



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.115

Влияние древесного наполнителя и магнезита на прочность композиционного материала

А.А. Сапунова^{1,*}, А.А. Титунин^{1,2}

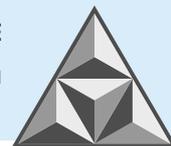
Анастасия Александровна Сапунова

¹Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Кострома, Российская Федерация
*krilovaaa@yandex.ru**

Андрей Александрович Титунин

¹Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Кострома, Российская Федерация

²Костромской государственный университет, Кострома, Российская Федерация
a_titunin@ksu.edu.ru



В решении стратегических задач развития строительного комплекса важную роль играют исследования в области создания новых композиционных материалов, в том числе на основе магниезиального вяжущего и древесной стружки – отходов деревообрабатывающих производств. Различия в форме, размерах и фракционном составе стружки и щепы, которая используется при изготовлении материала-аналога (арболита), определяют необходимость обоснования состава основных компонентов смеси. В ходе экспериментальных исследований установлена взаимосвязь прочностных свойств древесно-минерального композита (ДМК) с долей древесного наполнителя в структуре материала. Выявлена особенность изменения прочности ДМК на сжатие и изгиб при увеличении массового содержания древесной стружки. С учетом интенсивности изменения показателей прочностных свойств, при разработке рационального состава ДМК рекомендовано поддерживать отношение древесная стружка : магниезиальное вяжущее на уровне 20 : 80.

Ключевые слова: композиционный материал, магнезит, древесные отходы, прочность при изгибе, прочность при сжатии, состав композита

Для цитирования:

Сапунова А.А., Титунин А.А. Влияние древесного наполнителя и магнезита на прочность композиционного материала // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 19-30.
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



SCIENTIFIC ARTICLE

Influence of the share of wood filler and magnesite on the strength of composite

A.A. Sapunova^{1,*}, A.A. Titunin^{1,2}

Anastasiya A. Sapunova

¹Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia

*krilovaaa@yandex.ru**

Andrey A. Titunin

¹Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia

²Kostroma State University, Kostroma, Russia

a_titunin@ksu.edu.ru

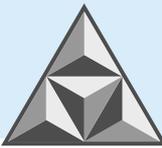


Research in the field of creating new composite materials, including those based on magnesia binder and wood shavings – wood raw material - plays an important role in solving strategic tasks of construction complex development. Differences in the shape, size, and fractional composition of chips and wood shavings, which is used in the manufacture of the material-analogue (arbolite), determine the need to substantiate the composition of mixture main components. According the research, we obtained the relationship between the strength properties of wood-mineral composite (WMC) and the proportion of wood filler in the structure of the material. The study revealed relation of change in the compressive and bending strength indices of WMC with increasing mass content of wood shavings. It is recommended to maintain the ratio of wood shaving : magnesia binder at the level of 20 : 80, taking into account the intensity of strength properties change in the development of rational WMC composition.

Keywords: composite, magnesite, wood waste, flexural strength, compressive strength, composite structure

For citation:

Sapunova, A.A. & Titunin, A.A. (2024) Influence of the share of wood filler and magnesite on the strength of composite, *Smart Composite in Construction*, 5(1), pp. 19-30 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v5n1_2024



ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние строительного комплекса России характеризуется увеличением темпов и объемов малоэтажного строительства. За 2023 год было введено 86 млн м² жилья, 60% из которых составляет малоэтажное строительство [1]. На смену традиционным строительным материалам приходят новые, которые позволяют снизить затраты и сроки строительства за счет своих уникальных свойств.

Одним из таких материалов являются композиты. В целом, мировой рынок композитов оценивается на сегодняшний день в 80 млрд долл. Лидерами этого рынка являются Китай – 32% (25.6 млрд долл.) и США – 26% (21.6 млрд долл.). Сегмент России составляет 1% (1.1 млрд долл.). Основными отраслями-потребителями при этом являются строительство (35%) и гражданское авиа- и судостроение (19%) [2].

Среди многообразия современных материалов особого внимания заслуживают композиты на основе древесного наполнителя и минерального вяжущего. В России и за рубежом накоплен достаточный опыт получения и применения таких композиционных материалов, как арболит, фибролит и различные виды легких бетонов на древесном наполнителе. Они успешно применяются для внутренних перегородок и наружных ограждающих конструкций при каркасном строительстве, также возможно их применение в качестве несущих конструкций при одноэтажном строительстве [3-5].

