УДК 674.8

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ХЛОРИДА КАЛЬЦИЯ, СУЛЬФАТА АЛЮМИНИЯ И АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА СТРУКТУРУ И ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО МАТЕРИАЛА

Колесников Г.Н.

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, e-mail: kgn@petrsu.ru

В статье представлен краткий обзор публикаций о влиянии добавок хлорида кальция и сульфата алюминия на структуру, прочность и жесткость арболита, полученного с использованием отходов лесопиления. Цель работы: поиск экономически целесообразных и экологически безопасных технологий получения арболита с учетом современных условий. Установлено, что данной цели соответствуют, в частности, образцы арболита, в которых в качестве наполнителя использовались отходы лесопиления, а в качестве добавок были использованы хлорид кальция технический по ГОСТ 450-77 в количестве до 5,8% от массы цемента и аморфный диоксид кремния марки «Ковелос» с наноструктурированной поверхностью частиц крупностью 8 мкм в количестве 0,5% от массы цемента. Были изготовлены образцы в форме куба 10х10х10 см. В зависимости от соотношения компонентов при испытаниях образцов кубической формы в возрасте 28 суток были получены экспериментальные данные: прочность при сжатии 3,2…5,0 МПа, теплопроводность 0,09…0,13 Вт/(м· °С), плотность 585…781 кг/м^3. Вывод: экспериментальные данные подтверждают целесообразность использования рассмотренного материала в малоэтажном строительстве. Кроме того, использование отходов лесопиления вносит вклад в решение проблемы их утилизации.

Ключевые слова: отходы лесопиления, древесно-цементный материал, арболит, прочность, жесткость, теплопроводность, плотность, малоэтажное домостроение, рациональное природопользование

EFFECT OF CALCIUM CHLORIDE, ALUMINUM SULPHATE AND AMORPHOUS SILICA ON THE STRUCTURE AND STRENGTH WOOD-CEMENT MATERIAL

Kolesnikov G.N.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: kgn@petrsu.ru

The article provides an overview of the publications on the effect of calcium chloride addition and aluminum sulfate on the structure, strength and stiffness wood-cement material (so called «arbolit»), which was produced using sawmill waste. Objective: To search for cost-effective and environmentally friendly technologies for producing of wood-cement material. It is found that to this objective correspond in particular the material in which were used a sawdust, and as an additive: calcium chloride according for industrial use to GOST 450-77 in an amount up to 5.8% by weight of cement and an amorphous silica mark «Kovelos» nanostructured surface with particles of size 8 microns of 0.5% by weight of cement. The samples were made in the form of cube 10x10x10 cm, when tested samples aged 28 days experimental data were obtained: compressive strength of 3,2...5,0 MPa, thermal conductivity 0,09...0,13 W/(m· °C), a density of 585...781 kg/m^3. Conclusion: the experimental data confirm the usefulness of the considered material in low-rise construction. Moreover, the use of sawmill waste contributes to the solution of environmental management issues.

Keywords: sawmill waste, wood-cement material, arbolit, strength, hardness, thermal conductivity, density, low-rise housing construction, environmental management

Получение древесно-цементных материалов с заданными свойствами, как известно, базируется на управлении технологическим процессом формирования их структуры, в том числе за счет оптимального подбора компонентов материалов. Для получения таких материалов используют измельченную древесину в виде частиц различной крупности, цемент, строительный гипс или иное вяжущее, различные добавки и воду. В качестве измельченной древесины возможно применение отходов лесопиления и других отходов переработки древесины, что соответствует целям рационального природопользования. Рассматриваемые далее древесно-цементные материалы, согласно ГОСТ Р 54854-2011, классифицируются как легкие бетоны на цементном вяжущем и органических заполнителях растительного происхождения (в том числе стебли хлопчатника, костра льна и т.д.). В соответствии с ГОСТ 25192-2012 для обозначения подобных материалов используется термин «арболит» (от латинского *arbor* – дерево и греческого *lithos* – камень).

В зависимости от прочности, теплопроводности, плотности и других физических и механических свойств различают три вида арболита: конструкционный, теплоизоляционный и конструкционно-теплоизоляционный арболит. Критерии, по которым различают разновидности арболита, определены в указанных выше стандартах (ГОСТ).

Поскольку рассматриваемые древесно-цементные материалы классифицируются как легкие бетоны, то при разработке новых модификаций арболита в определенной мере могут быть использованы или адаптирова-

ны результаты, полученные в прикладных исследованиях бетонов других видов [10]. Рассмотрим кратко некоторые особенности древесно-цементных материалов.

