

УДК 630.824

DOI: 10.15393/j2.art.2016.3261

Статья

Технология изготовления древесно-стружечных плит с применением аморфного диоксида кремния

Николай Г. Панов¹, Александр В. Питухин², Геннадий Н. Колесников^{3,*} и Сергей Б. Васильев⁴

¹ Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33; E-Mail: supernikola@yandex.ru

² Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33; E-Mail: pitukhin@petsu.ru

³ Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33; E-Mail: kgn@petsu.ru

⁴ Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33; E-Mail: servas-10rus@yandex.ru

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: kgn@petsu.ru

Получена: 25 апреля 2016 / Принята: 25 мая 2016 / Опубликована: 28 июня 2016

Аннотация: Рассмотрены особенности технологии использования аморфного диоксида с нанопористой структурой в качестве модификатора клеевых композиций для древесно-стружечных плит. Цель данной работы: исследовать влияние модификатора в виде нанопористого аморфного диоксида кремния марки «Ковелос» 35/05 на прочность образцов древесно-стружечных плит при изгибе и при растяжении перпендикулярно пласти плиты. Экспериментально определено, что при увеличении добавки аморфного диоксида кремния от 0 % до 0.5 % прочность при изгибе возрастает от 31.6 МПа до 57.2 МПа (на 81 %). Если доля данной добавки равна 1 %, то прочность при изгибе возрастает от 31.6 МПа до 60.6 МПа (на 92 %). При увеличении добавки аморфного диоксида кремния от 0 % до 0.5 % прочность при растяжении перпендикулярно пласти возрастает от 0.99 МПа до 1.33 МПа (на 34 %). При этом, если доля данной добавки равна 1 %, то прочность возрастает от 0.99 МПа до 1.42 МПа (на 43 %). Определена величина технически эффективной и экономически целесообразной доли данной добавки: от 0.50 % до 0.70 % по отношению к массе смолы. Если обычная технология изготовления древесно-стружечных плит обеспечивает достаточную их прочность, то применение модификатора в виде аморфного диоксида кремния

позволит обеспечить такую же прочность при меньшем расходе связующего. Это приведет к уменьшению токсичности данных плит.

Ключевые слова: аморфный диоксид кремния, клеевая композиция, древесно-стружечная плита, прочность.

Article

Manufacturing technology chipboard using the amorphous silicon dioxide

Nikolai Panov¹, Alexander Pitukhin², Gennady Kolesnikov^{3,*} and Sergei Vasil'ev

¹ Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Lenin Avenue, 33; E-Mail: supernikola@yandex.ru

² Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Lenin Avenue, 33.; E-Mail: pitukhin@petsu.ru

³ Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Lenin Avenue, 33; E-Mail: kgn@petsu.ru

⁴ Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Lenin Avenue, 33.; E-Mail: servas-10rus@ya.ru

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: kgn@petsu.ru

Получена: 25 апреля 2016 / Принята: 25 мая 2016 / Опубликовано: 28 июня 2016

Abstract: Abstract: The article discussed the features of the use of amorphous silica with a nanoporous structure as a modifier of adhesive compositions for chipboard. The purpose of this work: to study the influence modifier in the form of amorphous silica brand "Kovelos" 35/05 on the strength of the samples chipboard flexural and tensile perpendicular plasti boards. Experimentally determined, if the proportion of the additive increases from 0 % to 0.5 %, then the flexural strength increases from 31.6 MPa to 57.2 MPa (by 81 %). If the proportion of the additive is 1 %, the flexural strength increases from 31.6 MPa to 60.6 MPa (by 92 %). Under the same conditions, by increasing the amorphous of silica additives from 0 % to 0.5 % and the tensile strength perpendicularly to plate is increases from 0.99 MPa to 1.33 MPa (by 34 %). If the proportion of the additive is 1 %, then the strength is increased from 0.99 MPa to 1.42 MPa (by 43 %). So, the value of the technically efficient and economically feasible proportion of the additive: from 0.50 % to 0.70 % relative to the weight of the resin. It is important, if the normal manufacturing technology chipboard them provides sufficient strength, then the use of a modifier in the form of amorphous silicon dioxide will provide the same strength under reduced share of binder. This will reduce the toxicity of these chipboards.

