

Изучение модифицирования древесных наполнителей раствором карбамида для применения в композиционных материалах

Э.Р. Хайруллина^a, Р.Г. Сафин^b, Д.В. Тунцев^c, М.Р. Хайруллина^d

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан, Россия

^aendzhe_31@mail.ru, ^bsafin@mail.ru, ^ctuncev_d@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-7202-2688>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5790-4532>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1842-5771>

Статья поступила 26.08.2021, принята 09.09.2021

В статье рассматривается вопрос о целесообразности применения предварительной обработки древесного наполнителя для производства композиционных материалов. Определена потребность в современных конструкционных и изоляционных материалах, а также необходимость использования вторичных древесных ресурсов в качестве наполнителя. Проведен анализ выбора в качестве исходного сырья древесины мягколиственных пород, а именно осины, с учетом дальнейшего использования в производстве композиционных материалов. В статье рассматривается метод химико-механической модификации, исследуется влияние предварительной пропитки древесных частиц водным раствором карбамида. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния предварительной обработки на химический состав и физико-механические свойства древесных частиц. Приведен сравнительный анализ химического состава, физико-механических свойств необработанных древесных частиц и древесных частиц, подвергавшихся предварительной обработке. Результаты исследований отражают необходимость внедрения предварительной обработки водным раствором карбамида древесных частиц мягколиственных пород. Представлены результаты эксплуатационных показателей разработанного композиционного материала с предварительной обработкой древесного наполнителя с фибролитовыми плитами, технология производства которых соответствует ГОСТ 8928–81. Установлено, что разработанный материал по своим прочностным показателям, показателям тепло- и звукоизоляции, гигроскопичности выше, следовательно, необходимость предварительной обработки древесного наполнителя для повышения эксплуатационных характеристик материала является обоснованной. Целесообразность использования древесины мягколиственных пород в качестве древесного наполнителя доказана по результатам исследований, которые подтверждают использование данного вида древесных частиц, тем самым заменяя хвойные породы, которые используются повсеместно в качестве наполнителя в композиционных материалах.

Ключевые слова: мягколиственные породы древесины; композиционный материал; древесный наполнитель; древесные частицы; модификация древесного наполнителя; водный раствор карбамида.

Study of the modification of wood fillers with a urea solution for use in composite materials

E.R. Khairullina^a, R.G. Safin^b, D.V. Tuntsev^c, M.R. Khairullina^d

Kazan National Research Technological University; 68, Karl Marx St., Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

^aendzhe_31@mail.ru, ^bsafin@mail.ru, ^ctuncev_d@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-7202-2688>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5790-4532>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1842-5771>

Received 26.08.2021, accepted 09.09.2021

The article discusses the feasibility of using pretreatment of wood filler for the production of composite materials. The need for modern structural and insulation materials, the use of secondary wood resources for the production of composite materials is determined. The analysis of the choice of soft-leaved wood, namely aspen, as a raw material, taking into account the further use in the production of composite materials, is carried out. The article considers the method of chemical-mechanical modifications, namely, the effect of pre-impregnation of wood particles with an aqueous solution of urea is investigated. The paper presents the results of experimental studies of the effect of pretreatment on the chemical composition of wood particles and on the physical and mechanical properties. A comparative analysis of the chemical composition, physical and mechanical properties, untreated wood particles and wood particles subjected to pretreatment is given. The results of the performance indicators of the developed composite material with pretreatment of wood filler with fibrolite plates, the production technology of which corresponds to GOST 8928-81, are presented. It is established that the developed material is higher in terms of its strength, heat and sound insulation, hygroscopicity, therefore, the need for pretreatment of wood filler to improve the performance characteristics of the material is justified. The results of the research reflect the need for the introduction of pretreatment with an aqueous solution of urea of wood particles of deciduous species. The expediency of using soft-leaved wood as a wood filler is proved by the results of studies that confirm the use of this type of wood particles, thereby replacing coniferous species that are used everywhere as a filler in composite materials.

Keywords: soft-leaved wood species; composite material; wood filler; wood particles; modification of wood filler; urea aqueous solution.

