

И.В. СТЕПИНА¹, М. СОДОМОН¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия**БИОСТОЙКИЙ РАСТИТЕЛЬНЫЙ КОМПОЗИТ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ**

Аннотация. На основе измельченных пористых стеблей борщевика Сосновского, модифицированных с целью обеспечения биостойкости боразотным соединением, с использованием органополимерных связующих получены композиты различного состава и структуры. Размер частиц растительного сырья варьировался от 1 до 10 мм. В качестве связующих использовались поливинилацетат, полиуретан и казеин. Соотношение компонентов (растительное сырьё: полимер) в композитах составляло 3:1 по массе. Путем применения соответствующих ГОСТовских методик исследованы биостойкость и теплофизические свойства полученных композитов.

Установлено, что предварительное модифицирование частиц растительного сырья моноэтаноламин(NB)-тригидроксидборатом позволяет обеспечить 100%-ную биостойкость композитных материалов на основе используемого сырья и органополимерных связующих. Причем применение указанного модификатора равно эффективно для всех композитов, полученных с использованием различных видов связующих: полиуретановое, поливинилацетатное и казеиновое. Полученные композиты на основе модифицированного растительного сырья и органополимерных связующих являются теплоизоляционными материалами, характеризующимися соответствующими коэффициентами теплопроводности и плотности.

Композиты на основе полиуретанового связующего обладают пониженной теплопроводностью по сравнению с композитами на основе поливинилацетатного и казеинового связующих и относятся к классу А. Полиуретановое связующее обеспечивает полученным композитам с размером частиц 5 мм повышенную прочность на сжатие по сравнению с прочностью композитов на основе поливинилацетатного и казеинового связующих. Таким образом, оптимальным составом биостойкого теплоизоляционного материала является состав на основе модифицированного растительного сырья с размером частиц 5 мм и полиуретанового связующего.

Ключевые слова: композит, теплопроводность, плотность, прочность, биостойкость.

I.V. STEPINA¹, M. SODOMON¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia**BIOSTABLE VEGETAL COMPOSITE FOR THERMAL INSULATION**

Abstract. Composites of different composition and structure have been obtained on the basis of crushed porous stems of Sosnovsky's hogweed modified with borazote for biostability with the use of organopolymer binders. The particle size of the plant material varied from 1 to 10 mm. Polyvinyl acetate, polyurethane, and casein were used as binders. The ratio of the components (vegetable raw material: polymer) in the composites was 3:1 by mass. Biostability and thermophysical properties of the composites obtained were investigated by applying appropriate GOST methods.

It was established that the preliminary modification of vegetable raw material particles with monoethanolamine (NB)-trihydroxyborate provides 100% biostability of composite materials based on used raw materials and organopolymer binders. The use of the above modifier is equally effective for all composites obtained using different types of binders: polyurethane, polyvinyl acetate, and casein. The composites obtained on the basis of modified plant raw materials and organopolymer binders are heat-insulating materials characterized by appropriate coefficients of thermal conductivity and density.

Composites based on polyurethane binders have lower thermal conductivity compared to composites based on polyvinyl acetate and casein binders and belong to class A.

The polyurethane binder provides the resulting composites with a particle size of 5 mm with an increased compressive strength as compared to the composites based on polyvinyl acetate and casein binders. Thus, the optimal composition of biostable heat insulating material is the composition based on modified plant raw materials with a particle size of 5 mm and polyurethane binder.

Keywords: composite, thermal conductivity, density, strength, biostability.