Исследования, обзор которых приведен в книге [11], позволили установить, что набору прочности цементного камня препятствуют содержащиеся в древесине и экстрагируемые водой сахароза, глюкоза, фруктоза и часть гемицеллюлозы, способная при определенных условиях трансформироваться в разновидности сахара. В меньшей степени опасны содержащиеся в древесине крахмал и смолы. Количество данных веществ зависит от породы, возраста древесины, от условий хранения и других факторов. Активизации экстрагируемых веществ способствует щелочная среда, возникающая при взаимодействии частиц цемента с водой. Для деактивации этих веществ в древесно-цементных материалах применяют химические добавки. Технико-экономический эффект от применения добавок проявляется в повышении прочности древесно-цементного материала. «Принято считать, что увеличение прочности при сжатии строительных изделий на основе цементных вяжущих на 30% позволяет экономить не менее 10% цемента» [14]. Авторы цитируемой работы [14] исследовали влияние водорастворимых химических добавок NaCl, Na_2SO_4, $NaNO_3$, KCl, K_2SO_4, KNO_3, $Al_2(SO_4)_3$, $A1C1_3$, $A1(NO_3)_3$, $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, $FeSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ на прочность древесно-цементных материалов при сжатии в зависимости от возраста образцов, выполненных в форме куба с ребром 2 см. В качестве наполнителя использовались опилки хвойных пород. В цитируемой работе рассмотрены особенности изменения структуры древесно-цементного композита в процессе взаимодействия перечисленных добавок с водой, частицами цемента и с частицами древесного наполнителя в зависимости от возраста образцов (1 сутки, 3, 7, 14 и 28 суток). Сравнение с прочностью древесно-цементного материала, полученного без применения добавок, показало, что наиболее эффективными являются растворы хлоридов кальция и железа.

Однако, как известно, раствор хлорида железа представляет собой едкую нелетучую, коррозийную жидкость, относится к 8 классу опасности. Поэтому, согласно ГОСТ 4147-74 (дата актуализации: 12.02.2016), пункты 5.1 – 5.4, при работе с препаратом следует применять индивидуальные средства защиты.

Более безопасен часто используемый в производстве древесно-цементных материалов сульфат алюминия, однако его использование не обеспечивает существенного роста прочности. Например, в работе [14] показано, что прочность древесно-цементного материала с добавкой сульфата алюминия в возрасте 28 суток составила 3,96 МПа; прочность такого же материала, полученного без химических добавок, составила 3,83 МПа.

Анализ известных данных [1–9, 11] и опыты автора показали, что критериям технико-экономической эффективности и экологической безопасности в наибольшей степени отвечает относящийся к 3 классу опасности технический хлорид кальция по ГОСТ 450-77 (дата актуализации: 12.02.2016). Косвенно безопасность данной добавки подтверждается, в частности, тем, что очищенный хлорид кальция классифицируется в ГОСТ Р 55973-2014 как пищевая добавка Е509.

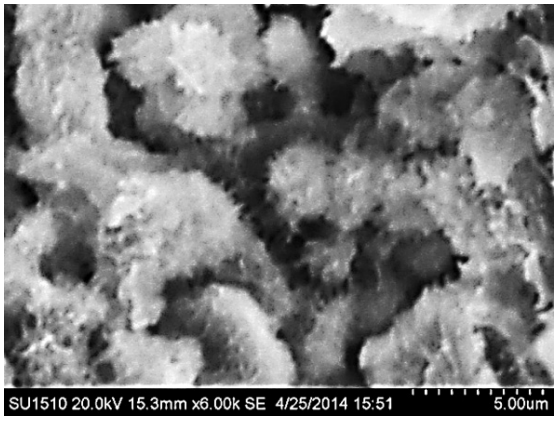

Рис. 1. Структура композита с добавкой хлорида кальция (×6000)

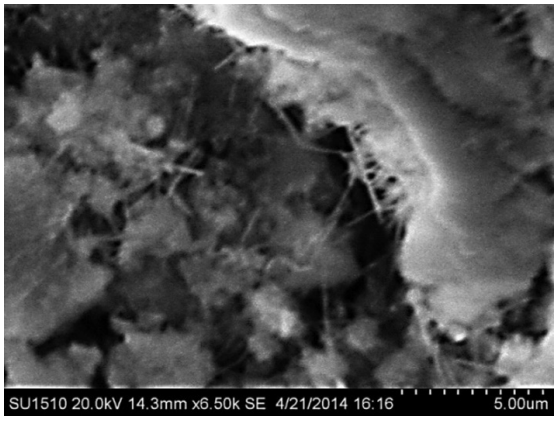

Рис. 2. Структура композита с добавкой сульфата алюминия (×6500)

