

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО МАТЕРИАЛА НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

В.И. Запруднов

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1  
zaprudnov@mgul.ac.ru

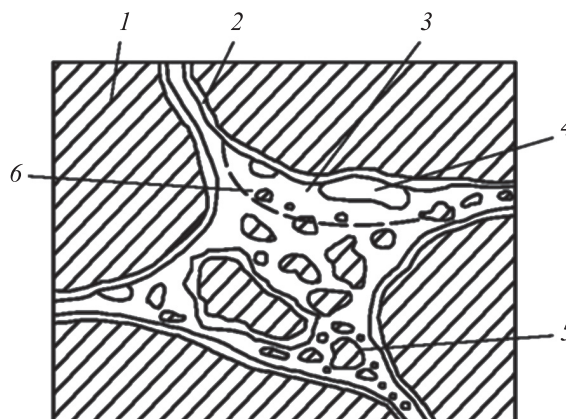
Установлено, что при увеличении длины частиц заполнителя прочность при осевом сжатии древесно-цементного материала (арболита) возрастает, а объемная усадка уменьшается. Определено увеличение линейной усадки арболита поперек призмы параллельно направлению усилия прессования и уменьшение линейной усадки поперек призмы перпендикулярно направлению усилия прессования при возрастании длины частиц заполнителя. Выявлен рост удельного давления прессования арболита при увеличении длины частиц заполнителя. Исследования показали, что зависимость прочности арболита обратно пропорциональна содержанию водорастворимых веществ древесины в органическом заполнителе, на основе которого он изготовлен, его усадке, удельной поверхности заполнителя, расходу воды и объемному содержанию древесного заполнителя в арболите. Теоретически необходимое для химического соединения водоцементное отношение  $V/C \approx 0,4$ , однако из условия удобоукладываемости арболита отношение  $V/C$  рекомендовано принимать равным  $0,7 \dots 0,8$ .  
**Ключевые слова:** древесно-цементный материал, прочность и деформации, гидратация и твердение цемента, древесный заполнитель

**Ссылка для цитирования:** Запруднов В.И. Влияние структуры древесно-цементного материала на прочностные и деформационные свойства // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 91–96.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-91-96

Структура древесно-цементных материалов — арболита, фибролита, цементно-стружечной плиты имеет неоднородное конгломератное строение [1–6]. По физико-механическим свойствам отдельные объемы древесно-цементных материалов могут значительно отличаться. Эти различия характерны как для отдельных микрообъемов цементного камня, так и в большей степени для органических заполнителей из различных пород древесины.

Структура древесно-цементного материала, например арболита (легкого бетона), формируется с помощью цементного камня, в виде пространственной решетки, заполненной соединенными между собой частицами органического заполнителя — древесной дробленки (рис. 1). Цементный камень пронизан многочисленными микропорами, капиллярами, содержащими химически несвязанную воду, а также водяной пар и воздушные поры. Поэтому древесно-цементные композиты (арболит, фибролит, цементно-стружечная плита) представляют собой капиллярно-пористый каменный материал, в котором нарушена сплошность и присутствуют все три фазы — твердая, жидкая и газообразная.

Особыми свойствами обладает контактная зона — прослойка цементного камня на границе с частицами органического заполнителя, дополнительно уплотненная самим заполнителем. Контактная зона содержит микродефекты — зерна



**Рис. 1.** Элементарная ячейка структуры легкого бетона (арболита): 1 — частицы заполнителя; 2 — контактная зона; 3 — зона структуры, ослабленной вследствие седиментации; 4 — воздушные пузырьки; 5 — зона уплотненной структуры; 6 — крупные седиментационные поры

**Fig. 1.** Elementary cell structure of light concrete (arbolite): 1 — aggregate particles; 2 — contact zone; 3 — zone of weakened structure due to sedimentation; 4 — air bubbles; 5 — zone of compacted structure; 6 — large sedimentation pores

минерального вяжущего, не вступившего в реакцию с водой, и другие, что снижает однородность древесно-цементного материала.

Для получения древесно-цементного материала с высокими прочностными показателями необходимо наряду с локализацией вредных для цемента веществ и со снижением влажностных деформаций стремиться также к оптимальности

его структуры, которой соответствует, согласно теории И.А. Рыбьева [7], комплекс наилучших показателей основных свойств конгломерата. Оптимальная структура характеризуется равномерным распределением твердой фазы в дисперсной среде, предельно возможной плотностью упаковки макрочастиц соответственно, в конгломерате и в его вяжущей части, наличием непрерывной прослойки вяжущего вещества с образованием прочного структурного каркаса из затвердевшего вяжущего [8].