Введение. Огромный спрос строительного рынка на конструкционные и отделочные материалы из древесины связан с экологичностью и ценными качествами дерева [1]. В последнее время высокими темпами разрабатывались материалы, которое не склонны к влиянию влажности, гниения, деформации и другим недостаткам. Однако таким синтетическим материалам часто не хватает тех свойств, которые есть в древесине, поэтому разработки по созданию новых композиционных материалов на основе древесины продолжают и сейчас. При этом поиск способов улучшения качества и повышения стойкости композиционного материала, когда в качестве наполнителя выступают древесные частицы, становится актуальным [2–5]. Свойства древесины меняются от различных факторов, так как древесина является материалом живой природы. Физико-механические свойства древесины просто поражают: хорошо обрабатывается режущими инструментами, обладает высокой прочностью при малой массе, удерживает металлические крепления, хорошо склеивается и отделяется, кроме того, в ней присутствуют декоративные свойства за счет красивой текстуры и фактуры [7–9]. При этом и эксплуатационные свойства высоки по своим показателям: древесина имеет малую теплопроводность и прекрасные резонансные свойства, хорошо поглощает ударные и вибрационные нагрузки. Однако есть и ряд недостатков, такие как: в направлении вдоль оси ствола и поперек — изменчивость свойств; высокая гигроскопичность, что приводит к уменьшению прочности и увеличению ее массы, а при высыхании наоборот происходит усушка; растрескивается и коробится; поражается грибами, что может привести к гниению; горючесть. Стоит заметить, что эти свойства для различных древесных пород разнообразны, и при этом даже в пределах одной породы они различны. Свойства древесины меняются, в том числе, от возраста и условий произрастания (качество и состояние почвы, климатические особенности, тип леса, высота над уровнем моря), а также времени рубки и первоначальной влажности [10].

Перечисленные недостатки в значительной мере можно устранить путем химической и химико-механической переработки древесины в различные материалы — бумагу, картон, древесно-стружечные и древесно-волоконные плиты, фанеру и так далее. Однако этого недостаточно, и для расширения возможностей применения самой древесины, а также листовых и плитных материалов на основе древесины требуется ее модификация [11].

Древесина — природный полимерный композиционный материал со способностью при механическом и химическом воздействии менять свои свойства. Модифицированная древесина на данном этапе развития технологий применяется все чаще, при этом способы получения и свойства модифицированной древесины разные [12]. Зная закономерности изменения свойств материала, можно создавать их целенаправленно, придавая качества, необходимые потребителю [13].

Ресурсы хвойных пород древесины с каждым днем истощаются, экологическое влияние на промышленность растет, в связи с чем ставится задача вовлечения мягколиственной древесины в переработку в более широких масштабах. Однако, хотя Россия и является богатой лесной державой, запасы ценных пород, таких как дуб, ясень, бук составляют менее 1 % от всего объема произрастающей древесины. Именно поэтому на сегодняшний день остро стоит вопрос создания новых технологий переработки древесины мягких лиственных пород, которые могли бы успешно заменить древесину хвойных пород, используемых в качестве наполнителя в композиционных материалах. Ресурсы древесины мягколиственных пород не могут быть переработаны в полном объеме как в настоящее время, так и в ближайшей перспективе. Изучение тенденций ресурсосбережения показало, что с экономической и экологической точек зрения обоснованным является использование мягколиственных пород в качестве наполнителя для производства композиционных материалов [14]. Наиболее быстрорастущими и не требующими специального ухода являются деревья мягких лиственных пород, такие как осина, ольха, береза, тополь. Эти породы являются малоценными, так как они малопрочны и, к тому же, подвержены загниванию.

Однако ограничением при использовании мягколиственных отходов лесопромышленного комплекса в композиционных материалах является наличие специфических свойств сырья, таких как анизотропность, наличие объемно-влажностной деформации, высокая паропроницаемость и высокая химическая активность. Исходя из чего следует необходимость внедрения в цикл производства композиционных материалов предварительной обработки древесного наполнителя, по-другому, внедрения процесса модифицирования древесного наполнителя.