Keywords: amorphous silica, adhesive composition, chipboard, toughness

Введение.

Применение нанодисперсных модифицирующих добавок позволяет существенно улучшить прочность и другие физико-механические свойства многих композитных материалов. Далее рассматриваются новые варианты технологии изготовления древесно-стружечных плит с применением наномодифицированных клеевых композиций. Авторами данной работы, совместно с коллегами, первоначально была исследована [1–3] возможность использования нанодисперсного порошка шунгита, полученного по известной технологии [5], в качестве модификатора клеевых композиций [4]. Физико-химические свойства шунгита и механизмы его активации в целях использования в качестве модификатора исследованы Н.Н. Рожковой [6].

Техническая возможность и эффективность применения, измельченного шунгита в качестве модификатора клеевых композиций, предназначенных для изготовления древесно-стружечных плит, экспериментально обоснована в работах [1, 2, 4]. Экспериментально установлено, что модификация клеевой композиции нанодисперсным порошком шунгита позволяет увеличить прочность образцов древесно-стружечных плит при статическом изгибе на 41 % по сравнению с контрольными образцами. Максимум прочности плиты достигается, если доля нанодисперсного порошка шунгита составляет от 8 до 10 % по отношению к сухому остатку водорастворимой смолы, использованной для приготовления клеевой композиции [1, 2, 6]. Повышение прочности плит может быть объяснено способностью наночастиц шунгита с удельной поверхностью 100–120 м²/г образовывать армирующую сетку. Адекватность такого объяснения подтверждают данные, полученные с применением электронной микроскопии [6], которые указывают на существование в отвержденной клеевой композиции [4] сетчатой структуры с характерным размером примерно 36 нанометров [3, 7].

Материалы, методы и результаты.

С учетом изложенного выше можно считать технически обоснованной возможность повышения прочности древесно-стружечных плит за счет применения модификатора клеевых композиций в виде нанодисперсного порошка шунгита. Однако при использовании данного модификатора появляются две проблемы. Одна из них заключается в сложности технологии получения нанодисперсного порошка шунгита [5], что, как следствие, приводит к высокой стоимости модификатора; при этом необходима достаточно высокая доля нанопорошка, как указано выше, от 8 до 10 % по отношению к массе сухого остатка водорастворимой смолы. Другая проблема связана с необходимостью обеспечения требуемого соотношения (по массе) воды и нанодисперсного порошка шунгита в клеевой композиции при использовании технологии горячего прессования для изготовления древесно-стружечных плит, что более подробно рассмотрено в работе [7]. Было установлено, что армирующие свойства указанного модификатора в виде нанопорошка шунгита не реализуются, если имеет место недостаток воды в сырьевой смеси, предназначенной для изготовления образцов древесно-стружечной плиты. С увеличением влажности сырьевой смеси прочность образцов плиты возрастала. Однако возможности увеличения влажности смеси были ограничены, поскольку использовалась стандартная технология горячего прессования древесно-стружечных плит при температуре выше температуры кипения воды. Поэтому, чтобы исключить появление избытка водяного пара и, как следствие, разрушение материала плиты в процессе горячего прессования, использовалась почти полусухая

сырьевая смесь, что, возможно, уменьшало эффективность применения наномодификатора. В поисках решения данных проблем обратим внимание на следующие аспекты.

Основными компонентами шунгита являются углерод и диоксид кремния [8]. В этой связи остается открытым вопрос: можно ли получить армирующий эффект, если использовать в качестве модификатора рассматриваемой клеевой композиции только наночастицы диоксида кремния или только наночастицы углерода? В данной работе внимание фокусируется на использовании диоксида кремния.