Введение

В качестве источника сырья для получения композитного теплоизоляционного материала мы использовали измельченные стебли широко распространенного на территории Московской области и всей европейской части России инвазивного вида – борщевика Сосновского. Присутствие этого растения в составе агробиоценозов крайне нежелательно. Существует даже правительственная программа, направленная на борьбу с распространением борщевика. С 1 ноября 2018 года в Московской области введена административная ответственность за непроведение мероприятий по удалению с земельных участков борщевика Сосновского (часть 5 ст. 6.11 закона Московской области № 37/2016-ОЗ «Кодекс Московской области об административных правонарушениях»). Такое отношение к борщевiku связано с высокой опасностью для человека при контакте с листвой этого растения в период активной вегетации. Фуранокумарины, содержащиеся в зеленых частях, вызывают сильные ожоги и отравления [1, 2]. Таким образом, мы попытались решить сразу две проблемы – сэкономить на сырье при производстве композиционных материалов и, за счет изъятия вегетативных частей борщевика из составов растительных сообществ, очистить экосистемы региона от его присутствия. В этой связи актуальность выполненной работы не вызывает сомнений.

Благодаря пористому строению стеблей, биомасса борщевика Сосновского может быть использована для создания теплоизоляционного композиционного материала. Растительное сырье (РС) является достаточно популярным объектом, используемым для производства теплоизоляционных строительных материалов. Так, в работах [3-7] описаны технологии, разработанные авторами для получения теплоизоляционных строительных материалов на основе льняной костры, образующейся в качестве отходов льноперерабатывающей промышленности. Однако, для центрального региона России эта технология неактуальна из-за ограниченности сырьевых ресурсов. В работах [8-12] описаны теплоизоляционные материалы, полученные на основе соломы и лузги подсолнечника. Множество работ [13-17] посвящено использованию отходов деревообработки для производства теплоизоляционных материалов. Но, к сожалению, авторы исследований не уделяют должного внимания биостойкости конечных продуктов. Ведь и древесное и, тем более, растительное сырье подвержено воздействию плесневых и дереворазрушающих грибов. Видимо поэтому разработанные теплоизоляционные материалы на основе РС и отходов древесины не нашли широкого применения на практике. Решению данной проблемы и посвящена настоящая работа.

Материалы и методы

Сбор сырья осуществлялся в сентябре, после завершения периода активной вегетации. Сухие стебли борщевика не представляют опасности. Собранный материал подвергался очистке и измельчению на три фракции: ~ 1 мм, ~ 5 мм и ~ 10 мм. Каждую фракцию модифицировали методом погружения в 30%-ный водный раствор моноэтаноламин(НВ)-тригидроксидбората (МЭАТГБ) при постоянном помешивании в течение трех часов. Выбор состава модификатора обусловлен проведенными ранее исследованиями [18]. Затем РС отфильтровывалось и высушивалось на воздухе при комнатной температуре до постоянной массы. Модифицированное и нативное РС спрессовывалось в образцы заданной формы с использованием различных органополимерных связующих. В качестве последних применялись поливинилацетат (ПВА), полиуретан (ПУ) и казеиновый клей (КК). Перечень вариантов полученных композитов с описанием состава и структуры представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и структура исследуемых композитов

№	Условное обозначение	Размер частиц РС, мм	Модифицирование	Природа связующего
1	РС1ПУ	1	-	ПУ
2	РС5ПУ	5	-	ПУ
3	РС10ПУ	10	-	ПУ
4	РС1мПУ	1	+	ПУ
5	РС5мПУ	5	+	ПУ
6	РС10мПУ	10	+	ПУ
7	РС1ПВА	1	-	ПВА
8	РС5ПВА	5	-	ПВА
9	РС10ПВА	10	-	ПВА
10	РС1мПВА	1	+	ПВА
11	РС5мПВА	5	+	ПВА
12	РС10мПВА	10	+	ПВА
13	РС1КК	1	-	КК
14	РС5КК	5	-	КК
15	РС10КК	10	-	КК
16	РС1мКК	1	+	КК
17	РС5мКК	5	+	КК
18	РС10мКК	10	+	КК

Испытания полученных композитов на стойкость к воздействию плесневых грибов проводили в лаборатории тропических технологий ИПЭЭ РАН в соответствии с ГОСТ 9.048-89. Испытуемые образцы помещались в открытые чашки Петри и заражались суспензией спор грибов *Aspergillus niger* van Tieghem, *Aspergillus terreus* Thom, *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud, *Paecilomyces varioti* Bainier, *Penicillium funiculosum* Thom, *Penicillium ochrochloron* Biourge, *Scopulariopsis brevicaulis* Bainier, *Trichoderma viride* Pers. Ex Fr. Зараженные образцы помещали в эксикатор и выдерживали в условиях, оптимальных для роста грибов: температуре 27–28 °С и влажности 98% в течение 28 суток.