Более высокая эффективность хлорида кальция как компонента древесно-цементных материалов подтверждается результатами работы [15]. Выполненный в данной работе анализ микрофотографий образцов арболита показал, что экстрагируемые из древесины сахара в образцах, изготовленных без добавки хлорида кальция, распределяются по всему объему цементного камня. В образцах же с добавкой хлористого кальция экстрагируемые из древесины сахара концентрируются в множестве небольших областей, которые оказываются заблокированными и почти не мешают процессам формирования цементного камня, что обеспечивает повышение прочности арболита.

Древесно-цементный материал рассматриваемого класса не является сплошным и однородным, что подтверждают исследования его структуры, выполненные с применением методов электронной микроскопии [3, 4, 14, 15]. Как известно, особенности структуры материала на микро-, мезо- и макроуровне существенно влияют на его прочность. Поэтому представляют практический интерес данные о микроструктуре древесно-цементного материала во взаимосвязи с его прочностью на макроуровне. Эти же данные необходимы для обоснования подходов к анализу макроскопических свойств древесно-цементных композитов [8].

В работах [3] и [4] с использованием электронного микроскопа SU1510 при участии В.П. Чугина показано, что структура древесно-цементного материала с добавкой хлорида кальция более однородная (рис. 1) по сравнению с материалом, в котором использован сульфат алюминия (рис. 2). Связи между частицами материала по рис. 2 имеют форму нитей, что в сочетании с большей неоднородностью данного материала служит причиной уменьшения его прочности и жесткости по сравнению с материалом по рис. 1.

Представленные выше данные [1–4] и другие публикации по затронутому вопросу [5–7, 13–18] подтверждают экономическую целесообразность и экологическую безопасность технологически несложного использования хлорида кальция в качестве добавки в производстве конкурентоспособных древесно-цементных материалов.

Новые возможности [9] повышения конкурентоспособности древесно-цементных материалов открывает использование аморфного диоксида кремния марки «Ковелос» 35/05 по ТУ 2168-002-14344269-09 в виде белого рыхлого порошка, состоящего из частиц с наноструктурированной поверхностью, средний диаметр частиц 8 мкм, насыпная плотность 110 г/л, удельная площадью поверхности около 400 м^2/г. Цель данной части исследования: установить оптимальное количество добавки аморфного диоксида кремния по отношению к массе цемента. Были изготовлены и испытаны на сжатие образцы древесно-цементного материала, в которых в качестве наполнителя использовались отходы лесопиления (опилки хвойных пород), а в качестве добавки был использован хлорид кальция технический по ГОСТ 450-77 в количестве до 5,8 % от массы цемента. Дополнительно вводились добавки жидкого стекла и гашеной извести. Кроме того, в серии образцов дополнительно был использован также аморфный диоксид кремния марки «Ковелос» 35/05 в количестве 0,12, 0,25, 0,5, 0,7 и 1 % от массы цемента. Образцы имели форму куба с ребром 10 см. Тепловая и влажностная обработка образцов не использовалась. В зависимости от соотношения компонентов при испытаниях образцов в возрасте 28 суток были получены данные: прочность при сжатии 3,2…5,0 МПа и более, теплопроводность 0,09…0,13 Вт/(м· °С), плотность 585…781 кг/м^3.

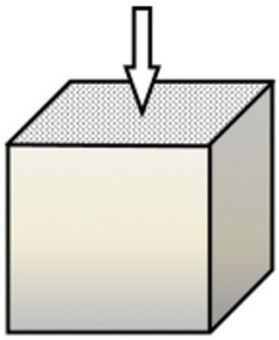

Рис. 3. Схема прессования

Испытания на сжатие выполнены на тест-машине SHIMADZU AG 50kNX. Для определения теплопроводности был использован прибор ИТП-МГ4 [1–4, 9].

На стадии изготовления образцов выполнялось послойное прессование горизонтальных слоев сырьевой смеси по схеме на рис. 3. Как следствие, древесно-цементный материал приобретает свойства анизотропного тела, что показали наши испытания на одноосное сжатие до разрушения двух серий образцов в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 4) [9].