Как известно, диоксид кремния существует в кристаллическом и в аморфном виде. Кристаллический диоксид кремния обладает высокой твердостью и прочностью, что усложняет его измельчение, необходимое для получения высокой удельной поверхности, равной, например, указанному выше $100\text{--}120\text{ м}^2/\text{г}$. Поэтому предпочтительным является применение в качестве модификатора аморфного нанопористого диоксида кремния, называемого также аморфным диоксидом кремния с нанопористой структурой. Его удельная поверхность может составлять, например, $400\text{ м}^2/\text{г}$, что служит причиной его высокой реакционной способности и поверхностной активности. Тем самым объясняется то обстоятельство, что такой диоксид кремния в природе почти не встречается. Его получают по специальным технологиям [9], гарантирующим высокое качество и конкурентоспособность нанопористого аморфного диоксида кремния.

Цель данной работы: исследовать влияние модификатора в виде нанопористого аморфного диоксида кремния марки «Ковелос» 35/05 на прочность образцов древесностружечных плит при изгибе и при растяжении перпендикулярно пласти плиты.

Методика испытаний древесностружечных плит регламентирована следующими документами: ГОСТ Р 54333-2011 «Плиты древесностружечные и древесноволокнистые. Метод определения предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты»; ГОСТ 10635-88 «Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе», изменение № 2 (введено в действие на территории РФ с 01.01.2012); ГОСТ 32399-2013 Плиты древесностружечные влагостойкие. Технические условия.

В качестве основы связующего в клеевой композиции выбрана карбамидоформальдегидная смола марки КФ-МТ (согласно существующему обозначению [10, стр. 22]) с массовой долей сухого остатка в рабочем растворе от 70 % до 40 %.

В качестве отвердителя выбран водный раствор хлорида аммония (NH_4Cl) с концентрацией 20 %. Такой раствор используется в качестве отвердителя смол в производстве древесностружечных плит [10, стр. 23].

В качестве модификатора использован аморфный диоксид кремния, марка «Ковелос» 35/05, с нанопористой структурой частиц средним диаметром 8 мкм и удельной их поверхностью $400\text{ м}^2/\text{г}$ [<http://aerosil.su/dokumentaciya>].

Клеевую композицию готовили путем смешивания составляющих ее компонентов. По одному из вариантов в емкость заливают 98 весовых частей смолы. Затем при постоянном перемешивании и температуре приблизительно 20°C добавляют аморфный диоксид кремния. После гомогенизации полученной смеси, для чего требуется примерно 30 минут, добавляют отвердитель, полученную композицию перемешивают и используют по известной технологии для изготовления древесностружечных плит [10], фанеры [11] или деревянных клееных конструкций.

Применение рассматриваемой клеевой композиции в производстве древесностружечных плит включает в себя следующие технологические операции: обработка (так называемое осмоление) частиц измельченной древесины приготовленной клеевой композицией и получение тем самым сырьевой смеси; формирование так называемого ковра из сырьевой

смеси; холодное предварительное прессование, затем горячее прессование; кондиционирование в охлаждение; очистка поверхности плиты от пыли и древесных частиц; раскрой плиты [10].

По данной технологии были изготовлены и затем испытаны пять серий образцов плит толщиной 16 мм с применением клеевой композиции, модифицированной добавкой аморфного диоксида кремния в количестве, мас. %: 0; 0.125; 0.250; 0.500; 1.000.

На рисунках 1 и 2 приведены в графической форме усредненные результаты испытаний указанных выше образцов древесностружечных плит, соответственно, на изгиб и на растяжение перпендикулярно плоскости плиты. По оси абсцисс указаны массовые доли аморфного диоксида кремния в пределах от 0 до 0.01, что соответствует интервалу от 0 % до 1 %.