Теплопроводность оценивали по ГОСТ 7076-99 с использованием электронного измерителя теплопроводности ИТП-МГ4. Прочность и плотность образцов оценивали в соответствии с ГОСТ 17177-94.

Результаты и обсуждение

Внешний вид образцов различного гранулометрического состава представлен на рисунке 1.

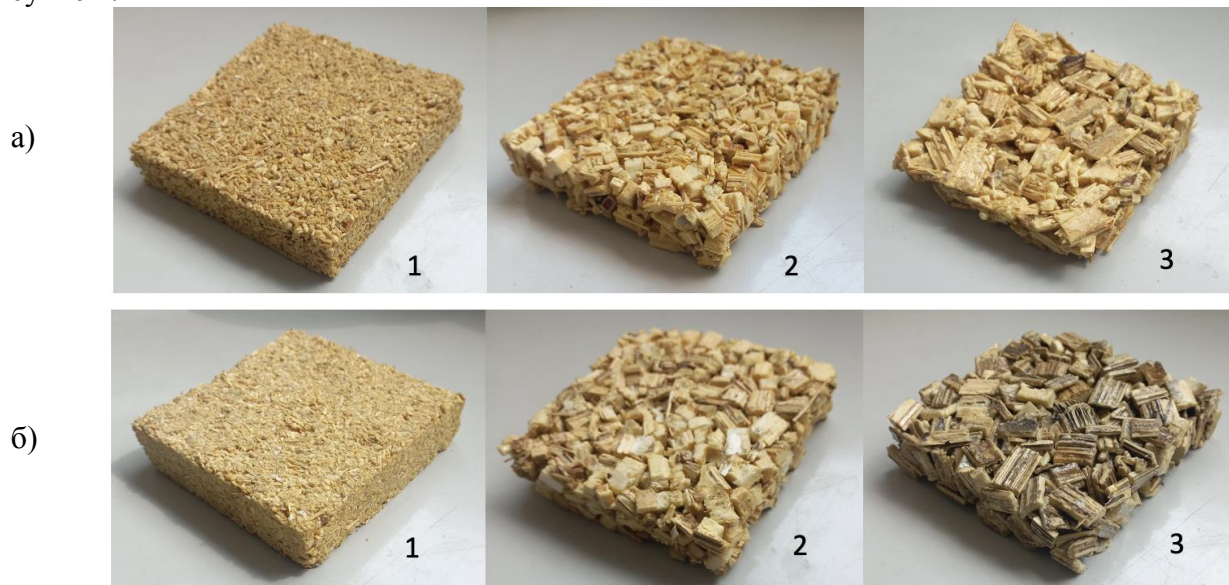


Рисунок 1 – Внешний вид образцов:

а) на основе модифицированного РС; б) на основе не модифицированного РС
 1 – размер частиц РС 1 мм; 2 – 5 мм; 3 – 10 мм.

Из рисунка 1 видно, что модификация РС несколько улучшает внешний вид образцов. После модифицирования исчезает темно-серый налет, обусловленный развитием плесневых грибов на поверхности РС, и композиты приобретают более выраженное золотистое окрашивание.

Биостойкость образцов композитных материалов с размером частиц 5 мм оценивали по 5-ти бальной шкале (ГОСТ 9.048-89): «0» баллов – абсолютно чистые образцы, отсутствие проросших конидий и развития колоний (визуально и под микроскопом); «1» балл – визуально чистые образцы, под микроскопом видны лишь мелкие очаги мицелия в виде отдельных пятен, спороношение отсутствует; «2» балла – поверхностное развитие мицелия в виде многочисленных пятен, спороношение отсутствует; «3» балла – обильное разрастание мицелия по поверхности образца, начало спороношения; «4» балла – при визуальном осмотре отчетливо виден сплошной рост мицелия и спороношение; «5» баллов – глубокое поражение мицелием всей площади образца при интенсивном спороношении.