В отличие от известного аналога – арболита, в исследуемом композиционном материале конструкционно-теплоизоляционного назначения в качестве вяжущего используется магнезиальный цемент, который представляет собой тонкоизмельченный каустический магнезит MgO или каустический доломит MgO·CaCO₃. Его обычно затворяют шестиводным раствором хлористого магния (бишофита MgCl₂·6H₂O). Наполнителем является древесная стружка, образующаяся после строгания заготовок на четырехсторонних станках в производстве деревянных клееных конструкций, клееного профилированного бруса, CLT-панелей и многих других столярно-строительных изделий.

Древесная стружка, с одной стороны, является отходом производства, а с другой стороны – значительным резервом сырьевого обеспечения производства древесно-минеральных композитов (ДМК). Этот резерв во многих регионах России пока используются не более чем на 30% от общего объема [6-8].

Как известно, стружка от четырехсторонних станков по своей форме и фракционному составу существенно отличается от опилок, щепы или дробленки, что оказывает влияние на процесс структурообразования и свойства древесно-минерального композита. В составе древесно-минерального композиционного материала древесные частицы выполняют роль армирующего агента. В процессе структурообразования композита наблюдается возникновение адгезионных связей между древесным наполнителем и вяжущим. Предположительно, с увеличением количества древесных частиц в матрице уменьшается адгезионная связь и, следовательно, прочность.

Одним из условий получения древесно-минерального композита с устойчивыми показателями является стабилизация объема древесного наполнителя. В идеальной модели древесные частицы в матрице имеют равномерное распределение в объеме смеси и ориентированное в горизонтальной плоскости расположение. Расстояние между частицами одинаковое, и вяжущее полностью заполняет пустоты (рис. 1).

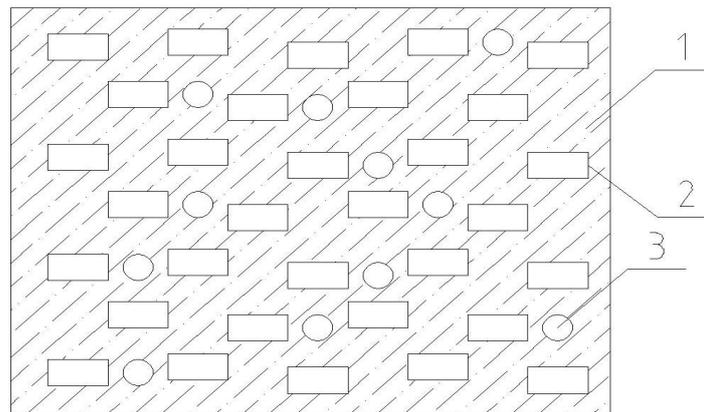
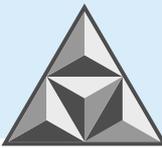


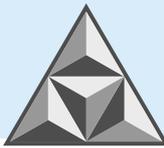
Рис. 1. Структурная модель древесно-минерального композита: 1 – матрица; 2 – древесные частицы; 3 – воздух
Fig. 1. Structural model of wood-mineral composite (WMC): 1 – matrix; 2 – wood particles; 3 – air

Равномерное распределение древесных частиц в матрице достигается за счет качественного перемешивания компонентов. Матрица в древесно-минеральном композите обеспечивает монолитность материала; это один из главных факторов, влияющих на качественные показатели проектируемого композита.

В процессе проектирования древесно-минерального композита особое внимание необходимо уделить физико-механическим процессам, протекающим между древесным наполнителем и магнезиальным вяжущим. Данные процессы являются основополагающими при формировании межфазных связей, влияющих на эксплуатационные характеристики строительного материала. Отечественными [5, 9] и зарубежными [10, 11] учеными установлено, что одним из основных условий, определяющих прочностные свойства композита, является наличие взаимодействия между связующим и частицами наполнителя. Поскольку граница раздела частица-матрица в структуре ДМК является зоной диффузии, фазы матрицы связаны либо химически, либо механически [11-13]. Благодаря наличию межфазной адгезии между частицами и матрицей эта область диффузии больше всего влияет на прочностные свойства композиционных материалов. Взаимодействие магнезиального вяжущего и древесных частиц создает неоднородную систему, образуя на поверхности древесных частиц граничный слой, предопределяющий не характерные для исходных компонентов свойства. Поэтому отношение толщины граничного слоя к толщине общего слоя связующего будет оказывать важное влияние на конечные свойства материала [14].