Постановка и решение задачи. Древесину, у которой повышены физико-механические и эксплуатационные свойства по сравнению с необработанной древесиной за счет воздействия на нее в процессе обработки температуры, давления и активных веществ, определяют модифицированной древесиной.

Анализ современных методов обработки древесного наполнителя показал большое разнообразие технологий модификации. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Из известных способов наиболее перспективными являются термическая и химико-механическая обработка. Если термическая модификация считается самым экологичным способом, то химико-механическая является на сегодняшний день одной из лучших, так как при ее реализации используются все известные технические приемы модифицирования (пропитка, сушка, прессование), и при модификации затрагиваются все уровни строения древесины (ультрамикро-, микро- и макроструктура) [15].

На кафедре переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета были проведены исследования по изменению свойств древесных частиц мягколист-

венных пород при предварительной химико-механической обработке водным раствором карбамида. Рассмотрим предлагаемый способ подробнее.

Предлагаемая технология химико-механической модификации изменяет свойства древесных частиц на всю глубину обрабатываемой поверхности. Это достигается тем, что молекулы модификатора, т. е. вещества, которые способствуют изменению свойств древесных частиц, по размеру сравнимы с молекулами древесного вещества и менее размеров межклеточных пространств [16]. При применении способа принудительной пропитки под давлением модификатор проникает на всю толщину пропитываемого изделия, а затем под воздействием температуры и давления реагирует с природными химикатами, находящимися в древесных веществах [17]. Таким образом, эта обработка для древесных частиц позволяет сохранять все положительные свойства, ярче выделять текстуру, и дает возможность менять цвет древесных частиц для изготовления декоративных материалов.

Модификатор должен в растворенном состоянии проникать в клеточные структуры древесных частиц, быть химически активным для компонентов, составляющих древесные частицы, и, реагируя с этими компонентами, целенаправленно изменять физические и эксплуатационные свойства. Одним из более подходящих для этого химических веществ является карбамид. Карбамид хорош тем, что он растворим в воде, в том числе и в той, что содержится в связанном состоянии в древесных частицах, а это, в свою очередь, означает, что, пропитывая древесные частицы водным раствором карбамида, часть древесной влаги переходит в гидрофильный карбамид. Карбамид при повышении температуры активно реагирует с такими компонентами древесного вещества, как лигнин, гемицеллюлозы, экстрактивные вещества. Учитывая, что реакция поликонденсации происходит в макромолекулах древесного вещества, древесные частицы приобретают новые задаваемые полезные качества, сохранив положительные до пропитки. Раствор карбамида не вреден, химически нейтрален, более того, марка А по ГОСТ 6691-77 применяется как кормовая добавка для скота.

Водный раствор карбамида в данном случае выступает в качестве пластификатора. В качестве стабилизатора форм и размеров модифицированных древесных частиц можно использовать форконденсат карбамидоформальдегидного олигомера (КФК-10), в качестве упрочнителя — карбамидоформальдегидную смолу (ПКП32). Для упрочнения древесных частиц мягколиственных пород применяется либо прессование, либо введение упрочнителей. При прессовании увеличивается плотность, следовательно, линейно увеличивается прочность (здесь необходимо учесть, ведет ли прессование к микроразрушениям древесных частиц). При этом необходимо иметь в виду, что увеличение степени прессования на 1 % дает в среднем 0,8 % увеличения прочности. Введение упрочнителей, таких как мономеры и олигомеры синтетических смол, кремнийорганические жидкости и т. д. увеличивает прочность на 0,4–0,7 % из расчета на содержание в древесных частицах 0,8–1 % упрочнителя. Учитывая, что упрочнители в 6–8 раз дороже самих древесных частиц, становится оче-

видным, что они малопригодны для модифицирования. Недостатком упрочнения при использовании метода прессования является то, что оно сопровождается уменьшением объема. Кроме того, если прессование древесины ограничено определенным пределом, т. е. плотностью древесного вещества в древесине, то прессование древесных частиц нецелесообразно. Тем более, когда речь идет о древесных частицах, применение упрочнителя отпадает, так как после смешения со связующим получаемый композиционный материал подвергается прессованию.