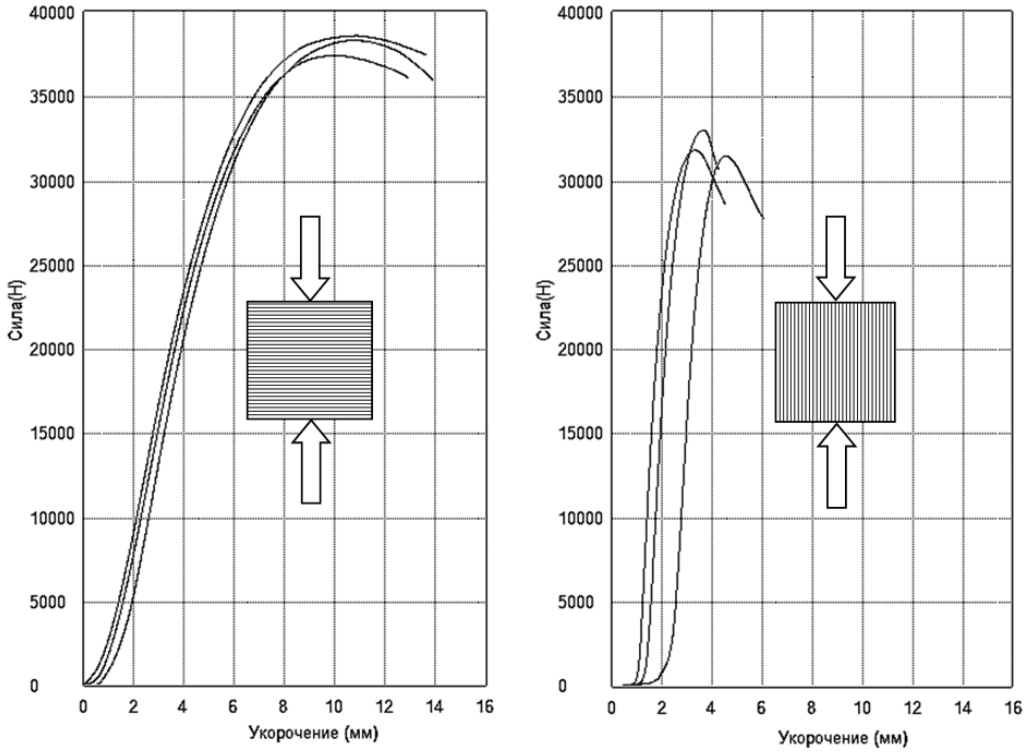

Рис. 4. Диаграммы сжатия поперек (слева) и вдоль слоев укладки сырьевой смеси

В интервале сжимающей силы 5000…25000 Н (рис. 4) угол наклона касательной к графику при сжатии поперек слоев меньше, чем при сжатии вдоль слоев сырьевой смеси. Это означает, что жесткость материала в первом случае меньше, чем во втором. По графикам на рис. 4 находим, что в указанном интервале сжимающей силы в первом случае образец с указанной выше начальной высотой 100 мм укорачивается примерно на 2,68 мм (2,68 %); во втором – примерно на 0,88 мм (0,88 %). При этом в первом случае разрушающая нагрузка больше, чем во втором. Отсюда следует, что целенаправленно изменяя технологию прессования сырьевой смеси, можно управлять прочностью и жесткостью древесно-цементного материала. Другие способы использования анизотропных свойств арболита предложены в статье [15].

Область практического применения рассматриваемого древесно-цементного материала пересекается с областью применения газо- и пенобетона. Например, согласно СП 50.13330.2012, Приложение Т, теплопроводность газо- и пенобетона на цементном вяжущем, при плотности 800; 600 и 400 кг/м^3, равна соответственно 0,33…0,37; 0,22…0,26 и 0,14…0,16 Вт/(м· °С).

Известный недостаток арболитовых блоков – нестабильность размеров – преодолевается применением вибропрессования с последующим «запечатыванием» блока в сжатом состоянии и выдержкой до набора распалубочной прочности [12].

В заключение отметим следующее:

1) экспериментальные данные подтверждают целесообразность использования хлорида кальция и аморфного диоксида кремния марки «Ковелос» 35/05 в качестве компонентов древесно-цементного материала;

2) использование отходов лесопиления в качестве сырья для рассмотренного материала вносит вклад в решение экологической проблемы рационального использования данных отходов;

3) испытания двух серий образцов на одноосное сжатие в двух взаимно перпендикулярных направлениях показали, что, изменяя технологию прессования сырьевой смеси, можно управлять прочностью и жесткостью древесно-цементного материала.