На основании вышеизложенного физическая картина исследуемого древесно-минерального композита представляет сложное структурное строение материала. Из анализа этой картины видно, что качественные характеристики зависят от отношения количества древесного наполнителя к количеству связующего. Уменьшение граничного слоя между древесными частицами приводит к снижению прочности ДМК.

Из-за различия в насыпной плотности стружки и щепы, а также их формы и размеров расходы компонентов для исследуемого ДМК и арболита, при прочих равных условиях, будут неодинаковыми. В существующей нормативной базе отсутствуют данные о расчете состава композиционных материалов на магнезиальном вяжущем и древесной стружке. Принимая за основу общепринятую методику подбора состава арболитовой смеси [15], авторы провели экспериментальные исследования с целью установления норм расхода компонентов на 1 м³ смеси ДМК в зависимости от соотношения доли древесного заполнителя и магнезиального вяжущего, а также оценки влияния соотношения компонентов на прочностные свойства ДМК.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В ходе исследований в лабораторных условиях архитектурно-строительного факультета Костромской государственной сельскохозяйственной академии изготавливали образцы ДМК, в состав которых входили: каустический магнезит ПКМ-83, ТУ 2611-001-62571670-2009 АО «Торговый дом «ХИМПЭК». Для затворения использовали: бишофит отечественного производства с содержанием шестиводного хлорида магния ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) 97%; стружка хвойных пород, полученная при строгании древесины с влажностью $(10 \pm 2)\%$; вода. Фракционный состав древесной стружки: фракция 10/5 (доля частиц, просевшихся через сито с отверстиями диаметром 10 мм и оставшихся на сите с диаметром отверстий 5 мм) – 50%; фракция 5/0 (доля частиц, просевшихся через сито с диаметром отверстий 5 мм) – 50%.

С учетом класса древесно-минерального композита на магниальном вяжущем В2,5 (соответствует конструкционному классу арболита), по таблицам СН-549-82. Инструкции по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита [15] выбрали максимальный расход компонентов смеси в расчете на 1 м^3 (древесный наполнитель, вяжущее, химическая добавка и вода).

Полученный расчетный расход компонентов на 1 м^3 смеси для трех вариантов соотношения доли древесного наполнителя (Д) влажностью $(10 \pm 2)\%$ и магниального вяжущего (М) при концентрации раствора бишофита 10% представлен в табл. 1.

Таблица 1. Расчетный расход компонентов на 1 м^3 смеси древесно-минерального композита

Table 1. Calculated consumption of components per 1 m^3 of wood-mineral composite (WMC) mixture

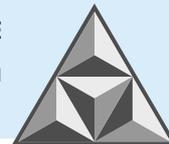
Соотношение компонентов Д:М	Расход компонентов смеси на 1 м^3				
	Заполнитель, кг	Магниальное вяжущее ПКМ-83, кг	Химические добавки: бишофит ХДс (ХДс), кг	Водный раствор химической добавки (ХДс + вода), л	Вода, л
20:80	76.32	288	0.1084	73.8	323.68
35:65	133.56	234			320.44
50:50	381.60	360			306.40

Выполняли пробные замесы и, с учетом выхода смеси, корректировали фактический расход материалов (табл. 2). Для оценки прочностных свойств ДМК готовили образцы в виде балочек размером $40 \times 40 \times 160$ мм. С учетом данных табл. 2, при каждом соотношении Д:М было получено шесть образцов-балочек. Образцы выдерживали в формах в течение 7 сут., извлекали и хранили еще 21 сут. при естественной влажности воздуха внутри помещения.

Таблица 2. Фактический расход компонентов на 1 м^3 смеси древесно-минерального композита

Table 2. Actual consumption of components per 1 m^3 of wood-mineral composite (WMC) mixture

Соотношение компонентов Д:М	Расход компонентов смеси на 1 м^3				
	Заполнитель, кг	Магниальное вяжущее ПКМ-83, кг	Химические добавки: бишофит (ХДс), кг	Водный раствор химической добавки (ХДс + вода), л	Вода, л
20:80	228.52	863.28	0.326	221.04	351.53
35:65	267.58	467.77	0.163	110.74	459.60
50:50	509.21	479.9	0.144	98.54	408.61



Исследование механических свойств ДМК, с учетом размеров и фракционного состава заполнителя, проводили по ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» в возрасте 28 сут. Испытания образцов на растяжение при изгибе осуществляли на разрывной машине 2166 Р-5 с максимальной нагрузкой 500 кгс (рис. 2).