Для обоснования выбора модификации раствором карбамида проведены исследования и проанализированы данные, полученные путем экспериментальных испытаний.

Результаты. Предварительная химико-механическая обработка осуществляется следующим образом: древесный наполнитель пропитывается в автоклаве водным раствором карбамида с концентрацией 30 % и температурой 80–120 °С в течение 4–6 ч при давлении 0,4 МПа с дальнейшей сушкой при температуре 120–160 °С.

Технологический процесс химико-механической обработки позволяет проникнуть раствору карбамида на всю глубину обрабатываемых древесных частиц. Во время модификации молекулы модификатора, способствующего изменению свойств древесных частиц, по размеру сравнимы с молекулами древесных компонентов и менее размеров межклеточных пространств в компонентах древесины. В связи с чем во время принудительной пропитки под давлением в автоклаве модификатор проникает на всю глубину пропитываемых древесных частиц, а затем, под воздействием температуры и давления, начинается реакция с природными химикатами, находящимися в структуре древесных частиц.

Как показывают исследования, предварительная обработка древесных частиц водным раствором карбамида меняет их свойства и состав компонентов [18]. Изучалось влияние технологических операций пропитки древесных частиц, а именно осины, 30%-ным раствором карбамида с температурой раствора 80–120 °С в течение 4–6 ч при давлении 0,4 МПа и дальнейшей сушкой при температуре 120–160 °С в течение 2–4 ч, на изменение химического состава древесинных частиц (табл. 1). Относительно к абсолютно сухим частицам древесины содержание карбамида после пропитки и сушки составило 17 %.

Как видно (табл. 1), после обработки карбамидом у модифицированных древесных частиц равновесная влажность идет на спад, при этом зольность растет. Резкий рост веществ, извлекаемых холодной водой, горячей водой, спиртобензольной смесью также можно наблюдать по данным из таблицы [19].

Разница в количестве веществ, извлекаемых холодной водой, горячей водой и спиртобензольной смесью, между древесными частицами, пропитанными водным раствором карбамида, и древесных частиц, не подвергавшихся пропитке, составляет соответственно 6,9; 8,17; 6,4 %. На основании показателей можно предположить, что это по большей части карбамид, который не вступил во время пропитки и сушки в реакцию с компонентами

древесины, и, возможно, образовавшийся биурет в небольшом количестве. Как видно из табл. 1, количество в холодной воде, горячей воде и спиртобензоле связавшихся и нерастворимых продуктов составляет соответственно 5,96; 5,4; 5,8 %, или в среднем 5,9 %.

Для определения, с какими компонентами древесных частиц реагирует карбамид, используя стандартные методики, были выделены из обработанных дре-

весных частиц лигнин и целлюлоза и проанализированы. По данным из табл. 1 видим снижение количества лигнина и целлюлозы.