## Цель работы

Цель работы — исследование влияния на прочностные и деформационные свойства древесно-цементного материала (арболита) изменений его структуры: вида органического заполнителя, гранулометрического состава, коэффициента формы частиц древесного заполнителя, степени уплотнения при формовании, условий твердения.

## Материалы и методы

Исследования выполнены на древесно-цементном композите — арболите, который имеет крупнопористую структуру с незаполненным межзерновым пространством. Крупнопористая структура арболита определяется технологией его изготовления и зависит от состава арболита, гранулометрического состава заполнителя, коэффициента формы его частиц, качества перемешивания, степени уплотнения, а также условий твердения и сушки этого материала. Общая пористость арболита состоит из межзерновой пористости и пористости древесного заполнителя. Объем пор в органическом заполнителе зависит от вида древесной породы. Величину пористости ( $\Pi$ ) древесины можно определить [8] из выражения

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho}{1,54}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\rho$  — средняя плотность, г/см<sup>3</sup>.

При средней плотности древесины 0,3; 0,5 и 0,7 г/см<sup>3</sup> ее пористость соответственно равна 81, 68 и 55 %. Межзерновая пористость одного древесного заполнителя зависит в основном от фракционного состава. Пористость арболита существенно влияет на его основные прочностные, деформационные и теплофизические свойства, вследствие чего в процессе формирования структуры арболита ее необходимо регулировать.

Структура арболита формируется на всех этапах технологии его производства: при подготовке заполнителя, дозировании составляющих компонентов, их перемешивании, укладке и уплотнении арболитовой смеси, а также при твердении изделий из этого материала [9–12].

При подготовке заполнителя следует уделять большое внимание его химическому и гранулометрическому составу, коэффициенту формы частиц. При дозировании компонентов арболитовой смеси необходимо соблюдать точность соотношения оптимального состава. Технологическая операция перемешивания должна обеспечить однородность смеси, равномерность распределения вяжущего по частицам заполнителя и наилучшее их обволакивание.

При формировании (уплотнении) важно стремиться к тому, чтобы структура арболита имела минимальную пористость, т. е. чтобы осуществлялась наилучшая пространственная упаковка заполнителя, обеспечивающая наибольшее число контактов, а также наибольшее упрочнение структурных элементов и структурных связей между элементами.

При тепловой обработке арболита прежде всего следует обеспечить оптимальные условия для твердения, гидратации и структурообразования цементного вяжущего в присутствии органического заполнителя, а также уменьшить внутренние напряжения и усадочные деформации. Таким образом, на всех стадиях технологии производства арболита необходимо стремиться к созданию его оптимальной структуры [13–15].

Важным отличительным моментом структуры арболита является то, что в общем объеме арболитовой массы органический заполнитель занимает 80...90 % и обладает анизотропными свойствами, присущими древесине. Так, например, древесина ели имеет предел прочности вдоль волокон при сжатии 42,2 МПа и растяжении 108,6 МПа, а при сжатии в тангенциальном направлении — только 7,9 МПа [16]. Аналогичные соотношения показателей этих свойств имеют место и для других древесных пород, применяемых для получения органического заполнителя.

В процессе формования арболитовой смеси древесные частицы, имеющие размеры по длине значительно больше, чем в других направлениях, располагаются в определенной последовательности. Как правило, их продольные направления ориентированы в плоскости, перпендикулярной направлению усилия прессования, располагаясь при этом хаотично, вследствие чего арболит обладает ярко выраженной анизотропностью свойств в двух направлениях. Проведенные исследования показали, что арболит имеет лучшие показатели прочности и деформаций в направлении, перпендикулярном усилию уплотнения (параллельно слоям укладки смеси). Эта закономерность характерна всем известным способам формования арболитовых изделий [17–19].

Как указано выше, частицы древесного заполнителя, хотя и ориентируются своими продоль-

ными направлениями перпендикулярно усилию уплотнения, но располагаются при этом в плоскости хаотично, вследствие чего не всегда используется резерв прочности древесного заполнителя вдоль волокон.