Рис. 2. Испытания образцов ДМК на установке 2166 Р-5

Fig. 2. Testing of WMC samples on the 2166 R-5 unit

Половинки образцов-балочек были испытаны на сжатие на прессе ПСУ-50 с максимальной нагрузкой 2 т (рис. 3).



Рис. 3. Пресс ПСУ-50 и расположение образца между нажимными пластинками

Fig. 3. PSU-50 press and sample between the pressure plates

Принятая методика определения механических свойств позволила дать предварительную оценку влияния соотношения Д:М на прочностные показатели ДМК.

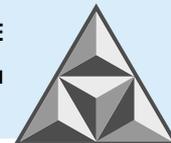
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных нами испытаний образцов-балочек представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты лабораторных испытаний образцов-балочек

Table 3. Results of laboratory tests of beam samples

Состав смеси Д:М	Средняя плотность образцов-балочек ρ , кг·м ⁻³	Средняя прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа	Средняя прочность на растяжение при изгибе R_{ib} , МПа
20:80	1128	9.76	3.66
35:65	793	0.96	0.74
50:50	750	0.88	0.51



Из табл. 3 видно, что с увеличением доли древесного заполнителя от 20 до 50% средняя плотность образцов уменьшается. Прочность на сжатие оказалась наибольшая у образцов с содержанием древесного заполнителя 20%, а наименьшая – у образцов с содержанием заполнителя 50%. Возможной причиной является существенное увеличение удельной поверхности древесного наполнителя, в результате чего раствора магнетита оказывается недостаточно для создания на поверхности древесных частиц слоя, необходимого для получения прочной структуры композита. При этом установлено, что с увеличением доли древесного заполнителя прочность при сжатии снижается примерно на 0.6 МПа на каждый процент древесного заполнителя в диапазоне от 20 до 35%. В дальнейшем с увеличением доли древесного заполнителя на 1% в диапазоне от 35 до 50% прочность при сжатии снижается лишь на 0.01 МПа. Характер влияния доли древесного заполнителя в композите на прочность при изгибе несколько иной: при увеличении доли древесного заполнителя на 1% в диапазоне от 20 до 35% прочность при изгибе снижается на 0.2 МПа, а в диапазоне от 35 до 50% – снижается на 0.02 МПа на каждый 1% увеличения доли древесной стружки. Это объясняется тем, что при приложении любой нагрузки в древесно-минеральном композите возникают внутренние напряжения двух видов: 1 – в самих древесных частицах; 2 – на границе «магнетит-древесина». В любом случае они являются касательными по отношению к поверхности частиц – как в сжатой, так и в растянутой зоне образца. С увеличением доли древесного наполнителя существенно возрастает суммарная удельная поверхность наполнителя. Вследствие этого снижается общее число адгезионных связей между компонентами в структуре композита. Данное явление описывали в своих работах как отечественные, так и зарубежные ученые [11–14].

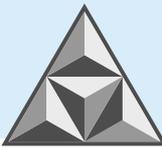
Влияние доли древесной стружки на структуру и прочность композита позволяет оценить внешний вид образцов после испытаний (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид образцов балочек после испытания на растяжение при изгибе:
а – доля опилок 20%; б – доля опилок 35%

Fig. 4. Appearance of beam specimens after bending tensile test:
a – the proportion of sawdust 20%; b – the proportion of sawdust 35%

С увеличением доли опилок в композите меняется характер излома образцов: при доле 20% излом более гладкий, при содержании опилок в композите 35% излом становится раковистым, а структура композита – более рыхлой, связи между древесными частицами и магнетитом носят фрагментарный характер. Вследствие этого при действии нагрузки связи между частицами наполнителя разрушаются быстрее, что объясняет снижение прочности образцов при испытаниях на изгиб. Можно предположить, что для получения конструкционно-теплоизоляционного композита процентное соотношение древесного