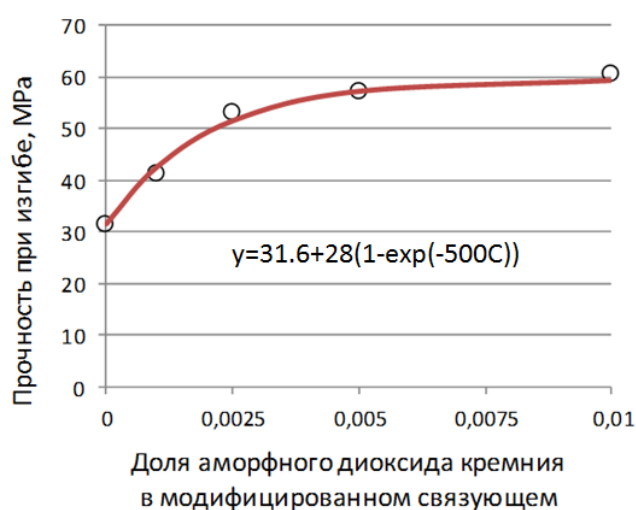


Рис. 1. Прочность образцов плиты при изгибе

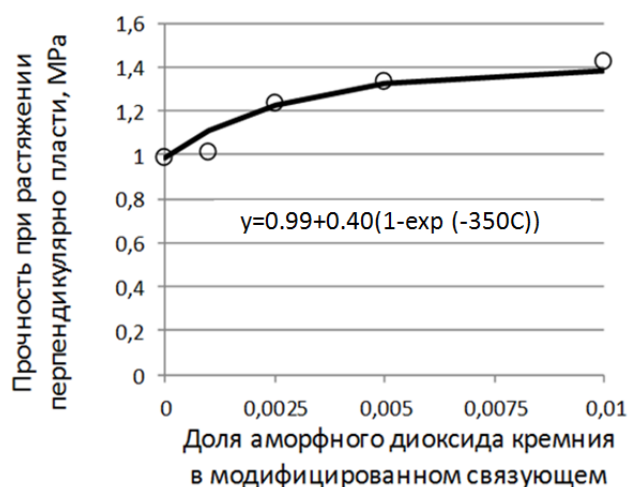


Рис. 2. Прочность образцов плиты при растяжении перпендикулярно пласти

Экспериментально установлено (рис. 1), что при увеличении добавки аморфного диоксида кремния от 0 % до 0.5 % прочность при изгибе возрастает от 31.6 МПа до 57.2 МПа (на 81 %). Если доля данной добавки равна 1 %, то прочность при изгибе возрастает от 31.6 МПа до 60.6 МПа (на 92 %).

При увеличении добавки аморфного диоксида кремния от 0 % до 0.5 % прочность при растяжении перпендикулярно пласти (рис. 2) возрастает от 0.99 МПа до 1.33 МПа (на 34 %). Если доля данной добавки равна 1 %, то прочность при изгибе возрастает от 0.99 МПа до 1.42 МПа (на 43 %).

Анализ полученных данных (рис. 1 и 2) показывает, что целесообразна добавка аморфного диоксида кремния в количестве от 0.50 % до 0.70 %.

Плотность материала испытанных образцов составила примерно 950 кг/м³, что больше общепринятой плотности для плит толщиной 16 мм (680 ÷ 750 кг/м³). С уменьшением плотности материала плит их прочность уменьшается [10]. Однако сохраняется упрочняющее влияние нового модификатора клеевой композиции на прочность образцов плит, изготовленных с применением данной клеевой композиции.