П.И. Ваньков и Г.В. Клар [8] выдвинули гипотезу о повышении прочности арболита путем изменения его структуры с концентрацией высокой прочности в результате ориентации частиц заполнителя в заданном направлении. Их исследованиями установлено, что ориентированная структура в 1,5–2 раза повышает прочность и жесткость арболита в продольном направлении ориентации заполнителя. При этом аналогичные показатели в перпендикулярном направлении уменьшаются [20–25].

Н.И. Склизков и И.Х. Наназашвили [8] предлагают повышать прочность арболита, изменив его структуру добавлением в состав заполнителя 10...15%-й мелкой фракции, а также увеличив коэффициент формы частиц заполнителя. По их мнению, увеличение коэффициента формы частиц заполнителя на 20...50 % повысит прочность арболита на 10...20 %.

## Результаты и обсуждение

Проведенные исследования по выявлению влияния структуры арболита на прочностные и деформационные свойства этого материала были более объемными.

Было изучено влияние вида органического заполнителя, его прочности и гранулометрического состава, коэффициента формы частиц древесного заполнителя, степени уплотнения при формовании, условий твердения (рис. 2–5).

Из рис. 2 и 3 видно, что при длине частиц заполнителя менее 15...20 мм начинается резкое возрастание его объемной усадки и одновременно резкое снижение прочности.

Важно учесть все факторы, прежде всего влажность и температуру органического заполнителя. Цемент, взаимодействуя с водой (гидратация цемента), твердеет, образуя цементный камень. Цементный камень деформируется: объемная усадка достигает 2 мм/м, вследствие чего возникают внутренние напряжения, появляются микротрещины. Введение в состав древесно-цементного композита органического заполнителя позволяет уменьшить эти деформации, создать структурный каркас, который воспринимает усадочные напряжения и готов дать меньшую усадку. Кроме того, увеличиваются прочность и модуль упругости древесно-цементного материала (снижение деформаций конструкции под нагрузкой), уменьшается ползучесть (необратимые деформации при длительных нагрузках). Органические заполнители также существенно

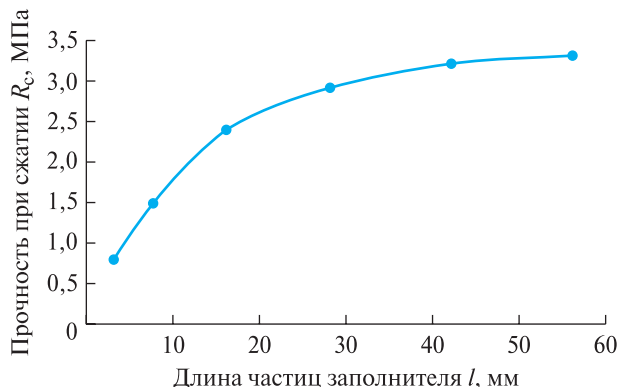


Рис. 2. Зависимость прочности арболита от длины частиц заполнителя при осевом сжатии

Fig. 2. Dependence of the axial compressive strength of the arbolite on the length of the aggregate particles

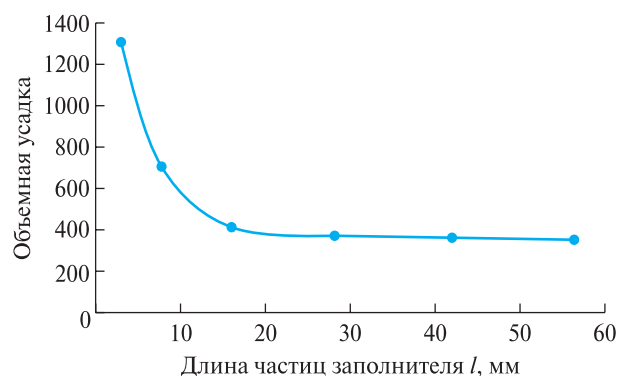


Рис. 3. Зависимость объемной усадки арболита от длины частиц заполнителя

Fig. 3. Dependence of the volume shrinkage of arbolite on the length of the aggregate particles