Внешний вид образцов после испытаний представлен на рисунке 2.

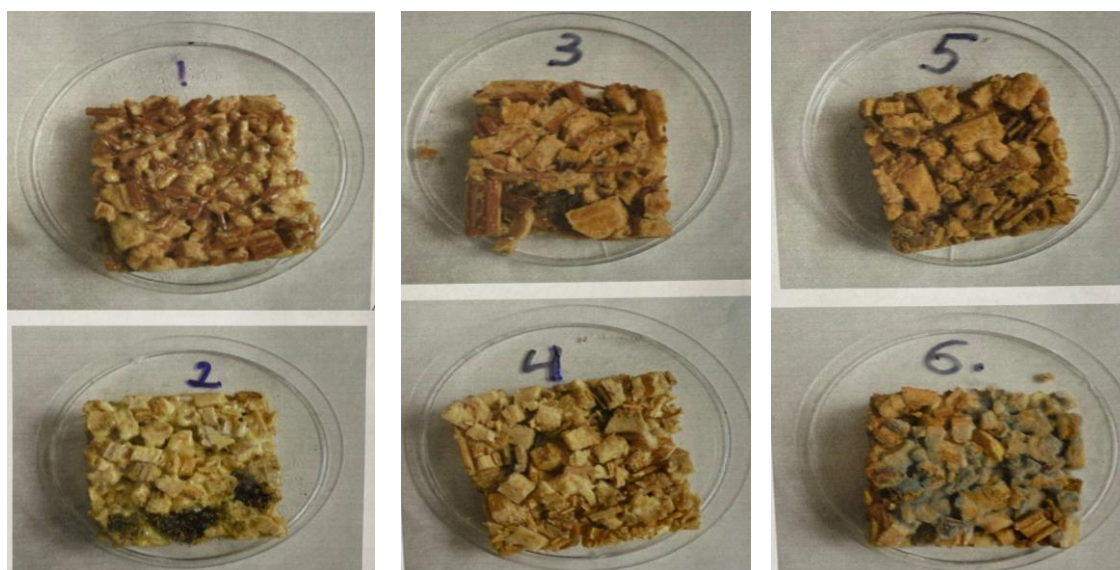


Рисунок 2 – Внешний вид образцов после испытаний по ГОСТ 9.048-89:
1 - РС5мПУ; 2 - РС5ПУ; 3 - РС5мПВА; 4 - РС5ПВА; 5 - РС5мКК; 6 - РС5КК

В таблице 2 приводится подробное описание состояния образцов после испытаний с указанием степени грибного заражения в баллах.

Таблица 2 – Степень грибного поражения образцов в баллах (ГОСТ 9.048-89)

№ п/п	Наименование образца	Состояние	Балл
1	РС5мПУ	Визуально и под микроскопом отсутствие конидий и проросших спор грибов	0
2	РС5ПУ	25% поверхности обросло плесневыми грибами, преимущественно <i>Aspergillus niger</i> .	4
3	РС5мПВА	Визуально и под микроскопом отсутствие конидий и проросших спор грибов.	0
4	РС5ПВА	Под микроскопом видны проросшие споры и едва развитый мицелий.	1
5	РС5мКК	Визуально и под микроскопом отсутствие конидий и проросших спор грибов	0
6	РС5КК	Сплошной рост мицелия и спороношение, преимущественно <i>Penicillium funiculosum</i>	5

Из полученных опытных данных рисунка 1 и таблицы 2 видно, что не модифицированные МЭАТГБ образцы подверглись грибному поражению. Причем максимальная степень поражения отмечается для не модифицированных образцов на казеиновом связующем (РС5КК). Это можно объяснить природным происхождением

связующего, произведенного на основе молочного белка. ПУ связующее и связующее на основе ПВА подавляет развитие грибов на поверхности композитов. ПУ – незначительно, всего на один балл, а ПВА – весьма существенно (разность с максимальным значением составляет четыре балла). Причина кроется в природе связующих. ПУ является искусственным полимером, полученным путем химической переработки природного сырья, а ПВА – это синтетический полимер.

