

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ИЗ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.В. ПИТУХИН, *проф., ПетрГУ, д-р техн. наук* ⁽¹⁾,
 С.Б. ВАСИЛЬЕВ, *проф., ПетрГУ, д-р техн. наук* ⁽¹⁾,
 Г.Н. КОЛЕСНИКОВ, *проф., ПетрГУ, д-р техн. наук* ⁽¹⁾,
 Н.Г. ПАНОВ, *ст. преподаватель., ПетрГУ, канд. техн. наук* ⁽¹⁾,
 В.Е. ЦВЕТКОВ, *проф., МГУЛ, д-р техн. наук* ⁽²⁾,
 В.Г. САНАЕВ, *проф., МГУЛ, д-р техн. наук* ⁽²⁾

pitukhin@psu.karelia.ru, servas@psu.karelia.ru, kolesnikovgn@yandex.ru, supernikola@yandex.ru, caf-tdpp@mgul.ac.ru, rector@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Петрозаводский государственный университет, 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

⁽²⁾ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса» 141005, г. Мытищи, ул. 1-ая Институтская, 1

В данной статье представлена и обоснована проблематика применения низкосортной древесины осины при производстве древесностружечных плит, показаны методы и результаты экспериментального исследования влияния наноразмерного шунгитового наполнителя, добавляемого в полимерный клей для изготовления однослойных древесностружечных плит. Выявлены полиномиальные закономерности между физико-механическими, экологическими свойствами плит и концентрацией наноразмерного шунгитового наполнителя. Установлено, что 10 % добавка наноразмерного шунгитового наполнителя увеличивает прочность плиты на изгиб на 41 % и выражается зависимостью $y = -0,084x^2 + 2,048x + 23,6$, прочность на разрыв перпендикулярно пласти плиты – на 104 % и может быть описана уравнением $y = -0,0039x^2 + 0,0877x + 0,4843$. Также было установлено, что 10 % добавка наноразмерного шунгитового наполнителя снижает разбухание и водопоглощение плит на 32 и 50 % и выражается $y = -0,0073x^3 + 0,36x^2 - 5,3167x + 42,3$ и $y = 0,0269x^2 - 0,4971x + 8,4629$ соответственно. Эмиссия свободного формальдегида снизилась на 21 % при тех же условиях, а сам процесс проходит линейно $y = -0,236x + 15,34$.

Ключевые слова: наноразмерный шунгитовый наполнитель, полимерный клей, древесностружечная плита.

1. Постановка проблемы

Прочность древесностружечных плит (далее – ДСтП) зависит от количества и типа используемого связующего, гранулометрического состава древесных частиц (далее – стружки), их влажности, породы и качества древесины, примесей и других факторов. В современных условиях наблюдается устойчивая тенденция снижения качества древесины как источника сырья для производства ДСтП. В этой связи актуализируется многоплановая проблема совершенствования технологии изготовления плит с применением измельченной низкокачественной древесины. Направления решения данной проблемы ориентированы на развитие технологий производства ДСтП с применением более совершенных клеевых композиций [1].

Одно из таких направлений впервые было предложено, разработано и апробиро-

вано в совместных работах ученых Петрозаводского государственного университета и Московского государственного университета леса [2,3]. Ключевая особенность данного исследования заключается в установлении возможности повышения прочности ДСтП и уменьшения эмиссии формальдегида за счет использования нанодисперсного порошка шунгита (далее – НПШ) в качестве модификатора клеевой композиции [4,5].

В связи с увеличением производственных мощностей по производству плитных материалов в последние годы обнаруживается тенденция все более широкого использования низкокачественного сырья. В частности все большее применение в производстве ДСтП находит низкосортная древесина лиственных пород. При этом требования к показателям готовой продукции не снижаются.