Список литературы

1. Андреев А.А., Колесников Г.Н. Совершенствование технологии использования отходов лесопильных предприятий в производстве древесно-цементных материалов для

малоэтажного строительства // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–6. – С. 1139–1143.

2. Андреев А.А., Зайцева М.И., Колесников Г.Н., Чалкин А.А. Технологии использования отходов лесопиления для устойчивого развития приграничных регионов на севере России // В сборнике: Классический университет в пространстве трансграничности на Севере Европы: стратегия инновационного развития материалы Международного форума. Петрозаводский государственный университет. – 2014. – С. 3–6.

3. Андреев А.А., Колесников Г.Н. О рациональном соотношении количества опилок и стружки в древесно-цементном композите // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – № 4 (141). – С. 85–87.

4. Андреев А.А., Колесников Г.Н., Чалкин А.А. Древесно-цементный композит с добавкой стеатита как конструкционный и демпфирующий материал // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – № 6 (143). – С. 75–78.

5. Баранов Е.В., Незнамова О.М., Чернышов Е.М., Пустовгар А.П. Исследование рациональных составов композита из древесной щепы на основе силикатного и цементного связующего для стеновых панелей быстровозводимых малоэтажных зданий // Вестник МГСУ. – 2012. – № 11. – С. 131–139.

6. Горностаева Е.Ю., Ласман И.А., Федоренко Е.А., Камоза Е.В. Древесно-цементные композиции с модифицированной структурой на макро-, микро- и наноуровнях // Строительные материалы. – 2015. – № 11. – С. 13–16.

7. Езерский В.А., Кузнецова Н.В., Баринова О.С. Модификация цементных смесей с использованием отходов производства цементно-стружечных плит // Строительные материалы. – 2016. – № 6. – С. 47–49.

8. Запруднов В.И., Санаев В.Г. Макроскопические свойства древесно-цементных композитов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 6 (89). – С. 168–171.

9. Колесников Г.Н., Чалкин А.А., Андреев А.А., Колесников Н.Г. Об экономии цемента в древесно-цементном материале за счет малых добавок аморфного диоксида кремния с нанопористой поверхностью частиц // В сборнике: Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции. Сборник статей по материалам региональной научно-практической конференции. – 2016. – С. 42–46.

10. Коротких Д.Н., Артамонова О.В., Чернышов Е.М. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных цементных бетонов // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. – 2009. – № 2. – С. 42–49.

11. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. – Ленинград: Стройиздат, 1990. – 415 с.

12. Оборудование для производства арболита. Продукция машиностроительного завода ООО «ОКБ «Сфера». http://www.okbsfera.ru.

13. Питухин А.В., Панов Н.Г., Колесников Г.Н., Васильев С.Б. Влияние добавки нанопорошка шунгита в клеевой раствор для изготовления трёхслойных древесностружечных плит на их физико-механические свойства // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6886.

14. Субботина Н.В., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Чернов Е.Б. Влияние состава и структуры жидкости затворения на свойства древесно-цементных композиций // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 5 (6). – С. 261–268.

15. Ягубкин А.Н. Влияние направления укладки заполнителя на прочностные и теплоизоляционные свойства арболита // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки: научно-теоретический журнал. – Новополоцк: ПГУ, 2011. – № 8. – С. 77–81.

16. Kolovos K.G. Cement and Concrete Composites, 2006. – Vol. 28, № 2. – P. 133–143.

17. Pitukhin A.V., Kolesnikov G.N., Panov N.G., Vasilyev S.B. Key Engineering Materials, 2016. – Vol. 706. – P. 82–85.

18. Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N., Pitukhin A.V., Panov N.G., Kostyukevich V. Materials Science Forum, 2016. – Vol. 860. – P. 73–77.

References

1. Andreev A.A., Kolesnikov G.N. Sovershenstvovanie tehnologii ispolzovanija othodov lesopilnyh predprijatij v proizvodstve drevesno-cementnyh materialov dlja malojetazhnogo stroitelstva // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 6–6. pp. 1139–1143.