Важно отметить, что ни на одном образце, полученном из предварительно модифицированного МЭАТГБ растительного сырья, не отмечается роста грибных мицелиев. Балл грибного поражения для образцов РС5мПУ, РС5мПВА и РС5мКК равен «0». В этом случае можно говорить о 100%-ной биостойкости композитов.

В таблице 3 представлены средние значения плотности и теплопроводности полученных композитов.

Таблица 3 – Плотность и теплопроводность полученных композитов

№	Условное обозначение	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
1	РС1ПУ	229	0,057
2	РС5ПУ	142	0,050
3	РС10ПУ	116	0,048
4	РС1мПУ	323	0,066
5	РС5мПУ	182	0,055
6	РС10мПУ	153	0,053
7	РС1ПВА	272	0,056
8	РС5ПВА	150	0,055
9	РС10ПВА	129	0,049
10	РС1мПВА	364	0,081
11	РС5мПВА	206	0,062
12	РС10мПВА	196	0,055
13	РС1КК	284	0,060
14	РС5КК	123	0,054
15	РС10КК	102	0,050
16	РС1мКК	355	0,078
17	РС5мКК	201	0,064
18	РС10мКК	164	0,058

Из результатов, приведенных в таблице 3, следует, что теплопроводность различных композитных материалов, полученных с использованием трех различных видов связующих, варьируется в зависимости от используемых связующих и размеров частиц растительного сырья. Видно, что для всех испытанных образцов средний коэффициент теплопроводности менее 0,175 Вт/(м·°C), а также средняя плотность менее 500 кг/м³ [ГОСТ 16381-77]. Это позволяет сделать вывод, что все полученные композитные материалы являются теплоизоляционными материалами [EN 13986:2004].

Однако следует отметить, что результаты, полученные при использовании полиуретанового связующего, лучше по сравнению с двумя другими связующими – ПВА и казеиновым клеем. Также важно отметить, что композитные материалы, полученные с предварительной модификацией РС с использованием модификатора МЭАТГБ, имеют близкие результаты коэффициента теплопроводности с не модифицированными материалами при одинаковых размерах частиц растительного сырья. Таким образом, предварительная модификация частиц растительного сырья, из которого изготовлены композитные материалы, не приводит к значительному увеличению их теплопроводности независимо от размера используемых частиц стеблей по сравнению с не модифицированными композитными материалами. Из представленных значений таблицы 3 видно, что чем меньше плотность панелей (чем больше в них пустот), тем ниже их теплопроводность. Это полностью

согласуется с литературными данными о том, что теплопроводность воздуха ниже, чем у твердых веществ [19].

Далее следует отметить, что в отношении ранжирования теплопроводности мы имеем следующее. Для всех композитов, полученных с использованием не модифицированных частиц (размером 1 мм, 5 мм, 10 мм) измельченных стеблей растительного сырья с тремя полимерорганическими связующими, мы отметили проводимость ниже 0,066 Вт/(м·°C), что соответствует теплоизоляционным материалам с низкой теплопроводностью и, следовательно, классу А [20]. В то время как для композитных материалов, полученных с использованием частиц растительного материала, обработанных раствором МЕАТНВ, только частицы размером 5 мм и 10 мм с полиуретановым связующим имеют проводимость ниже 0,060 w/(m·°C), а остальные имеют проводимость выше 0,060 w/(m·°C) и ниже 0,115 w/(m·°C), что соответствует изоляционным материалам средней проводимости и, следовательно, класса В [20]. Эти различия, наблюдаемые по увеличению плотности и коэффициентов теплопроводности, обусловлены проникновением модификатора в структуру частиц растительного сырья. Это означает, что, несмотря на модификацию частиц измельченных стеблей растительного сырья при получении композитных материалов, последние демонстрируют хорошие показатели по теплопроводности и к тому же приобретают 100%-ную биостойкость, что дает значительное преимущество перед материалами из необработанных частиц.