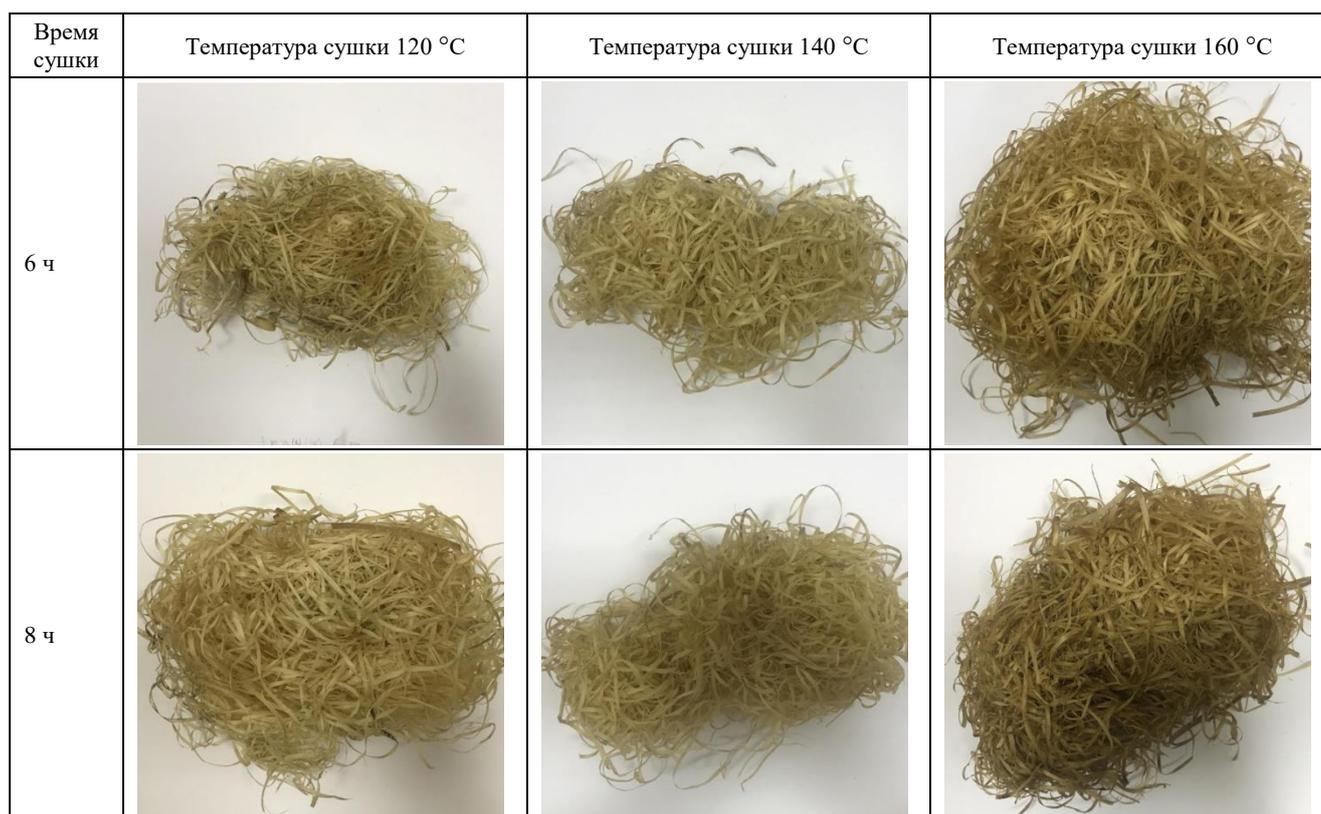
Изменения происходят и на уровне внешнего вида древесных частиц. В табл. 2 можно наблюдать влияние пропитки 30%-ным раствором карбамида и дальнейшей сушки при температуре 120–160 °С в течение 2–6 ч на внешний вид древесных частиц осины.

Таблица 1. Изменение состава древесных частиц мягколиственных пород при обработке 30%-ным раствором карбамида (% к абсолютно сухой древесине)

Показатель	Древесные частицы осины	
	Древесные частицы без обработки	Древесные частицы с обработкой водным раствором карбамида
Влага	9,85	7,95
Вещества, извлекаемые холодной водой	2,80	9,50
Вещества, извлекаемые горячей водой	2,82	11,01
Вещества, извлекаемые спиртобензольной смесью	4,90	11,50
Пентозаны до экстракции водой	24,10	24,30
Легкогидролизуемые полисахариды	15,80	14,90
Трудногидролизуемые полисахариды	42,90	38,70
Зольность	0,28	0,85
Целлюлоза по Кюршнеру	51,4	49,1
Лигнин Класона	20,0	19,4

Таблица 2. Изменение внешнего вида древесных частиц мягколиственных пород при обработке 30%-ным раствором карбамида

Время сушки	Температура сушки 120 °С	Температура сушки 140 °С	Температура сушки 160 °С
2 ч			
4 ч			



Как видно (табл. 2), после обработки карбамидом у модифицированных древесных частиц происходит изменение декоративных свойств, а именно цвета и текстуры. Если цвет становится темнее и ярче, то текстура меняется незначительно и более четко видна под микроскопом [20].