В республике Карелия в настоящее время находятся большие запасы осины. Ис-

Фракционный состав стружки в массовых долях

Fractional composition of chips in mass fractions

Назначение стружки	Массовая доля остатков, %, на ситах с диаметрами отверстий, мм						
	5,00	3,15	2,00	1,00	0,50	0,20	поддон
для однослойных плит	0,0	0,0	0,3	12,5	44,4	32,6	10,2
для внутреннего слоя трехслойных плит	24,9	17,3	29,8	21,9	4,1	1,2	0,8
для наружного слоя трехслойных плит	0,0	0,0	0,2	12,5	44,4	32,6	10,2

Физико-химические показатели смолы

Physical and chemical indicators of resin

Наименование показателя	КФ-НФП	КФ-МТ-15
Массовая доля сухого остатка, %	68	67
Время отверждения (желатинизации) при 100 С (с 1 % хлористым аммонием), с	68	49
Вязкость условная по ВЗ-246 (сопло 4 мм), с	80	47
Концентрация водородных ионов, pH	8,1	7,8
Показатель преломления	1,471	1,47
Предельная смешиваемость смолы с водой, при которой наблюдается коагуляция по объему	1:4,5	1:3,5

пользуется это сырье редко. Причинами являются низкая прочность древесины и быстрое снижение качества при хранении. В этих условиях наиболее приемлемым способом вовлечения осины в производство является использование в качестве сырья для изготовления ДСтП. Кроме того, в Медвежьегорском районе Республики Карелии находятся большие запасы природного минерала шунгита, который на данный момент используется не вполне эффективно [5].

На основании изложенного было решено провести исследование влияния добавки НПС в связующее на физико-механические и экологические свойства ДСтП.

2. Материалы и методы

Для изготовления плит в лабораторных условиях применялась стружка из смеси древесины хвойных пород (40 %) и осины (60 %). Влажность стружки составляла $W = 6$ %. Фракционный состав стружки определялся с помощью просеивающей машины с набором сит 5,0 мм; 3,15 мм; 2,0 мм; 1,0 мм; 0,5 мм; 0,2 мм. Фракционный состав стружки представлен в таблице 1 [4,5].

Расчет потребного количества стружки для производства древесностружечных плит велся по методике МГУЛ [10]. По результатам расчета при массе однослойных плит, изготавливавшихся в лабораторных условиях, 1,1 кг масса стружки составляла 0,98 кг. При массе трехслойной плиты 1,1 кг масса стружки при текущей влажности составила для внутреннего и внешнего слоев соответственно 0,52 кг и 0,31 кг.

Для изготовления плит использовались два вида связующего. Связующее № 1 готовили на основе водного раствора карбамидоформальдегидной смолы (далее по тексту КФС) марки КФ-НФП концентрацией 66 % (физико-химические показатели приведены в таблице 2) с добавлением NH_4Cl в виде водного раствора концентрацией 20 %. Связующее № 2 готовили на основе водного раствора КФС марки КФ-МТ-15 концентрацией 67,3 % (физико-химические показатели приведены в таблице 2) с добавлением NH_4Cl в виде водного раствора концентрацией 20 %.

Расчет расхода связующего велся по методике МГУЛ [10] для лабораторных плит массой 1,1 кг. По результатам расчетов для

изготовления связующего № 1 брали смолы в виде раствора 0,19 кг и 1,9 г отвердителя. Для связующего № 2 брали смолы в виде раствора 0,13 кг и 1,3 г отвердителя.

Для модифицирования связующего в него вводили НПШ с размером частиц 50–100 нм, влажностью 0,7 % и удельной поверхностью 120 м²/г [9]. Химический состав наполнителя в массовых долях по данным лаборатории института геологии КарНЦ РАН: С – 28,0...31,0 %; SiO₂ – 56,0...60,0 %; Al₂O₃ – 4,3...5,5 %; Fe₂O₃ – 2,0...6,0 %; K₂O – 1,3...1,5 %; MgO – 0,9...1,4 %; TiO₂ – менее 0,45 %; Na₂O – менее 0,40 %; CaO – около 0,1 %. В ходе исследования в каждое из связующих добавлялось 5, 10, 15, и 20 % от массы раствора КФС [9].

Для оценки активности наноразмерного наполнителя в связующем определили время желатинизации смолы и вязкость при изменении концентрации НПШ по ГОСТ 14231.