Функционирование материала, изготовленного с применением предлагаемой композиции, заключается в том, что при перемешивании растворенной в воде смолы частицы нанопористого аморфного диоксида кремния распределяются по объему композиции. Благодаря большой удельной поверхности данных частиц они образуют структуру в виде трехмерной сетки, которая фиксируется при горячем прессовании древесно-стружечной плиты с температурой не более 190°C. Распределенные по объему клеевой композиции, а вместе с ней и по объему древесно-стружечной плиты, наноразмерные частицы аморфного диоксида кремния сопротивляются появлению очагов разрушения на начальной стадии их формирования. Как следствие, повышается прочность материала при эксплуатационных воздействиях в виде внешних и внутренних сил. В частности, экспериментально установлено, что существенно повышается прочность как при изгибе плиты (рис. 1), так и при растяжении перпендикулярно плоскости плиты (рис. 2).

Правомерно предположить, что увеличение прочности при растяжении перпендикулярно плоскости плиты (рис. 2) увеличивается сопротивление материала внутренним силам, появляющимся при разбухании плиты под воздействием влаги. Эти внутренние силы вызывают увеличение толщины плиты в процессе ее функционирования, однако модификация связующего аморфным диоксидом кремния повышает сопротивление данным силам. Как следствие, уменьшение влияния влаги на изменение толщины плиты по причине разбухания характеризует плиту как более влагостойкую, в дополнение к указанным выше характеристикам прочности плиты (рис. 1 и рис. 2).

Таким образом, подтверждена техническая возможность использования аморфного диоксида кремния с нанопористой структурой в качестве модификатора в целях повышения прочности древесно-стружечных плит. Определена величина технически эффективной и экономически целесообразной доли данной добавки: от 0.50 % до 0.70 % по отношению к массе смолы.

Обсуждение и заключение.

Если обычная технология изготовления древесно-стружечных плит обеспечивает достаточную их прочность, то применение модификатора в виде аморфного диоксида кремния, вероятно, позволит обеспечить такую же прочность при меньшем расходе связующего. Это приведет к уменьшению токсичности данных плит. Другие способы уменьшения токсичности древесностружечных плит рассмотрены в статьях [12, 13, 14, 15].

Эффективность применения диоксида кремния в качестве модификатора композитных материалов, полученных с использованием отходов растительного происхождения, подтверждена исследованиями других авторов [16, 17, 18].

Анализ литературы показал, что известны применения в качестве модификаторов композитных материалов не только нанопорошка шунгита [1, 2, 5] и рассмотренного выше

аморфного диоксида кремния, но также других материалов [18, 19, 20, 21, 22]. Однако необходимым условием в этих случаях является наноразмер частиц модификатора, что обеспечивает его поверхностную активность и, как следствие, приводит к формированию армирующей наноструктуры, один из примеров которой представлен в статьях [3, 7]. Армирующая наноструктура, как отмечено выше, сопротивляется появлению очагов разрушения на начальной стадии их формирования. Как следствие, повышается прочность материала. Таким образом, применение аморфного диоксида кремния и других наномодификаторов открывает новые возможности рационального использования древесины [23, 24], в дополнение к другим известным технологиям [25, 26, 27, 28].

Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета на 2012-2016 гг.