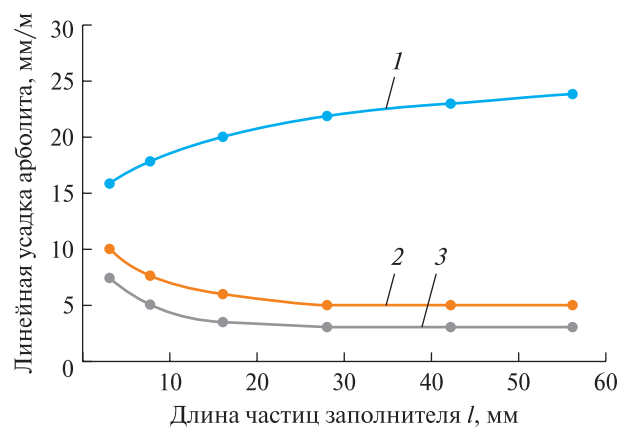
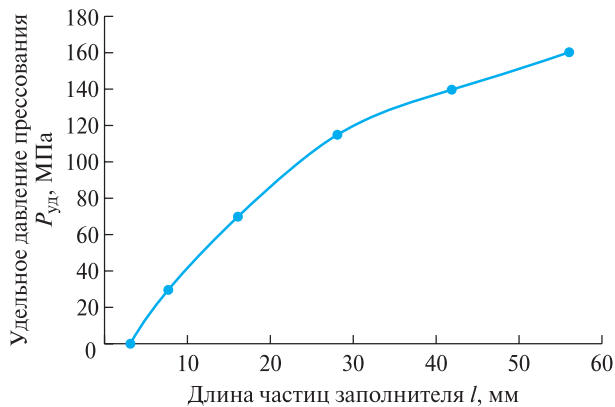


Рис. 4. Зависимость линейной усадки арболита от длины частиц заполнителя в направлении: 1 — поперек призмы параллельно направлению усилия прессования; 2 — поперек призмы перпендикулярно направлению усилия прессования; 3 — вдоль призмы

Fig. 4. Dependence of the linear shrinkage of arbolite on the length of the aggregate particles in the direction of: 1 — across the prism parallel to the direction of the pressing force; 2 — across the prism perpendicular to the direction of the pressing force; 3 — along the prism



**Рис. 5.** Зависимость роста удельного давления прессования арболита от длины частиц заполнителя

**Fig. 5.** Dependence of the growth of the specific pressure of pressing of arbolite on the length of the aggregate particles

удешевляют производство древесно-цементного композита: энергоемкий в производстве цемент стоит значительно дороже древесной дробленки, являющейся природным материалом.

На основании проведенных исследований зависимость прочности и деформации арболита от перечисленных факторов можно записать в виде

$$R_a = f(R_c, R_3, Ц, \rho_a, A, k_{ф.ч}, Э^{-1}, \varepsilon_y^{-1}, F_{y.п}^{-1}, B^{-1}, Д^{-1}), \quad (2)$$

где  $R_a$  — прочность арболита, МПа;  
 $R_c$  — активность цемента, МПа;  
 $R_3$  — прочность заполнителя при сжатии, МПа;  
 $Ц$  — расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  арболита, кг;  
 $\rho_a$  — плотность арболита;  
 $A$  — адгезия древесного заполнителя к цементному вяжущему, МПа;  
 $k_{ф.ч}$  — коэффициент формы частиц древесного заполнителя;  
 $Э$  — содержание водорастворимых веществ в заполнителе, %;  
 $\varepsilon_y$  — усадка арболита;  
 $F_{y.п}$  — удельная площадь заполнителя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $B$  — расход воды на  $1 \text{ м}^3$  арболита, кг;  
 $Д$  — расход древесного заполнителя, кг.

## Выводы

Анализируя зависимости экспериментальных данных исследования свойств древесно-цементного материала (арболита) от длины частиц заполнителя, а также обобщая результаты предыдущих исследований, можно сделать следующие выводы:

– прочность арболита находится в пропорциональной зависимости от активности цемента и его расхода на  $1 \text{ м}^3$  этого материала, плотности и коэффициента уплотнения (или степени уплотнения арболитовой массы при формовании), адгезии

древесного заполнителя к цементному вяжущему, прочности заполнителя (при одинаковом содержании водорастворимых веществ), коэффициента формы заполнителя арболита;

– прочность арболита обратно пропорциональна содержанию водорастворимых веществ древесины в органическом заполнителе, на основе которого он изготовлен, его усадке, удельной поверхности заполнителя, расходу воды и объемному содержанию древесного заполнителя в арболите.

