) теплоёмкости и коэффициент температуропроводности образцов представлены в таблице 3.

Согласно результатам расчетов, приведенных в таблице 3, термическое сопротивление теплопередачи изменяется обратно пропорционально изменению коэффициента теплопроводности: плавно возрастает при уменьшении массы силикона и сохранении массы костры, и скачкообразно возрастает при увеличении массы костры. Это связано с большей теплопроводностью и плотностью силикона. Удельная (массовая) теплоемкость изменяется аналогично термическому сопротивлению с небольшими отклонениями, вероятно вызванными погрешностью определения коэффициента теплопроводности. Коэффициент температуропроводности остается неизменным, согласно формуле (9) при одинаковом времени он зависит только от толщины материала.

Таблица 3 – Теплофизические характеристики материала

Массы материалов силикон/костра в композите, г/г	70/22	55/22	40/22	70/26	40/26	70/30	55/30	40/30
Термическое сопротивление R , $10^3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	27,397	27,778	28,169	29,851	30,303	31,250	32,520	32,787
Удельная (массовая) теплоемкость c_p , Дж/кг·К	11,169	11,494	11,617	10,905	11,029	10,638	10,545	11,164
Коэффициент температуропроводности a , $10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

ВЫВОДЫ

Определены теплофизические свойства нового композиционного материала на основе силикона, армированного кострой льна. Результаты эксперимента по измерению коэффициента теплопроводности методом пластины показали, что новый композиционный материал является теплоизоляционным. Проведен регрессионный анализ зависимости коэффициента теплопроводности от масс материала матрицы и армирующего материала. Результаты анализа показали, что коэффициент теплопроводности зависит, в первую очередь, от массы костры. Получено уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать коэффициент теплопроводности композиционного материала при различном массовом

соотношении компонентов. Получена логарифмическая зависимость коэффициента теплопроводности силикона на основе платины, имеющей твердость по Шору А 10, от толщины.

Определена зависимость плотности композиционного материала от массового соотношения компонентов, доказано, что большее значение имеет масса костры. Получено уравнение регрессии.

Рассчитаны термическое сопротивление, удельная теплоемкость и коэффициент температуропроводности композиционного материала, являющиеся важными характеристиками теплоизоляционных материалов. Выявлена зависимость изменения термического сопротивления от соотношения компонентов материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Лисовский, Д. Л., Ясинская, Н. Н., Кузнецов, А. А. (2023), Биохимическая технология получения котонизированного льняного волокна с использованием ферментных композиций на основе пектиназ, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2023, № 1(44), С. 18–25.
- Карпунин, В. И. (2016), Отходы льна – ценное сырье для производства тарной упаковки, *Материалы 14-й Международной научно-технической конференции*, Минск, 2016, С. 314–315.
- Трещалин, М. Ю., Трещалин, Ю. М. (2019), Нетканые материалы на основе химических волокон и короткого льняного волокна, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2019, № 6(384), С. 51–55.
- Адашкин, А. М. (2021), *Материаловедение и технология металлических, неметаллических и композиционных материалов*, Москва, ИНФРА-М, 250 с.
- Das, P. P., Chaudhary V. (2021), Moving towards the era of bio fibre based polymer composites, *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, Vol. 4, pp. 100–182.
- Донецкий, К. И., Хрульков, А. В. (2015), Применение натуральных волокон при изготовлении полимерных композиционных материалов, *Труды ВИАМ*, 2015, № 2, С. 50–55.

7. Рогов, В. А., Шкарупа, М. И., Велис, А. К. (2012), Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении, *Вестник Российского университета дружбы народов*, 2012, № 2, С. 41–49.
8. Звигинцева, А. А., Бельских, Г. Н., Худицын, М. С. (2015), Создание новых композиционных материалов на основе силикона, *Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2015*, 2015, Т. 4, С. 121–123.
9. Ефремов, Н. Ю., Сулаберидзе, В. Ш., Мушенко, В. Д. (2014), Исследование влияния структуры и дисперсности фазы наполнителя на механические характеристики теплопроводящих полимерных композиционных материалов на основе силикона, *Качество. Инновации. Образование*, 2014, № 12(115), С. 49–54.
10. Худицын, М. С., Кошкин, С. С. (2017), Повышение теплопроводности силикона за счет введения мелкодисперсных наполнителей, *Молодежь и системная модернизация страны*, 2017, Т. 4, С. 109–111.
11. Пичугин, А. П., Смирнова, О. Е., Хританков, В. Ф. (2023), Композиционные прессованные материалы на основе органического сырья, *Эксперт: теория и практика*, 2023, № 2(21), С. 75–81.
12. Бакатович, А. А., Давыденко, Н. В. (2014), Опыт применения теплоизоляционных плит на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства, *Вестник гражданских инженеров*, 2014, № 5(46), С. 77–84.
13. Пантюхов, П. В., Монахова, Т. В., Попов, А. А., Русанова, С. Н. (2012), Композиционные материалы на основе полиэтилена и лигноцеллюлозных наполнителей. Структура и свойства, *Вестник Казанского технологического университета*, 2012, Т. 15, № 13, С. 177–182.
14. Чернышов, Е. А., Романов, А. Д. (2014), Современные технологии производства изделий из композиционных, *Современные наукоемкие технологии*, 2014, № 2, С. 46–51.
15. Вшивков, С. А., Тюкова, И. С. (2011), *Технология производства изделий из композиционных полимерных материалов*, Екатеринбург, УрГУ им. А. М. Горького, 70 с.
16. Исаченко, В. П., Осипова, В. А., Сукомел, А. С. (1975), *Теплопередача*, Москва, Энергия, 488 с.