Расчетное количество стружки загружали в лабораторный смеситель. При включенной мешалке в полость смесителя тонкой струей подавалось приготовленное связующее. После загрузки всех компонентов перемешивание композиции происходило в течение 12 мин. Объем камеры смешивания 0,72 м³, частота вращения ротора 50 мин⁻¹.

Формирование ковра проводилось вручную в лабораторной форме размерами 400×400×150 мм с последующей холодной подпрессовкой под давлением 10 кПа. Полученный ковер помещали в однопролетный гидравлический пресс горячего прессования. Плиты пресса, разогретые до 185°С, смыкали, и поднимали удельное давление до 2,5 МПа. Время выдержки при заданном давлении составляло 0,35 мин/мм. Расчетная величина цикла прессования составила 6 мин [5].

После извлечения готовой плиты из пресса она подвергалась кондиционированию в течение 24 часов, а затем ее раскраивали на образцы. Полученные образцы испытывались на физико-механические и токсичные свойства по стандартным методикам: прочность при статическом изгибе, прочность при растяжении и водостойкость по ГОСТ 10635-88;

содержание свободного формальдегида – по ГОСТ 27678-88.

3. Результаты и их обсуждение

3.1. Исследование технологических свойств связующих

Результаты исследования влияния содержания НПШ на технологические характеристики связующего (табл. 3) показывают, что при увеличении массовой доли НПШ от 0 до 10 % происходит снижение времени желатинизации. Для связующего № 1 снижение этого показателя происходит на 5,5 %, в то время как для клея № 2 – на 6,8 %. В диапазоне от 10 до 20 % изменение времени желатинизации практически прекращается.

Изменения значения вязкости при увеличении массовой доли НПШ происходит для каждого связующего по-своему. Вязкость связующего № 1 сначала снижается на 9,0 % при увеличении доли НПШ от 0 до 10 %. Дальнейшее увеличение содержания добавки до 20 % приводит практически к восстановлению исходного значения вязкости. Для клея № 2 этот процесс носит иной характер. Увеличение доли НПШ от 0 до 5 % снижает значение величины вязкости на 3,7 %, а в дальнейшем вырастает на 18,3 % по сравнению с исходным значением при добавке в связующее 20 % НПШ.

Исследование показало, что при всех значениях добавки клеи сохраняют технологические параметры в пределах допустимых значений. Это позволяет использовать их без изменения технологий операций осмоления стружки, формирования ковра и прессования.

Исследование технологических свойств связующих показало, что снижение времени желатинизации клеев на базе карбамидоформальдегидных смол КФ-МТ-15 и КФ-НФП наблюдается при введении 10 % НПШ. Кроме того, снижение вязкости связующего на базе карбамидоформальдегидной смолы КФ-МТ-15 наблюдается при введении 5 % НПШ, связующего на базе карбамидоформальдегидной смолы КФ-НФП – при добавлении 10 % НПШ. Исследования показали, что добавка НПШ в полимерные клеи

Технологические показатели связующих в зависимости от концентрации НППШ
Technological parameters of binding in a concentration dependent on OUR

Параметр	Связующее	Содержание НППШ, %, от массы смолы				
		0	5	10	15	20
Время желатинизации, с	1	73,0	71,5	69,0	69,5	69,0
	2	44,2	42,9	41,2	42,5	42,0
Вязкость, с	1	43,0	42,5	39,0	41,0	44,0
	2	46,5	44,8	48,0	52,2	55,0

Влияние содержания шунгита в связующем на содержание свободного формальдегида
Influence of shungit content in the binder on the content of free formaldehyde

Содержание НППШ, %, от массы смолы	0	5	10	15	20
Содержание свободного формальдегида	15,6	13,7	12,9	12,3	10,4

оказывает влияние на их технологические свойства в разной степени, в зависимости от марки используемой смолы.