Изменяя размеры, форму древесной дробленки и соотношение гранулометрического состава заполнителей, расход цемента и воды, можно получать древесно-цементные композиты, значительно различающиеся по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, трещиностойкости, усадке.

Цемент и вода — основные ингредиенты древесно-цементного материала: на них возложена главная функция — связать все компоненты в единую монолитную структуру. Соблюдение правильной пропорции этих двух компонентов (водоцементное отношение) — главнейшая задача в производстве древесно-цементного материала. Так, избыточное количество воды при затворении приводит к замедлению набора прочности, к увеличению усадочных трещин и снижению морозостойкости. При производстве древесно-цементного материала необходимо получить, возможно, более жесткие для выбранной технологии смеси. Теоретически для химического соединения водоцементное отношение составляет  $В/Ц \approx 0,4$ , однако из условия удобоукладываемости арболита принимают  $В/Ц = 0,7...0,8$ .

Структура оказывает существенное влияние на прочностные и деформационные свойства древесно-цементного материала, которые зависят от вида и марки цемента, вида органического заполнителя, способов уплотнения, условий твердения, степени гидратации цементного камня и других факторов.

Оптимальным для конкретных условий эксплуатации является состав древесно-цементного материала, удовлетворяющий техническим требованиям строительства и обладающий вместе с тем наименьшей стоимостью.

## Список литературы

- [1] Запруднов В.И. Исследование процесса влияния технологических факторов на свойства древесно-цементного утеплителя // Научные труды МГУЛ, 1996. Вып. 285. С. 12–17.
- [2] Sá V.A., Bufalino L., Albino V.C.S., Corrêa A.A., Mendes L.M., Almeida N.A. Mixture of three reforestation species on the cement-wood panels production // Revista Árvore, 2012, v. 36, no. 3, pp. 549–557.
- [3] Torkaman J., Ashori A., Momtazi A.S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks // Construction and Building Materials, 2014, v. 50, pp. 432–436.

- [4] Fan M., Ndikontar M.K., Zhou X., Ngamveng J.N. Cement-bonded composites made from tropical woods // *Compatibility of wood and cement. Construction and Building Materials*, 2012, v. 36, pp. 135–140.
- [5] Запруднов В.И. Создание качественных древесно-цементных материалов // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2017. Т. 21. № 6. С. 54–60.
- [6] Подчуфаров В.С., Чемлева Т.А., Щербаков А.С. Об оптимальном составе арболита повышенного качества // *Научные труды МГУЛ*, 1976. Вып. 93. С. 68–88.
- [7] Рыбьев И.А. Две важнейшие закономерности в свойствах материалов с конгломератным типом структуры // *Строительные материалы*, 1965. № 1. С. 17–20.
- [8] Щербаков А.С., Хорошун Л.П., Подчуфаров В.С. Арболит. Повышение качества и долговечности. М.: Лесная пром-сть, 1979. 160 с.
- [9] Schmitz G. Elektrische mechanische und termische untersuchungen uber das system holz-zement. Dusseldorf, 1968, p. 106.
- [10] Sandermann W., Kohler P. Uber eine kurze Eignungsprüfung von Holzern für Zement gebundene Werkstoffe // *Holzforesung*, 1964, bd. 18, pp. 53–59.
- [11] Yeh R.H.T. Variational bounds of unidirectional fiber-reinforced composites // *J. Appl. Phys.*, 1973, v. 44, no. 2, 662 p.
- [12] Zhou Y., Kamdem D.P. Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA-treated wood // *Forest Products J.*, 2002, v. 52 (2), pp. 73–81.
- [13] Parchen C.F.A., Iwakiri, S., Zeller, F. Vibro-dynamic compression processing of low-density wood-cement composites // *Eur. J. Wood Prod.*, 2016, v. 74, pp. 75–81. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0982-1>
- [14] Ronquim R.M., Ferro F.S., Icimoto F.H., Campos C.I., Bertolini M.S., Christoforo A.L., Rocco Lahr F.A. Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Composite with Lignocellulosic Grading Waste Variation // *International J. of Composite Materials*, 2014, v. 4(2), pp. 69–72.
- [15] Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbaheva G.A., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites // *Bulletin of the Transilvania. Series II: Forestry*, 2016, v. 9 (58), no. 2, pp. 63–71.
- [16] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: Лесная пром-сть, 2007. 266 с.
- [17] Запруднов В.И., Стриженко В.В. Основы строительного дела. М.: МГУЛ, 2008. 460 с.
- [18] Kamal I.B. Kenaf for biocomposite: an overview // *J. of Science and Technology*, 2014, v. 6, no. (2), pp. 41–66.
- [19] Lips S.J., van Dam J.E. Kenaf Fibre Crop for Bioeconomic Industrial Development Kenaf // *A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications*. Springer, 2013, pp. 105–143.
- [20] Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
- [21] Abdelrhman H.A., Shahwahid M., Paridah M.T., Jawaid M., Nourideen H.A. Carbon Stored in Kenaf Fiber Utilization of Biocomposite Applications into Automotive Components // *International J. of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA)*, 2017, v. 2(07), pp. 46–53.
- [22] Boadu K.B., Antwi-Boasiako C., Ofosuhene L. Solvent extraction of inhibitory substances from three hardwoods of different densities and their compatibility with cement in composite production // *J. of the Indian Academy of Wood Science*, 2018, v. 15, pp. 140–148.
- [23] Cheumani Y.A.M., Ndikontar M., De Jéso B, Sèbe G. Probing of wood-cement interactions during hydration of wood-cement composites by proton low-field NMR relaxomet // *J. Mater. Sci.*, 2011, v. 46, pp. 1167–1175.
- [24] Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U., 2008. Cement bonded composites – a mechanical review // *BioResources*, v. 3(2), pp. 602–626.
- [25] Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.M.F. Wood-cement composites: a review // *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2004, v. 62(5), pp. 370–377.