наполнителя в составе смеси по отношению к магнезиту должно быть не более 20%. Данное положение вполне согласуется с результатами, приведенными в работах проф. Халил Тургут Шахина [4] и проф. И.Х. Наназшвили [5]. Благодаря применению магнезиального вяжущего, которое обеспечивает при рекомендуемой доле древесного наполнителя создание прочных механических и химических связей между частицами наполнителя, в ходе исследований получены более высокие прочностные показатели композита, чем при использовании цемента. Как указывают многие исследователи, необходимо учитывать совместимость вяжущего и древесного наполнителя при подборе состава композиционных материалов, особенно с учетом вариабельности фракционного состава наполнителя. В частности, теоретические представления о наличии взаимосвязи прочностных свойств готового материала и соотношения «заполнитель : вяжущее», описанные в работе F.C. Jorge, C. Pereira, J.M.F. Ferreira [11], полностью согласуются с результатами исследований российских ученых [5, 9], в том числе – авторами настоящего исследования.

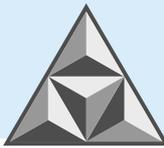
ВЫВОДЫ

Экспериментальным путем определен расход основных компонентов смеси древесно-минерального композита, отличающийся от расчетного значения в общепринятой инструкции для материала-аналога (арболита). Он оказался выше, что объясняется различием размеров частиц, а также фракционных составов древесной стружки и щепы.

При получении строительного материала конструкционно-теплоизоляционного назначения с требуемой прочностью на основе магнезиального вяжущего и древесной стружки рекомендуется не превышать долю древесного наполнителя 20%. Определение рационального состава смеси древесно-минерального композита требует проведения дополнительного каскада исследований по изучению влияния наполнителя на морозостойкость, теплопроводность, водопоглощение и другие эксплуатационные характеристики готового материала.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. В России будет обеспечено широкое внедрение многоэтажного деревянного домостроения // Минстрой России: [сайт]. 2022. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya/> (дата обращения 11.01.2024)
2. Непростые времена для композитной отрасли или еще один шанс? // *Композитный мир*. 2022. № 4(101). С. 20-28. URL: <https://tech-journals.ru/journals/tech/9669-kompozitnyy-mir-4-2022> (дата обращения 9.01.2024).
3. **Ammari M.S., Belhadj B., Bederina M., Ferhat A., Quéneudec M.** Contribution of hybrid fibers on the improvement of sand concrete properties: Barley straws treated with hot water and steel fibers // *Construction and building materials*. 2020. Vol. 233, no. 8. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117374.
4. **Halil T.S., Yasemin S.** Mineral-bonded wood composites: An alternative building materials // *Engineered Wood Products for Construction*. 2021. 12 August. DOI: 10.5772/intechopen.98988. URL: <https://www.intechopen.com/online-first/78047>
5. **Наназшвили И.Х.** Строительные материалы из древесноцементной композиции. Санкт-Петербург: Стройиздат, 1990. 415 с.
6. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Москва: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. 244 с.
7. **Сеничев В.П., Осипов Ю.Р.** Сырьевой потенциал Вологодской области для организации производства древесно-цементных композиционных материалов // *Актуальные проблемы развития лесного комплекса: мат. междунар. науч.-практ. конф. (Вологда, 02–03 декабря 2014 года)*. Вологда: Изд-во Вологод. гос. ун-та. 2015. С. 126–128.



8. **Титунин А.А., Зайцева К.В.** Проектирование и производство строительных материалов из древесины. Комплексный подход. Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. 185 с.
9. **Звездина Е.В., Трескова Н.В.** Повышение водостойкости теплоизоляционных изделий на основе каустического доломита // *Научно-практический интернет-журнал "Наука. Строительство. Образование"*. 2011. № 1. С. 13. URL: <http://nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2011/01/13.pdf> (дата обращения: 11.01.2024).
10. **Aigbomian E.P., Mizi F.** Development of wood-crete from hardwood and softwood sawdust // *The Open Construction and Building Technology Journal*. 2013. Vol. 7. P. 108–117. DOI: 10.2174/1874836801307010108.
11. **Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.** Wood-cement composites: a review // *European Journal of Wood and Wood Products*. 2004. Vol. 62, no. 50. P. 370–377. DOI: 10.1007/s00107-004-0501-2.
12. **Jami T., Karade S.R., Sing L.P.** A Review of the Properties of Hemp Concrete for Green Building Applications // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 239. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117852.
13. **Raheem A.A., Ikotun B.D.** Incorporation of Agricultural Residurtes as Partial Substitution for Cement in Concrete and Mortar – A Review // *Journal of Building Engineering*. 2020. Vol. 31, no. 5. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101428
14. **Аминов Л.И., Сафин Р.Г.** Расчет средних толщин прослоек связующего в композиционных материалах // *Мат. междунар. науч.-технич. конф. «Композиционные материалы в авиостроении и народном хозяйстве»*, Казань, 2001. Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та. С. 32-39.
15. СН 549-82. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита // *Госстрой СССР*. М.: Стройиздат, 1983. 47 с.