3.2. Исследование однослойных плит

Результаты испытаний однослойных ДСтП, модифицированных НППШ, на физико-механические свойства показывают, что при введении НППШ в однослойные ДСтП наблюдается значительный рост показателей прочности. По сравнению с контролем прочность при статическом изгибе увеличилась на 41 % при концентрации НППШ в 10 масс. %, а зависимость данной прочности от концентрации НППШ выражается полиномом второго порядка $y = -0,084x^2 + 2,048x + 23,6$ [5]. Прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты выросла на 104 % при той же концентрации НППШ, а полином имеет вид $y = -0,0039x^2 + 0,0877x + 0,4843$. Высокие показатели физико-механических свойств возможно интерпретировать способностью НППШ образовывать трехмерную нанокуглеродную армирующую сетку в структуре ДСтП, распространяющуюся по всему объему материала, приводящую к формированию более прочной структуры [9, 11]. При одинаковой концентрации НППШ 10 масс. % имеем максимальные значения пределов прочности на растяжение и изгиб, что соответствует максимальной прочности образующейся наноразмерной сетки.

Зависимости показателей водостойкости плит от концентрации НППШ описываются

полиномами третьего и второго порядка для разбухания и поглощения соответственно, а именно $y = -0,0073x^3 + 0,36x^2 - 5,3167x + 42,3$ и $y = 0,0269x^2 - 0,4971x + 8,4629$. При введении НППШ в связующее ДСтП происходит значительное уменьшение показателей разбухания и водопоглощения плит. Это показывает повышение водостойкости данного продукта [7,8]. Такие показатели можно объяснить высокой прочностью и низкой проницаемостью по воде пленки смола–нанокуглерод, концентрация которой увеличивается на поверхности плиты по сравнению с объемом при прессовании [9,11]. Исследования показали, что максимальным показателям водостойкости соответствуют составы с концентрацией НППШ 10 масс. %.

Исследование влияния концентрации НППШ на содержания свободного формальдегида в ДСтП показало, что при введении шунгита в карбамидоформальдегидную смолу наблюдается существенное снижение содержания свободного формальдегида (табл. 4). Данный эффект растет с увеличением концентрации и, видимо, связан с химическим взаимодействием химических веществ, входящих в состав шунгита с формальдегидом. Процесс может быть описан линейно $y = -0,236x + 15,34$.

3.3. Исследование трехслойных плит

В связи с гетерогенной структурой и неоднородностью плотности низкосор-

**Физико-механические показатели и водостойкость плит на связующем №1,
приведенные к плотности образцов 680 кг/м³**
Physical and mechanical properties and water resistance to the binder plates №1,
against the density of the samples of 680 kg / m³

№ п/п	Массовая доля НППШ, %	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{\perp}$, МПа	t_w , %	Δ_w , %
1	0	18,6	0,17	51,6	139
2	10	22,0	0,19	52,7	111

**Физико-механические показатели и водостойкость плит на связующем № 2,
приведенные к плотности образцов 680 кг/м³**
Physical and mechanical properties and water resistance of the plates on the binder number 2,
against the density of the samples contained 680 kg / m³

№ п/п	Массовая доля НППШ, %.	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{\perp}$, МПа	t_w , %	Δ_w , %
1	0	14,4	0,21	27,5	43,3
2	10	18,1	0,29	23,6	38,7

тной древесины осины, а впоследствии и трехслойных ДСтП, полученные результаты сравнительных показателей водостойкости и прочности плит были пересчитаны к одной плотности 680 кг/м³ по известным методикам [4, 5, 6, 7].

Значение физико-механических показателей опытных ДСтП, полученных на основе связующего № 1, представлены в табл. 5. Результаты исследования показывают, что при введении НППШ в клеевой раствор на базе связующего № 1, наблюдается снижение водопоглощения ДСтП на 20 %. Это связано с конденсированием водной дисперсии шунгитового нанок углерода, сопровождающимся агрегацией наночастиц и образованием, в процессе полимеризации, нанок углеродной сетки в связующем ДСтП на поверхности плиты. Углеродные фрагменты высвобождаются в водной дисперсии, формируя углеродный НППШ, и определяют устойчивость наночастиц в воде и их взаимодействие с водой [9, 11]. Также из результатов таблицы видно, что образованная пленка НППШ улучшает физико-механические свойства ДСтП. По сравнению с контролем прочность при статическом изгибе увеличилась на 18 %, а прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты была увеличена на 12 %. Это увеличение свя-

зано с упрочнением химических связей КФ-НФП с пленкой НППШ, благодаря чему поверхность становится более прочной.