Древесные частицы, обработанные раствором карбамида, во время сушки химически уплотняются на 15–38 % за счет удаления воды и реакции модификатора с

компонентами древесины. Если в дальнейшем древесные частицы используют в композиционных материалах, в технологической цепочке которых присутствует горячее прессование, то уплотнение древесных частиц можно довести до 50–75 %.

Изучалось влияние технологических операций пропитки древесных частиц 30%-ным раствором карбамида на изменение физико-механических свойств древесных частиц (табл. 3).

Таблица 3. Изменение физико-механических свойств древесных частиц мягколиственных пород при обработке 30%-ным раствором карбамида

Свойства при влажности 12 %	Древесные частицы осины	
	Древесные частицы без обработки	Древесные частицы с обработкой водным раствором карбамида
Плотность	510	700
Влагопоглощение за 30 суток при влажности воздуха 92 % , %	19,0	14,8
Предел прочности при сжатии вдоль волокон; статическом изгибе, <i>Mna</i>	44,7	100,0
	77,4	123,5
Биостойкость: потеря массы за 45 суток, %	27	4,0
Огнестойкость: потеря массы, %	19,6	8,0

Обработка древесных частиц раствором карбамида позволяет получить более высокого качества наполнитель для композиционных материалов по сравнению с необработанными древесными частицами. Объемное разбухание модифицированных древесных частиц не превышает 38...42 %. Показатель водопоглощения обработанных древесных частиц значительно отличается от показателя водопоглощения необработанных древесных частиц. Однако осина поглощает сравнительно

небольшое количество воды — около 46 %. Древесина обладает свойством поглощения влаги из окружающей среды, тем самым пытаясь достичь равновесной влажности, которая соответствует окружающей среде. И древесные частицы — не исключение, у них такая же способность. Разбухание и распрессовка материала как раз происходят при поглощении влаги. Влагопоглощение обработанных древесных частиц по своим показателям ниже, чем у необработанных древесных частиц.

Максимальные значения составляют 14,8 %. Для необработанных древесных частиц эта величина достигает 19,0 %. Показатели предела прочности обработанных древесных частиц при сжатии и при статическом изгибе почти в два раза превышают значение необработанных древесных частиц. Следует отметить, что потеря массы показателей биостойкости и огнестойкости понижается.

Для адекватной оценки был разработан композиционный материал на основе обработанных древесных частиц. В качестве наполнителя были выбраны предварительно обработанные водным раствором карбамида древесные частицы осины, в качестве связующего — магниезольно-вяжущее вещество. Основные эксплуатационные показатели разработанного композиционного материала приведены в сравнении с фибролитовыми плитами по ГОСТ 8928–81 в табл. 4.

Таблица 4. Основные эксплуатационные показатели разработанного композиционного материала в сравнении с аналогом

Основные физико-механические показатели	Композиционный материал на основе предварительно обработанного раствором карбамида древесного наполнителя	Фибролитовые плиты
Плотность материала, $кг/м^3$	475	500
Поверхностная плотность, $кг/м^2$	7–12	7–14
Прочность на изгиб, $МПа$	4,5	1,3
Водопоглощение за 24 ч, %	40	45
Теплопроводность, $Вт/(м*К)$	0,08	0,1
Расчетный коэффициент паропроницаемости, $мг/(м*ч*Па)$	0,15	0,15
Средний коэффициент звукопоглощения, NRC	0,5–0,7	0,9

Как видно в табл. 4, основные эксплуатационные показатели превышают показатели фибролитовых плит по ГОСТ 8928–81. Значительное увеличение эксплуатационных показателей наблюдается при применении предварительной обработки, что, в свою очередь, позволяет расширить области применения разработанного материала со значительным снижением себестоимости относительно аналогичных материалов.

Проведенные испытания образцов композиционного материала из древесных частиц с предварительной модификацией обосновывают его соответствие требованиям, предъявляемым к строительным материалам, что позволяет рекомендовать его для изготовления инновационных стеновых панелей.

Выводы. По результатам исследований влияния предварительной обработки древесного наполнителя установлено, что после предварительной обработки и химический состав, и физико-механические свойства древесных частиц улучшаются по сравнению с показателями необработанных древесных частиц.