Литература

1. Панов Н. Г., Питухин А. В., Рожков С. С., Цветков В. Е., Санаев В. Г., Фирюлина О. В. Древесно-стружечные плиты на основе карбамидоформальдегидной смолы, модифицированной наноразмерным шунгитом // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2012. № 2. С. 135-138.
2. 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. С. 147.
3. Питухин А. В., Васильев С. Б., Панов Н. Г., Колесников Г. Н. Наноструктура клея и прочность древесно-стружечных плит // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2014. № 7-8. С. 22-24.
4. Рожков С. С., Рожкова Н. Н. Способ переработки шунгита // Патент РФ № 2448899. Опубликовано: 27.04.2012.
5. Рожкова Н. Н., Панов Н. Г., Питухин А. В., Рожков С. С., Васильев С. Б., Колесников Г. Н. Клеевая композиция с наномодификатором для древесностружечных плит // Патент РФ 2520449. Опубликовано 2014.06.27.
6. Рожкова Н. Н. Нанокремнезем шунгитов: структурные и физико-химические свойства, механизмы активации // Автореферат диссертации ... доктора химических наук. Санкт-Петербург, 2013. 39 с.
7. Питухин А. В., Панов Н. Г., Васильев С. Б., Колесников Г. Н. Особенности применения наномодификаторов клеевых композиций для древесно-стружечных плит // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 449-453.
8. Рожкова Н. Н. Нанокремнезем шунгитов // Карельский научный центр РАН, Институт геологии. Петрозаводск, 2011. 98 с.
9. Лось С. Л. Способ получения нанодисперсного кремнезема. Патент RU 2420454. Опубликовано: 10.06.2011. Бюллетень № 16.
10. Отлев И. А., Штейнберг Ц. Б. Справочник по древесно-стружечным плитам // Москва: Издательство «Лесная промышленность». 1983. 240 с.
11. Волков А. В. Справочник фанерщика // Санкт-Петербург. Издательство Политехнического университета. 2010. 486 с.

12. Чубинский А. Н., Варанкина Г. С. Формирование низкотоксичных древесностружечных плит с использованием модифицированных клеев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – №. 6 (336).
13. Угрюмов С. А., Цветков В. Е. Наномодифицированные клеевые составы для производства плитных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2012. № 7 (90). С. 127-130.
14. Strzemieska B. et al. Functional lignin-SiO₂ hybrids as potential fillers for phenolic binders // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2015. – С. 1-18.
15. Liu Y., Shen J., Zhu X. D. Evaluation of mechanical properties and formaldehyde emissions of particleboards with nanomaterial-added melamine-impregnated papers // European Journal of Wood and Wood Products. – 2015. – Т. 73. – №. 4. – С. 449-455.
16. Tabar M. M. et al. Using silicon dioxide (SiO₂) nano-powder as reinforcement for walnut shell flour/HDPE composite materials // Journal of the Indian Academy of Wood Science. – 2015. – V. 12. – №. 1. – Pp. 15-21.
17. Rangavar H. et al. The Effect of Nanocopper Additions in a Urea-Formaldehyde Adhesive on the Physical and Mechanical Properties of Particleboard Manufactured from Date Palm Waste // Mechanics of Composite Materials. – 2015. – Т. 51. – №. 1. – С. 119-126.
18. Taghiyari H. R. et al. Effects of Nanotechnology on Fluid Flow in Agricultural and Wood-Based Composite Materials // Agricultural Biomass Based Potential Materials. – Springer International Publishing, 2015. – С. 73-89.
19. Stefan Veigel, Jörn Rathke, Martin Weigl, and Wolfgang Gindl-Altmutter. Particle Board and Oriented Strand Board Prepared with Nanocellulose-Reinforced Adhesive // Journal of Nanomaterials. Vol. 2012. Article ID 158503, 2012. DOI:10.1155/2012/158503
20. Marzbani P., Afrouzi Y. M., Omidvar A. The effect of nano-zinc oxide on particleboard decay resistance // Maderas. Ciencia y tecnología. – 2015. – Т. 17. – № 1. – С. 63-68.
21. Candan Z., Akbulut T. Physical and mechanical properties of nanoreinforced particleboard composites // Maderas. Ciencia y tecnología. – 2015. – Т. 17. – №. 2. – С. 319-334.
22. Taghiyari H. R., Mohammad-Panah B., Morrell J. J. Effects of wollastonite on the properties of medium-density fiberboard (MDF) made from wood fibers and camel-thorn // Maderas. Ciencia y tecnología. – 2016. – Т. 18. – №. 1. – С. 157-166.
23. Dukarska D., Czarnecki R. Fumed silica as a filler for MUPF resin in the process of manufacturing water-resistant plywood // European Journal of Wood and Wood Products. – 2016. – Т. 74. – №. 1. – С. 5-14.
24. Zhao G., Yu Z. Recent research and development advances of wood science and technology in China: impacts of funding support from National Natural Science Foundation of China // Wood Science and Technology. – 2016. – Т. 50. – №. 1. – С. 193-215.
25. Васильев С. Б., Девятникова Л. А., Колесников Г. Н., Симонова И. В. Технологические решения для реализации потенциала ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу // Петрозаводск, 2013. 92 с.
26. Доспехова Н. А., Зайцева М. И., Никонова Ю. В. Рациональное использование древесного сырья: некоторые новые технические и технологические решения // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 1-1 (45). С. 134-138.
27. Питухин А. В., Васильев С. Б., Колесников Г. Н., Панов Н. Г., Копарев В. С. Модель разрушения древесностружечных плит при растяжении перпендикулярно пласти // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. № 6 (135). С. 68-72.