## Сведения об авторе

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [zaprudnov@mgul.ac.ru](mailto:zaprudnov@mgul.ac.ru)

Поступила в редакцию 30.04.2021.

Одобрено после рецензирования 05.10.2021.

Принята к публикации 06.12.2021.

## INFLUENCE OF WOOD-CONCRETE MATERIAL STRUCTURE ON STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES

V.I. Zaprudnov

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

[zaprudnov@mgul.ac.ru](mailto:zaprudnov@mgul.ac.ru)

It is established that with an increase in the length of the filler particles, the axial compression strength of the wood-concrete material (arbolite) increases, and the volume shrinkage decreases. An increase in the linear shrinkage of the arbolite across the prism parallel to the direction of the pressing force and a decrease in the linear shrinkage across the prism perpendicular to the direction of the pressing force with an increase in the length of the filler particles is determined. An increase in the specific pressure of pressing arbolite with an increase in the length of the filler particles was revealed. Studies have shown that the dependence of the strength of arbolite is inversely proportional to the content of water-soluble wood substances in the organic aggregate of which it is made, its shrinkage, the specific surface area of the aggregate, water consumption and the volume content of wood filler in arbolite. Theoretically necessary for a chemical compound, the water-concrete ratio In/C is 0,4, however, from the condition of the workability of arbolite, the ratio In/C is recommended to be equal to 0,7...0,8.

**Keywords:** wood-cement material, strength and deformation, hydration and hardening of cement, wood aggregate

**Suggested citation:** Zaprudnov V.I. *Vliyanie struktury drevesno-tsementnogo materiala na prochnostnye i deformatsionnye svoystva* [Influence of wood-concrete material structure on strength and deformation properties]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 91–96. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-91-96