Кроме того, была определена прочность на сжатие композитов, полученных с частицами размером 5 мм, модифицированных МЭАТГБ, и средние результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Прочность полученных композитов

№ пп	Условное обозначение	Прочности на сжатие, МПа
1	РС5ПУ	0,41
2	РС5мПУ	0,40
3	РС5ПВА	0,22
4	РС5мПВА	0,24
5	РС5КК	0,23
6	РС5мКК	0,20

Исходя из результатов таблицы 4, следует отметить, что средние показатели прочности на сжатие соответствуют показателям теплоизоляционных материалов для всех испытанных образцов [20]. Однако, очевидно, что композиты на основе ПУ двукратно превышают по прочности композиты на основе ПВА и КК.

Выводы

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы. Предварительное модифицирование частиц растительного сырья моноэтаноламин(НВ)-тригидроксисборатом позволяет обеспечить 100%-ную биостойкость композитных материалов на основе используемого сырья и органополимерных связующих. Причем применение указанного модификатора равно эффективно для всех композитов, полученных с использованием различных видов связующих: полиуретановое, поливинилацетатное и казеиновое. Полученные композиты на основе модифицированного растительного сырья и органополимерных связующих являются теплоизоляционными материалами, характеризующимися соответствующими коэффициентами теплопроводности и плотности.

Композиты на основе полиуретанового связующего обладают пониженной теплопроводностью по сравнению с композитами на основе поливинилацетатного и казеинового связующих и относятся к классу А. Полиуретановое связующее обеспечивает

полученным композитам с размером частиц 5 мм повышенную прочность на сжатие по сравнению с прочностью композитов на основе поливинилацетатного и казеинового связующих. Таким образом, оптимальным составом биостойкого теплоизоляционного материала является состав на основе модифицированного растительного сырья с размером частиц 5 мм и полиуретанового связующего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лунева Н.Н. Борщевик Сосновского в Российской Федерации // Защита и карантин растений. 2014. № 3. С. 12-18.
2. Мыслик Е.Н. Потенциальный ареал борщевика Сосновского на территории России // Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем: Материалы 3-го Всероссийского съезда по защите растений в 3-х томах, Санкт-Петербург, 16–20 декабря 2013 года / Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР); главный редактор В.А. Павлюшин. – Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2013. С. 301-302.
3. Смирнова О.Е., Селихова В.С. Возможности изготовления теплоизоляционных материалов на основе органических отходов // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2017. Т. 20. № 2(65). С. 120-130.
4. Колосова А.С., Пикалова Е.С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на органической основе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 4. С. 74-85.
5. Белопухов С.Л., Кочаров С.А., Сторчевой В.Ф. Теплоизоляционные материалы из отходов льняного производства // Научное обозрение. 2016. № 4. С. 15-20.
6. Давыденко Н.В., Бакатович А.А. Эксплуатационные показатели и технологические особенности производства костросоломенных плит // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2015. № 16. С. 61-65.
7. Давыденко Н.В. Эксплуатационно-технологические характеристики костросоломенных плит // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2011. № 8. С. 85-90.
8. Солдатов Д.А., Хозин В.Г. Теплоизоляционные материалы на основе соломы // Известия КазГАСУ. 2013. № 1 (23). С. 197-201.
9. Карпова Д.А. Использование отходов растениеводства в производстве строительных материалов // IV Международный студенческий строительный форум - 2019: Сборник докладов (К 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова), Белгород, 26 ноября 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. С. 284-289.
10. Степанов Н.Д. Энергоэффективность строительства каркасно-соломенных домов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 1. С. 207-211.
11. Дубатовка А.И., Твердохлебов Р.В. Обзор технических свойств целлюлозной изоляции // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2018. № 8. С. 67-81.
12. Ильвицкая С.В., Ильвицкий Д.Ю., Лобков В.А. [и др.] Природные материалы в "зеленой" архитектуре жилища // Строительные материалы. 2018. № 10. С. 69.
13. Pasztory Z., Borcsok Z., Bazhelka I. K. [et al.] Thermal insulation panels from tree bark // Proceedings of BSTU. Issue 1, Forestry, Nature Management, Processing of Renewable Resources. 2021. No 1(240). P. 141-149.
14. Wenig C., Hehemeyer-Cürten J., Reppe F.J. [et al.] Advanced materials design based on waste wood and bark // Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (Series A). 2021. Vol. 379. No. 2206. P. 20200345.
15. Ibragimov A.M., Fedotov A.A. Research physic-mechanical properties of composite materials on the base of crushed wood // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 3, Moscow, 18 мая 2018 года. Moscow, 2018. P. 012028.
16. Han Y., Qin T., Chu F. Preparation and properties of polyurethane heat insulating building materials based on lignin // Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 193-194. Pp. 505-508.
17. Zhang X., Hao X., Hao J., Wang Q. Thermal and mechanical properties of wood-plastic composites filled with multiwalled carbon nanotubes // Journal of Applied Polymer Science. 2018. Vol. 135. No. 22. P. 46308.
18. Степина И.В., Содомон М., Семенов В.С. [и др.] Повышение биостойкости стеблей борщевика Сосновского в качестве сырья для производства строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 2(746). С. 79-91.
19. Zhou X., Zheng F., Li H., Lu C. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers // Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. No. 7. Pp. 1070-1074.