28. 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.

References

1. Panov N. G., Pituhin A. V., Rozhkov S. S., Cvetkov V. E., Sanaev V. G., Firjulina O. V. Drevesno-struzhechnye plity na osnove karbamidoformal'degidnoj smoly, modificirovannoj nanorazmernym shungitom // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoj vestnik. 2012. № 2. S. 135-138.

2. Pituhin A. V., Panov N. G., Kolesnikov G. N., Vasil'ev S. B. Vlijanie dobavki nanoporoshka shungita v kleevoj rastvor dlja izgotovlenija trjohslojnyh drevesnostruzhechnyh plit na ih fiziko-mehaniicheskie svojstva // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. № 4. S. 147.

3. Pituhin A. V., Vasil'ev S. B., Panov N. G., Kolesnikov G. N. Nanostruktura kleja i prochnost' drevesno-struzhechnyh plit // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2014. № 7-8. S. 22-24.

4. Rozhkov S. S., Rozhkova N. N. Sposob pererabotki shungita // Patent RF № 2448899. Opublikovano: 27.04.2012.

5. Rozhkova N. N., Panov N. G., Pituhin A. V., Rozhkov S. S., Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N. Kleevaja kompozicija s nanomodifikatorom dlja drevesnostruzhechnyh plit // Patent RF 2520449. Opublikovano 2014.06.27.

6. Rozhkova N. N. Nanouglerod shungitov: strukturnye i fiziko-himicheskie svojstva, mehanizmy aktivacii // Avtoreferat dissertacii ... doktora himiicheskih nauk. Sankt-Peterburg, 2013. 39 s.

7. Pituhin A. V., Panov N. G., Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N. Osobennosti primenenija nanomodifikatorov kleevyh kompozicij dlja drevesno-struzhechnyh plit // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2015. T. 3. № 2-2 (13-2). S. 449-453.

8. Rozhkova N. N. Nanouglerod shungitov // Karel'skij nauchnyj centr RAN, Institut geologii. Petrozavodsk, 2011. 98 s.

9. Los' S. L. Sposob poluchenija nanodispersnogo kremnezema. Patent RU 2420454. Opublikovano: 10.06.2011. Bjul'ten' № 16.

10. Otlev I. A., Shtejnberg C. B. Spravochnik po drevesno-struzhechnym plitam // Moskva: Izdatel'stvo «Lesnaja promyshlennost'». 1983. 240 s.

11. Volkov A. V. Spravochnik fanershhika // Sankt-Peterburg. Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta. 2010. 486 s.

12. Chubinskij A. N., Varankina G. S. Formirovanie nizkotoksichnyh drevesnostruzhechnyh plit s ispol'zovaniem modificirovannyh kleev // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2013. – №. 6 (336).

13. Ugrjumov S. A., Cvetkov V. E. Nanomodificirovannye kleevyje sostavy dlja proizvodstva plitnyh materialov na osnove drevesnyh napolnitelej i kostry l'na // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoj vestnik. 2012. № 7 (90). S. 127-130.