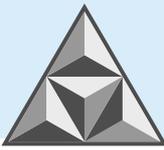
Поступила в редакцию 30.01.2024

Одобрена после рецензирования 16.02.2024

Принята к опубликованию 06.03.2024

REFERENCES

1. Minstroy RF. (2022) In Russia will be ensured the wide introduction of multi-storey wooden house building [online]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya/> (accessed on 11.01.2024) (in Russian).
2. Difficult times for the composite industry or one more chance? (2022) *Kompozitnyj mir*, 4(101), pp. 20-28 [online]. Available at: <https://tech-journals.ru/journals/tech/9669-kompozitnyy-mir-4-2022.html> (accessed on 9.01.2024) (in Russian).
3. **Ammari, M.S., Belhadj, B., Bederina, M., Ferhat, A. & Quéneudec, M.** (2020) Contribution of hybrid fibers on the improvement of sand concrete properties: Barley straws treated with hot water and steel fibers, *Construction and Building Materials*, 233(8). DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117374.
4. **Halil, T.S. & Yasemin, S.** (2021) Mineral-Bonded Wood Composites: An Alternative Building Materials, *Engineered Wood Products for Construction*, 12 August [online]. Available at: <https://www.intechopen.com/online-first/78047>. DOI: 10.5772/intechopen.98988.
5. **Nanazashvili, I.Kh.** (1990) *Building materials from wood-cement composition*. St. Petersburg: Stroyizdat (in Russian).
6. *Forecast of scientific and technological development of Russia: 2030.* (2014) Moscow: Nacional. issled. un-t «Vysh. shk. ekonomiki» (in Russian).
7. **Senichev, V.P. & Osipov, Y.R.** (2015) Raw material potential of the Vologda Oblast to organize the production of wood-cement composite materials, *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Vologda, 02–03 dekabrya 2014 goda)*. Vologda: Izd-vo Vologod. gos. un-та, pp. 126-128 (in Russian).
8. **Titunin, A.A. & Zaitseva, K.V.** (2009) *Design and production of construction materials from wood. Complex approach*. Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. tekhnol. un-та (in Russian).
9. **Zvezdina, E.V. & Treskova, N.V.** (2011) Water resistance increase of the heat-insulating products on the basis of caustic dolomite, *Nauchno-prakticheskij internet-zhurnal "Наука. Stroitel'stvo. Obrazovanie"*, (1) [online]. Available at: <http://nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2011/01/13.pdf> (accessed 11.01.2024) (in Russian).
10. **Aigbomian, E.P. & Mizi, F.** (2013) Development of Wood-Crete from Hardwood and Softwood Sawdust, *The Open Construction and Building Technology Journal*, (7), pp. 108-117. DOI: 10.2174/1874836801307010108.



11. **Jorge, F.C., Pereira, C. & Ferreira, J.** (2004) Wood-cement composites: a review, *European Journal of Wood and Wood Products*, 62(50), pp. 370–377. DOI: 10.1007/s00107-004-0501-2.
12. **Jami, T., Karade, S.R. & Sing, L.P.** (2019) A Review of the Properties of Hemp concrete for green building applications, *Journal of Cleaner Production*, 239. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117852.
13. **Raheem, A.A. & Ikotun, B.D.** (2020) Incorporation of agricultural residues as partial substitution for cement in concrete and mortar – A review, *Journal of Building Engineering*, 31(5). DOI: 10.1016/j.jobbe.2020.101428.
14. **Aminov, L.I. & Safin, R.G.** (2001) Calculation of average thicknesses of binder layers in composite materials, *Mat. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Kompozitsionnye materialy v aviastroenii i narodnom hozyajstve»*, Kazan', 2001. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhn. un-ta, pp. 32-39 (in Russian).
15. SN 549-82. Instruction for design, manufacture and application of structures and products from arbolite. (1983) *Gostroy of the USSR*. Moscow: Stroyizdat (in Russian).

Received 30.01.2024

Approved after reviewing 16.02.2024

Accepted 06.03.2024