20. Халиков Д.А. Классификация теплоизоляционных материалов по функциональному назначению // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-6. С. 1287-1291. [Электронный ресурс]. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35716> (дата обращения: 12.08.2022).

REFERENCES

1. Luneva N.N. Borshchevik Sosnovskogo v Rossijskoj Federacii [Sosnovsky's hogweed in the Russian Federation] // Zashchita i karantin rastenij. 2014. No. 3. Pp. 12-18. (rus).
2. Mysnik E.N. Potencial'nyj areal borshchevika Sosnovskogo na territorii Rossii [Potential area of Sosnovsky's hogweed in Russia] // Fitosanitarnaya optimizaciya agroekosistem: Materialy 3-go Vserossijskogo s "ezda po zashchite rastenij v 3-h tomah, Sankt-Peterburg, December 16–20, 2013 goda / Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut zashchity rastenij (VIZR), glavnyj redaktor V.A. Pavlyushin, Sankt-Peterburg: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut zashchity rastenij RASKHN, 2013. Pp. 301-302. (rus).
3. Smirnova O.E., Selikhova V.S. Vozmozhnosti izgotovleniya teploizolyacionnyh materialov na osnove organicheskikh othodov [Possibilities of manufacturing heat-insulating materials based on organic waste] // Trudy Novosibirskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta (Sibstrin). 2017. T. 20. No. 2(65). Pp.120-130. (rus).
4. Kolosova A.S., Pikalova E.S. Sovremennye effektivnye teploizolyacionnye materialy na organicheskoy osnove [Modern efficient organic-based heat-insulating materials] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2021. No. 4. Pp. 74-85. (rus).
5. Belopuhov S.L., Kocharov S.A., Storchevoy V.F. Teploizolyacionnye materialy iz othodov l'nyanogo proizvodstva [Thermal insulation materials from flax production waste] // Nauchnoe obozrenie. 2016. No. 4. Pp. 15-20. (rus).
6. Davydenko N.V., Bakatovich A.A. Ekspluatacionnye pokazateli i tekhnologicheskie osobennosti proizvodstva kostrosolomennyh плит [Operational indicators and technological features of the production of straw straw slabs] // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2015. No. 16. Pp. 61-65. (rus).
7. Davydenko N.V. Ekspluatacionno-tekhnologicheskie harakteristiki kostrosolomennyh плит [Operational and technological characteristics of straw straw slabs] // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2011. No. 8. Pp. 85-90. (rus).
8. Soldatov D. A., Hozin V. G. Teploizolyacionnye materialy na osnove solomy [Straw based thermal insulation materials] // Izvestiya KazGASU. 2013. No. 1 (23). Pp.197-201. (rus).
9. Karpova D.A. Ispol'zovanie othodov rastenievodstva v proizvodstve stroitel'nyh materialov [Use of crop waste in the production of building materials] // IV Mezhdunarodnyj studencheskij stroitel'nyj forum - 2019: Sbornik dokladov (K 65th anniversary of BG TU im. V.G. Shuhova), Belgorod, November 26, 2019 year. – Belgorod: Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova, 2019. Pp.284-289. (rus).
10. Stepanov N.D. Energoeffektivnost' stroitel'stva karkasno-solomennyh domov [Energy efficiency of construction of frame-straw houses] // Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. theory and practice. 2019. T. 1. Pp.207-211. (rus).