14. Strzemiecka B. et al. Functional lignin-SiO₂ hybrids as potential fillers for phenolic binders // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2015. – S. 1-18.

15. Liu Y., Shen J., Zhu X. D. Evaluation of mechanical properties and formaldehyde emissions of particleboards with nanomaterial-added melamine-impregnated papers // European Journal of Wood and Wood Products. – 2015. – T. 73. – №. 4. – S. 449-455.

16. Tabar M. M. et al. Using silicon dioxide (SiO₂) nano-powder as reinforcement for walnut shell flour/HDPE composite materials // *Journal of the Indian Academy of Wood Science*. – 2015. – V. 12. – №. 1. – Pp. 15-21.
17. Rangavar H. et al. The Effect of Nanocopper Additions in a Urea-Formaldehyde Adhesive on the Physical and Mechanical Properties of Particleboard Manufactured from Date Palm Waste // *Mechanics of Composite Materials*. – 2015. – T. 51. – №. 1. – S. 119-126.
18. Taghiyari H. R. et al. Effects of Nanotechnology on Fluid Flow in Agricultural and Wood-Based Composite Materials // *Agricultural Biomass Based Potential Materials*. – Springer International Publishing, 2015. – S. 73-89.
19. Stefan Veigel, Jörn Rathke, Martin Weigl, and Wolfgang Gindl-Altmatter. Particle Board and Oriented Strand Board Prepared with Nanocellulose-Reinforced Adhesive // *Journal of Nanomaterials*. Vol. 2012. Article ID 158503, 2012. DOI:10.1155/2012/158503
20. Marzbani P., Afrouzi Y. M., Omidvar A. The effect of nano-zinc oxide on particleboard decay resistance // *Maderas. Ciencia y tecnología*. – 2015. – T. 17. – №. 1. – S. 63-68.
21. Candan Z., Akbulut T. Physical and mechanical properties of nanoreinforced particleboard composites // *Maderas. Ciencia y tecnología*. – 2015. – T. 17. – №. 2. – S. 319-334.
22. Taghiyari H. R., Mohammad-Panah B., Morrell J. J. Effects of wollastonite on the properties of medium-density fiberboard (MDF) made from wood fibers and camel-thorn // *Maderas. Ciencia y tecnología*. – 2016. – T. 18. – №. 1. – S. 157-166.
23. Dukarska D., Czarnecki R. Fumed silica as a filler for MUPF resin in the process of manufacturing water-resistant plywood // *European Journal of Wood and Wood Products*. – 2016. – T. 74. – №. 1. – S. 5-14.
24. Zhao G., Yu Z. Recent research and development advances of wood science and technology in China: impacts of funding support from National Natural Science Foundation of China // *Wood Science and Technology*. – 2016. – T. 50. – №. 1. – S. 193-215.
25. Vasil'ev S. B., Devjatnikova L. A., Kolesnikov G. N., Simonova I. V. Tehnologicheskie reshenija dlja realizacii potenciala resursoberezenija pri pererabotke kruglyh lesomaterialov na shhepu // *Petrozavodsk*, 2013. 92 s.
26. Dospheva N. A., Zajceva M. I., Nikonova Ju. V. Racional'noe ispol'zovanie drevesnogo syr'ja: nekotorye novye tehnicheckie i tehnologicheskie reshenija // *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii*. 2015. № 1-1 (45). S. 134-138.
27. Pituhin A. V., Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N., Panov N. G., Koparev V. S. Model' razrushenija drevesnostruzhechnyh plit pri rastjazhenii perpendikuljarno plasti // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheckie nauki*. 2013. № 6 (135). S. 68-72.
28. Andreev A. A., Kolesnikov G. N. O racional'nom sootnoshenii kolichestva opilok i struzhki v drevesno-cementnom kompozite // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehnicheckie nauki*. 2014. № 4 (141). S. 85-87.