Литература

1. Лукаш А.А., Дьячков К.А. Строительные изделия из измельченной древесины // Строительные материалы. 2009. № 1. С.54-55.
2. Thomas N.L., Birchall J.D. The mechanism of retardation of setting of OPC by sugars // Br. Prica, Proc. 1984. 35. P. 305-315.
3. Taplin J.H., Discussion H.E. Vivian «Some chemical additions and admixtures in cement paste and concrete» // Proceeding of the 4th international Congress on the Chemistry of Cement VTRUS Department of Commerce Washington, DC. 1960. P. 924-925.
4. Tennis P.O., Jimmings H.M. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure cement pastes // Cem. Concr. Res. 2000. 30. P. 855-863.

По результатам исследований композиционного материала, полученного с предварительно обработанным наполнителем, было установлено, что физико-механические и эксплуатационные свойства композиционного материала соответствуют требованиям, которые предъявляются к акустическим и теплоизоляционным материалам.

При сравнении композиционного материала, полученного с предварительно обработанным наполнителем и с фибролитовыми плитами, технология производства которых соответствует ГОСТ 8928–81, разработанный материал обладает более высокими показателями эксплуатационных свойств.

Внедрение процесса предварительной обработки древесных частиц в технологию производства композиционных материалов создаст серьезную конкуренцию производству древесных наполнителей из хвойных и твердых лиственных пород, решая актуальную на сегодняшний день проблему утилизации древесины мягколиственных пород.

5. Salas J., Alvarez M., Veras J. Lightweight inulting concretes with rice husk. Intern // Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete. 1986. V. 8. № 3. P. 171-180.
6. Шевляков А.А., Панферов В.И., Шевляков С.А., Маркин А.П. Производство композиционных материалов с использованием вторичных отходов в качестве исходного сырья // Вестн. МГУЛ. Лесной вестн. 2011. № 5. С. 79-84.
7. Safin R.G., Barcik Š., Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G. A mathematical model of thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed // Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. 2016. V. 58. № 2. P. 141-148.
8. Sadrtidinov A.R., Sattarova Z.G., Prosvirmikov D.B., Tuntsev D.V. Modeling of thermal treatment of wood waste in the gasifiers // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015. P. 7414914.