2. Andreev A.A., Zajceva M.I., Kolesnikov G.N., Chalkin A.A. Tehnologii ispolzovanija othodov lesopilenija dlja ustojchivogo razvitija prigranichnyh regionov na severe Rossii // V sbornike: Klassicheskij universitet v prostranstve transgranichnosti na Severe Evropy: strategija innovacionnogo razvitija materialy Mezhdunarodnogo foruma. Petrozavodskij gosudarstvennyj universitet. 2014. pp. 3–6.

3. Andreev A.A., Kolesnikov G.N. O racionalnom sootnoshenii kolichestva opilok i struzhki v drevesno-cementnom kompozite // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2014. no. 4 (141). pp. 85–87.

4. Andreev A.A., Kolesnikov G.N., Chalkin A.A. Drevesno-cementnyj kompozit s dobavkoj steatita kak konstrukcionnyj i dempfirujushhij material // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2014. no. 6 (143). pp. 75–78.

5. Baranov E.V., Neznamova O.M., Chernyshov E.M., Pustovgar A.P. Issledovanie racionalnyh sostavov kompozita iz drevesnoj shhepy na osnove silikatnogo i cementnogo svjazujushhego dlja stenovyh panelej bystrovozvodimyh malojetazhnyh zdanij // Vestnik MGSU. 2012. no. 11. pp. 131–139.

6. Gornostaeva E.Ju., Lasman I.A., Fedorenko E.A., Kamoza E.V. Drevesno-cementnye kompozicii s modificirovannoj strukturoj na makro-, mikro- i nanourovnjah // Stroitelnye materialy. 2015. no. 11. pp. 13–16.

7. Ezerskij V.A., Kuznecova N.V., Barinova O.S. Modifikacija cementnyh smesej s ispolzovaniem othodov proizvodstva cementno-struzhechnyh plit // Stroitelnye materialy. 2016. no. 6. pp. 47–49.

8. Zaprudnov V.I., Sanaev V.G. Makroskopicheskie svojstva drevesno-cementnyh kompozitov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Lesnoj vestnik. 2012. no. 6 (89). pp. 168–171.

9. Kolesnikov G.N., Chalkin A.A., Andreev A.A., Kolesnikov N.G. Ob jekonomii cementa v drevesno-cementnom materiale za schet malyh dobavok amorfnogo dioksida kremnija s nanoporistoj poverhnostju chastic // V sbornike: Resursosberegajushhie tehnologii, materialy i konstrukcii. Sbornik statej po materialam regionalnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2016. pp. 42–46.

10. Korotkih D.N., Artamonova O.V., Chernyshov E.M. O trebovanijah k nanomodificirujushhim dobavkam dlja vysokoprochnyh cementnyh betonov // Nanotehnologii v stroitelstve: nauchnyj Internet-zhurnal. 2009. no. 2. pp. 42–49.

11. Nanazashvili I.H. Stroitelnye materialy iz drevesno-cementnoj kompozicii. Leningrad: Strojizdat, 1990. 415 p.

12. Oborudovanie dlja proizvodstva arbolita. Produkcija mashinostroitelnogo zavoda OOO «OKB «Sfera». http://www.okbsfera.ru.

13. Pituhin A.V., Panov N.G., Kolesnikov G.N., Vasilev S.B. Vlijanie dobavki nanoporoshka shungita v kleevoj rastvor dlja izgotovlenija trjohslojnyh drevesnostruzhechnyh plit na ih fiziko-mehanicheskie svojstva // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. no. 4; URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6886.

14. Subbotina N.V., Sarkisov Ju.S., Gorlenko N.P., Chernov E.B. Vlijanie sostava i struktury zhidkosti zatvorenija na svojstva drevesno-cementnyh kompozicij // Vestnik nauki Sibiri. 2012. no. 5 (6). pp. 261–268.

15. Jagubkin A.N. Vlijanie napravlenija ukladki zapolnitelja na prochnostnye i teploizoljacionnye svojstva arbolita // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Serija F, Stroitelstvo. Prikladnye nauki: nauchno-teoreticheskij zhurnal. Novopolock: PGU, 2011. no. 8. pp. 77–81.

16. Kolovos K.G. Cement and Concrete Composites, 2006. Vol. 28, no. 2. pp. 133–143.

17. Pitukhin A.V., Kolesnikov G.N., Panov N.G., Vasilyev S.B. Key Engineering Materials, 2016. Vol. 706. pp. 82–85.

18. Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N., Pitukhin A.V., Panov N.G., Kostyukevich V. Materials Science Forum, 2016. Vol. 860. pp. 73–77.