Для древесностружечных плит, полученных на основе связующего № 2, были получены результаты, представленные в табл. 6.

Из таблицы видно, что при введении НППШ в связующее № 2 наблюдается снижение водопоглощения ДСтП на 10 %, а разбухание в воде по толщине снижается на 14 %. Кроме того, образованная пленка НППШ улучшает физико-механические свойства ДСтП. По сравнению с контролем прочность при статическом изгибе увеличилась на 20 %, а прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты была увеличена на 22 %.

Выводы

1. Заметное снижение времени желатинизации карбамидоформальдегидной смолы КФ-НФП наблюдается при введении 10 масс. % НППШ.

2. Заметное снижение времени вязкости карбамидоформальдегидной смолы КФ-НФП наблюдается при введении 10 масс. % НППШ.

3. Максимальные значения предела прочности при статическом изгибе и растя-

жении перпендикулярно пласти наблюдаются для образцов плиты, изготовленных из низких сортов древесины, при концентрации НПШ 10 масс. %. При этом показатели возрастают на 41 % и 104 % при изгибе и растяжении соответственно.

4. Введение НПШ приводит к повышению водостойкости ДСтП, изготовленных из низких сортов древесины, при концентрации близкой к 10 масс. % НПШ разбухание по толщине за 24 часа уменьшается на 32 %, а водопоглощение снижается в 1,5 раза.

5. Наблюдается снижение содержания свободного формальдегида в готовой продукции при содержании 10 % НПШ на 21 %.

6. Область оптимума прочностных и технологических свойств ДСтП находится в пределах 10 мас. % НПШ.

7. Испытания показали, что марка смолы влияет на прочностные свойства композиций, модифицированных НПШ.

Библиографический список

1. Варанкина, Г.С. Формирование низкотоксичных клеевых древесных материалов / А.Н. Чубинский, Г.С. Варанкина. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 148 с.
2. Панов, Н.Г. Повышение водостойкости трехслойных древесностружечных плит на основе карбамидоформальдегидной смолы при введении наноразмерного шунгитового наполнителя в связующее / Н.Г. Панов, С.С. Рожков, А.В. Питухин // Ученые записки. – Петрозаводск. – 2011. – № 8(121). – С. 85–88.
3. Панов, Н.Г. Древесностружечные плиты на основе карбамидоформальдегидной смолы, модифицированной наноразмерным шунгитом / Н.Г. Панов, А.В. Питухин, С.С. Рожков и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 2(85). – С. 135–139.
4. Питухин, А.В. Влияние добавки нанопорошка шунгита в клеевой раствор для изготовления трехслойных

- древесностружечных плит на их физико-механические свойства / А.В. Питухин, Н.Г. Панов, Г.Н. Колесников и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №4. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/104-6886>.
5. Панов, Н.Г. Применение низкосортной осины для производства древесностружечных плит с использованием нанопорошка шунгита: автореф. дис.... канд. тех. наук (21.01.12) / Панов Николай Геннадьевич; ПетрГУ. – Петрозаводск, 2012. – 21 с.
6. Питухин, А.В. Модель разрушения древесностружечных плит при растяжении перпендикулярно пласти / А.В. Питухин, С.Б. Васильев, Г.Н. Колесников, и др. // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – № 6(135). – С. 68–72.
7. Панов, Н.Г. Повышение водостойкости и физико-механических свойств древесностружечных плит из низких сортов древесины на основе карбамидоформальдегидной смолы при введении наноразмерного наполнителя в связующее.: тез. докл. 64 конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Науки о земле: задачи молодых» / Н.Г. Панов, С.С. Рожков. – Петрозаводск.: КарНЦ РАН, 2012. – С. 47–48.
8. Панов, Н.Г. Повышение водостойкости и физико-механических свойств древесностружечных плит из низких сортов древесины на основе карбамидоформальдегидной смолы при введении наноразмерного шунгитового наполнителя в связующее: тез. докл. Материалы третьей республиканской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, докторантов / Н.Г. Панов. – Петрозаводск.: ПетрГУ, 2012. – С. 29–30.
9. Рожкова, Н.Н. Влияние модифицирования шунгитового наполнителя с помощью поверхностно-активных веществ и его влияние на физико-механические и проводящие свойства полимерных композиционных материалов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Н.Н. Рожкова. – СПб, 1992. – 20 с.
10. Тришин, С.П. Технология древесных плит: учебное пособие 2-е изд. / С.П. Тришин. – М.: МГУЛ, 2005. – 188 с.
11. Stefan Veigel, Jörn Rathke, Martin Weigl, Wolfgang Gindl-Altmutter. Particle Board and Oriented Strand Board Prepared with Nanocellulose-Reinforced Adhesive // Journal of Nanomaterials. Vol. 2012. Available at: <http://www.hindawi.com/journals/jnm/2012/158503/>