9. Аминов Л.И. Совершенствование технологии производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и минеральных вяжущих: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Казань, 2011. 16 с.
10. Дубовская Л.Ю. Теплоизоляционный материал на основе древесных отходов и минерального связующего // Деревообрабатывающая пром-сть. 2005. № 3. С. 13-15.
11. Стородубцева Т.Н., Мирошников Ю.И. Актуальность применения древесных и промышленных отходов в композиционных материалах // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-1 (13-1). С. 455-458.
12. Gomes M.E., Ribeiro A.S., Malafaya P.B., Reis R.L., Cunha A.M. A new approach based on injection moulding to produce biodegradable starch-based polymeric scaffolds: morphology, mechanical and degradation behaviour // Biomaterials. 2001. V. 22. P. 883-889.
13. Malunka M.E., Luyt A.S., Krump H. Preparation and Characterization of EVA-Sisal Fiber Composites // J. Appl. Polym. Sci. 2006. V. 100. P. 1607-1617.
14. Aulin C., Gällstedt M., Lindström T. Oxygen and oil barrier properties of microfibrillated cellulose films and coatings // Cellulose 17 (3). P. 559-574.
15. Шамаев В.А. Химико-механическое модифицирование древесины. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2003. 260 с.
16. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высш. школа, 1989. 384 с.
17. Степанов В.В. Разработка теплоизоляционного материала на основе древесных отходов: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Казань, 2013. 179 с.
18. Хайруллина Э.Р. Технологическая линия переработки древесных отходов с получением конструкционного материала // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2014. № 3. Ч. 4 (8-4). С. 256-259.
19. Хайруллина Э.Р. Усовершенствование технологии получения древесных плитных материалов на основе минеральных вяжущих веществ // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы II Междунар. технической конф. (9-11 сент. 2013 г.). Кострома, 2013. С. 69-70.
20. Тунцев Д.В., Хайруллина Э.Р., Гайнуллин М.Ш. Технология переработки древесных отходов // Инновационные решения социальных, экономических и технологических проблем современного общества: сб. науч. ст. по итогам круглого стола со всерос. и междунар. участием. (15-16 июля 2021 г.). М., 2021. С. 41-43.
4. Tennis P.O., Jimmings H.M. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure cement pastes // Cem. Concr. Res. 2000. 30. P. 855-863.
5. Salas J., Alvarez M., Veras J. Lightweight inulting concretes with rice husk. Intern // Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete. 1986. V. 8. № 3. P. 171-180.
6. SHevlyakov A.A., Panferov V.I., SHevlyakov S.A., Markin A.P. Production of composite materials using secondary waste as a raw material // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2011. № 5. P. 79-84.
7. Safin R.G., Barcik Š., Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G. A mathematical model of thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed // Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. 2016. V. 58. № 2. P. 141-148.
8. Sadrtidinov A.R., Sattarova Z.G., Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V. Modeling of thermal treatment of wood waste in the gasifiers // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015. P. 7414914.
9. Aminov L.I. Improvement of the production technology of composite materials based on wood fillers and mineral binders: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.05. Kazan', 2011. 16 p.
10. Dubovskaya L.YU. Thermal insulation material based on wood waste and mineral binder // Derevoobrabativaushaya promishlennost' (Woodworking industry). 2005. № 3. P. 13-15.
11. Storodubceva T.N., Miroshnikov YU.I. The relevance of the use of wood and industrial waste in composite materials // Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice". 2015. V. 3. № 2-1 (13-1). P. 455-458.
12. Gomes M.E., Ribeiro A.S., Malafaya P.B., Reis R.L., Cunha A.M. A new approach based on injection moulding to produce biodegradable starch-based polymeric scaffolds: morphology, mechanical and degradation behaviour // Biomaterials. 2001. V. 22. P. 883-889.
13. Malunka M.E., Luyt A.S., Krump H. Preparation and Characterization of EVA-Sisal Fiber Composites // J. Appl. Polym. Sci. 2006. V. 100. P. 1607-1617.
14. Aulin C., Gällstedt M., Lindström T. Oxygen and oil barrier properties of microfibrillated cellulose films and coatings // Cellulose 17 (3). P. 559-574.
15. SHamaev V.A. Chemical and mechanical modification of wood. Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. akad., 2003. 260 p.
16. Gorlov YU.P. Technology of thermal insulation and acoustic materials and products. M.: Vyssh. shkola, 1989. 384 p.
17. Stepanov V.V. Development of thermal insulation material based on wood waste: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.05. Kazan', 2013. 179 p.
18. Hajrullina E.R. Technological line for processing wood waste to obtain structural material // Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice". 2014. № 3. Ч. 4 (8-4). P. 256-259.
19. Hajrullina E.R. Improvement of the technology for obtaining wood slab materials based on mineral binders // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa: materialy II Mezhdunar. tekhnicheskoy konf. (9-11 sент. 2013 g.). Kostroma, 2013. P. 69-70.
20. Tuncev D.V., Hajrullina E.R., Gajnullin M.SH. Technology of wood waste processing // Innovacionnye resheniya social'nyh, ekonomicheskikh i tekhnologicheskikh problem sovremennogo obshchestva: sb. nauch. st. po itogam kruglogo stola so vseros. i mezhdunar. uchastiem. (15-16 iyulya 2021 g.). M., 2021. P. 41-43.

References

1. Lukash A.A., D'yachkov K.A. Construction products made of crushed wood // Stroitel'nye Materialy (Construction Materials). 2009. № 1. P. 54-55.
2. Thomas N.L., Birchall J.D. The mechanism of retardation of setting of OPC by sugars // Br. Prica, Proc. 1984. 35. P. 305-315.
3. Taplin J.H., Discussion H.E. Vivian «Some chemical additions and admixtures in cement paste and concrete» // Proceeding of the 4th international Congress on the Chemistry of Cement VTRUS Department of Commerce Washington, DC. 1960. P. 924-925.