## References

- [1] Zaprudnov V.I. *Issledovanie protsessa vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na svoystva drevessno-tsementnogo uteplitelya* [Investigation of the process of influence of technological factors on the properties of wood-cement insulation]. Nauchnye trudy MGUL [Scientific works of MGUL], 1996, iss. 285, pp. 12–17.
- [2] Sá V.A., Bufalino L., Albino V.C.S., Corrêa A.A., Mendes L.M., Almeida N.A. Mixture of three reforestation species on the cement-wood panels production. *Revista Árvore*, 2012, v. 36, no. 3, pp. 549–557.
- [3] Torkaman J., Ashori A., Momtazi A.S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. *Construction and Building Materials*, 2014, v. 50, pp. 432–436.
- [4] Fan M., Ndikontar M.K., Zhou X., Ngamveng J.N. Cement-bonded composites made from tropical woods. Compatibility of wood and cement. *Construction and Building Materials*, 2012, v. 36, pp. 135–140.
- [5] Zaprudnov V.I. *Sozdanie kachestvennykh drevessno-tsementnykh materialov* [Creation of high-quality wood-cement materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 6, pp. 54–60.
- [6] Podchufarov V.S., Chemleva T.A., Shcherbakov A.S. *Ob optimal'nom sostave arbolita povyshennogo kachestva* [On the optimal composition of high-quality wood concrete]. Nauchnye trudy MGUL [Scientific works of MGUL], 1976, iss. 93, pp. 68–88.
- [7] Ryb'ev I.A. *Dve vazhneyshie zakonomernosti v svoystvakh materialov s konglomeratnym tipom struktury* [Two most important regularities in the properties of materials with a conglomerate type of structure]. *Stroitel'nye materialy* [Stroitelnye materialy], 1965, no. 1, pp. 17–20.
- [8] Shcherbakov A.S., Khoroshun L.P., Podchufarov V.S. *Arbolit. Povyshenie kachestva i dolgovechnosti* [Arbolit. Improved quality and durability]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1979, 160 p.
- [9] Schmitz G. *Elektrische mechanische und termische untersuchungen uber das system holz-zement*. Dusseldorf, 1968, p. 106.
- [10] Sandermann W., Kohler P. *Uber eine kurze Eignungsprüfung von Holzern für Zement gebundene Werkstoffe*. *Holzforeshung*, 1964, bd. 18, pp. 53–59.
- [11] Yeh R.H.T. Variational bounds of unidirectional fiber-reinforced composites. *J. Appl. Phys.*, 1973, v. 44, no. 2, 662 p.
- [12] Zhou Y., Kamdem D.P. Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA-treated wood. *Forest Products J.*, 2002, v. 52 (2), pp. 73–81.
- [13] Parchen C.F.A., Iwakiri, S., Zeller, F. Vibro-dynamic compression processing of low-density wood-cement composites. *Eur. J. Wood Prod.*, 2016, v. 74, pp. 75–81. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0982-1>
- [14] Ronquim R.M., Ferro F.S., Icimoto F.H., Campos C.I., Bertolini M.S., Christoforo A.L., Rocco Lahr F.A. Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Composite with Lignocellulosic Grading Waste Variation. *International J. of Composite Materials*, 2014, v. 4(2), pp. 69–72.
- [15] Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbaheva G.A., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites. *Bulletin of the Transilvania. Series II: Forestry*, 2016, v. 9 (58), no. 2, pp. 63–71.
- [16] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 2007, 266 p.
- [17] Zaprudnov V.I., Strizhenko V.V. *Osnovy stroitel'nogo dela* [Construction Basics]. Moscow: MSFU, 2008, 460 p.
- [18] Kamal I.B. Kenaf for biocomposite: an overview. *J. of Science and Technology*, 2014, v. 6, no. (2), pp. 41–66.
- [19] Lips S.J., van Dam J.E. *Kenaf Fibre Crop for Bioeconomic Industrial Development Kenaf. A Multi-Purpose Crop for Several Industrial Applications*. Springer, 2013, pp. 105–143.
- [20] Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Concrete technology]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 1987, 415 p.
- [21] Abdelrhman H.A., Shahwahid M., Paridah M.T., Jawaid M., Noureldeen H.A. Carbon Stored in Kenaf Fiber Utilization of Biocomposite Applications into Automotive Components. *International J. of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA)*, 2017, v. 2(07), pp. 46–53.
- [22] Boadu K.B., Antwi-Boasiako C., Ofosuhen L. Solvent extraction of inhibitory substances from three hardwoods of different densities and their compatibility with cement in composite production. *J. of the Indian Academy of Wood Science*, 2018, v. 15, pp. 140–148.
- [23] Cheumani Y.A.M., Ndikontar M., De Jéso B, Sèbe G. Probing of wood–cement interactions during hydration of wood–cement composites by proton low-field NMR relaxomet. *J. Mater. Sci.*, 2011, v. 46, pp. 1167–1175.
- [24] Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U., 2008. Cement bonded composites — a mechanical review. *BioResources*, v. 3(2), pp. 602–626.
- [25] Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.M.F. Wood-cement composites: a review. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2004, v. 62(5), pp. 370–377.

## Author's information

**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

Received 30.04.2021.

Approved after review 05.10.2021.

Accepted for publication 06.12.2021.