REFERENCES

1. Lisovskij, D. L., Yasinskaya, N. N., Kuzniatsou, A. A. (2023), Biochemical echnology for producing cot tonized flax fiber using enzyme compositions based on pectinases [Biohimicheskaja tehnologija poluchenija kotonizirovannogo l'njanogo volokna s ispol'zovaniem fermentnyh kompozicij na osnove pektinaz], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2023, № 1(44), pp. 18–25.
2. Karpunin, V. I. (2016), Flax waste – a valuable raw material for the production of containers [Othody l'na – cennoe syr'e dlja proizvodstva tarnoj upakovki], *Proceedings of the 14th International scientific and technical conference*, Minsk, 2016, pp. 314–315.
3. Treshhalin, M. Ju., Treshhalin, Ju. M. (2019), Nonwovens based on chemical fibers and short flax fibers [Netkanye materialy na osnove himicheskikh volokon i korotkogo l'njanogo volokna], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2019, № 6(384), pp. 51–55.
4. Adaskin, A. M. (2021), *Materialovedenie i tehnologija metallicheskikh, nemetallicheskikh i kompozicionnyh materialov* [Material science and technology of metallic, non-metallic and composite materials], Moscow, INFRA-M, 250 p.
5. Das, P. P., Chaudhary V. (2021), Moving towards the era of bio fibre based polymer composites, *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, Vol. 4, pp. 100–182.
6. Donetsky, K. I., Khrulkov, A. V. (2015), Application of natural fibers in the production of polymer composite materials [Primenenie natural'nyh volokon pri izgotovlenii polimernyh kompozicionnyh materialov], *Trudy VIAM – Proceedings of VIAM*, Moscow, 2015, pp. 50–55.
7. Rogov, V. A., Shkarupa, M. I., Velis, A. K. (2012), Classification of composite materials and their role in modern mechanical engineering [Klassifikacija kompozicionnyh materialov i ih rol' v sovremennom mashinostroenii], *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov – Peoples' Friendship University of Russia*

- named after Patrice Lumumba, 2012, № 2, pp. 41–49.
8. Zvigintseva, A. A., Belskikh, G. N., Khuditsyn, M. S. (2015), Creation of new composite materials based on silicone [Sozdanie novykh kompozitsionnykh materialov na osnove silikona], *Pokolenie budushhego: Vzglyad molodykh uchennykh – 2015 – Generation of the future: View of young scientists – 2015*, 2015, Vol. 4, pp. 121–123.
 9. Efremov, N. Yu., Sulaberidze, V. Sh., Mushenko, V. D. (2014), Study of the influence of the structure and dispersion of the filler phase on the mechanical characteristics of thermally conductive polymer composite materials based on silicone [Issledovanie vliyanija struktury i dispersnosti fazy napolnitelja na mehanicheskie harakteristiki teploprovodjashhih polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove silikona], *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie – Quality. Innovation. Education*, 2014, № 12(115), pp. 49–54.
 10. Khuditsyn, M. S., Koshkin, S. S. (2017), Increasing the thermal conductivity of silicone through the introduction of fine fillers [Povyshenie teploprovodnosti silikona za schet vvedenija melkodispersnykh napolnitelej], *Molodezh' i sistemnaja modernizacija strany – Youth and system modernization of the country*, 2017, Vol. 4, pp. 109–111.
 11. Pichugin, A. P., Smirnova, O. E., Khritankov, V. F. (2023), Composite pressed materials based on organic raw materials [Kompozitsionnye pressovannye materialy na osnove organicheskogo syr'ja], *Jekspert: teorija i praktika – Expert: theory and practice*, 2023, № 2(21), pp. 75–81.
 12. Bakatovich, A. A., Davydenko, N. V. (2014), Experience in the use of thermal insulation boards based on agricultural plant waste [Opyt primenenija teploizoljacionnykh plit na osnove rastitel'nykh othodov sel'skohozjajstvennogo proizvodstva], *Vestnik grazhdanskih inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2014, № 5(46), pp. 77–84.
 13. Pantyukhov, P. V., Monakhova, T. V., Popov, A. A., Rusanova, S. N. (2012), Composite materials based on polyethylene and lignocellulosic fillers. Structure and properties [Kompozitsionnye materialy na osnove polijetilena i lignocelljuloznykh napolnitelej. Struktura i svojstva], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University*, 2012, Vol. 15, № 13, pp. 177–182.
 14. Chernyshov, E. A., Romanov, A. D. (2014), Modern technologies for the production of products from composite materials [Sovremennye tehnologii proizvodstva izdelij iz kompozitsionnykh], *Sovremennye naukoemkie tehnologii – Modern high technologies*, 2014, № 2, pp. 46–51.
 15. Vshivkov, S. A., Tyukova, I. S. (2011), *Tehnologija proizvodstva izdelij iz kompozitsionnykh polimernykh materialov* [Technology for the production of products from composite polymer materials], Ekaterinburg, Ural State University, 2011, 70 p.
 16. Isachenko, V. P., Osipova, V. A., Sukomel, A. S. (1975), *Teploperedacha* [Heat transfer], Moskva, Energy, 488 p.

Информация об авторах**Information about the authors****Котович Антон Викторович**

Аспирант, ассистент кафедры «Технология машиностроения», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь. E-mail: anton.kotovich97@gmail.com

Ольшанский Валерий Иосифович

Кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

Anton V. Kotovich

Postgraduate Student, Assistant at the Department “Mechanical Engineering Technology”, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: anton.kotovich97@gmail.com

Valery I. Alshanski

Candidate of Sciences (in Engineering), Professor, Chair of the Department “Thermal Power Engineering”, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.