11. Dubatovka A.I., Tverdokhlebov R.V. Obzor tekhnicheskikh svoystv cellyuloznoj izolyacii [Overview of the technical properties of cellulose insulation] // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2018. No. 8. Pp. 67-81. (rus).
12. Il'vickaya S.V., Il'vickij D.YU., Lobkov V.A. [et al.] Prirodnye materialy v "zelenoj" arhitekture zhilishcha [Natural materials in the "green" architecture of the home] // Stroitel'nye materialy. 2018. No. 10. P.69. (rus).
13. Pasztory Z., Borcsok Z., Bazhelka I. K. [et al.] Thermal insulation panels from tree bark // Proceedings of BSTU. Issue 1, Forestry, Nature Management, Processing of Renewable Resources. 2021. No. 1(240). Pp. 141-149.
14. Wenig C., Hehemeyer-Cürten J., Reppe F.J. [et al.] Advanced materials design based on waste wood and bark // Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (Series A). 2021. Vol. 379. No. 2206. P. 20200345.
15. Ibragimov A.M., Fedotov A.A. Research physic-mechanical properties of composite materials on the base of crushed wood // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 3, Moscow, 18 мая 2018 года. Moscow, 2018. P. 012028.
16. Han Y., Qin T., Chu F. Preparation and properties of polyurethane heat insulating building materials based on lignin // Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 193-194. Pp. 505-508.
17. Zhang X., Hao X., Hao J., Wang Q. Thermal and mechanical properties of wood-plastic composites filled with multiwalled carbon nanotubes // Journal of Applied Polymer Science. 2018. Vol. 135. No 22. P. 46308.
18. Stepina I.V., Sodomon M., Semenov V.S. [et al.] Povyshenie biostojkosti stebel' borshchevika Sosnovskogo v kachestve syr'ya dlya proizvodstva stroitel'nyh materialov [Increasing the biostability of hogweed Sosnovski stems as a raw material for the production of building materials] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2021. No. 2(746). Pp. 79-91. (rus).

19. Zhou X., Zheng F., Li H., Lu C. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers // Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. No. 7. Pp. 1070-1074.
20. Khalikov D.A. Klassifikaciya teploizolyacionnyh materialov po funkcional'nomu naznacheniyu [Classification of heat-insulating materials according to their functional purpose] // Fundamental research. 2014. No. 11-6. Pp. 1287-1291. [Online]. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35716> (date of access: 08/12/2022). (rus).

Информация об авторах:

Степина Ирина Васильевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,
доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения.
E-mail: sudeykina@mail.ru

Содомон Марк

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
г. Москва, Россия,
аспирант кафедры строительного материаловедения.
E-mail: sodomonmarc@yahoo.fr

Information about authors:

Stepina Irina V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
docent, candidate of technical sciences, lecturer of the Department of Building Materials Science.
E-mail: sudeykina@mail.ru

Sodomon Mark

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
postgraduate student of the department of building materials science.
E-mail: sodomonmarc@yahoo.fr