USING A MODIFIED ADHESIVE COMPOSITION FOR WOOD-BASED PANELS MANUFACTURED FROM LOW-GRADE WOOD

Pitukhin A.V., Prof. PetrSU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Vasilyev S.B.**, Prof. PetrSU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Kolesnikov G.N.**, Prof. PetrSU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Panov N.G.**, PetrSU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; **Tsvetkov V.E.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽²⁾; **Sanaev V.G.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽²⁾

pitukhin@psu.karelia.ru, servas@psu.karelia.ru, kolesnikovgn@yandex.ru, supernikola@yandex.ru, caf-tdpp@mgul.ac.ru, rector@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Petrozavodsk State University, 33, Lenin Str., 185910, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

⁽²⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

This paper deals with the problems of using low-grade aspen wood in the production of wood-based panels; it shows the methods and the results of an experimental study concerning the effect of schungite nano-sized filler added to the polymer adhesive used in the single-ply chipboard manufacture. The polynomial regularities between physical, mechanical and environmental properties of the above boards and the concentration of schungite nano-sized filler have been identified. It has been found that 10 % of the additive schungite nanosized filler increases the bending strength of wood chipboards by 41 %

which is described by the following equation $y = -0,084x^2 + 2,048x + 23,6$; the tensile strength perpendicular to a board rises by 104 % and this may be described by the following equation $y = -0,0039x^2 + 0,0877x + 0,4843$. It was also found that 10 % of the additive shungite nano-sized filler reduces swelling and water absorption of boards by 32% and 50 % which is expressed in the following equation $y = -0,0073x^3 + 0,36x^2 - 5,3167x + 42,3$ and $y = 0,0269x^2 - 0,4971x + 8,4629$, respectively. The emission of free formaldehyde decreases by 21 % under the same conditions, and the process is linearly $y = -0,236x + 15,34$.

Keywords: nanosized shungite filler, polymer glue, wood chipboard

Reference

1. Varankina G.S., Chubinskiy A.N. *Formirovanie nizkotoksichnykh kleennykh drevesnykh materialov* [Formation of low toxicity laminated wood materials]. SPb.: SPbGLTU, 2014. 148 p.
2. Panov N.G., Rozhkov S.S., Pitukhin A.V. *Povyshenie vodostoykosti trekhsloynnykh drevesno-struzhechnykh plit na osnove karbamidoformal'degidnoy smoly pri vvedenii nanorazmernogo shungitovogo napolnitelya v svyazuyushchee* [Increase the water resistance of wood-chip boards based on urea-formaldehyde resin with the introduction of shungite nano-sized filler in glue]. *Uchenye zapiski PetrGU*. 2011. № 8 (121). pp. 85-88.
3. Panov N.G., Pitukhin A.V., Rozhkov S.S., Tsvetkov V.E., Sanaev V.G., Firyulina O.V. *Drevesno-struzhechnye plity na osnove karbamidoformal'degidnoy smoly, modifitsirovannoy nanorazmernym shungitom* [Chipboard based on urea-formaldehyde resin modified by nano-sized shungite]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*. 2012. № 2(85). pp. 135-139.
4. Pitukhin A.V., Panov N.G., Kolesnikov G.N., Vasil'ev S.B. *Vliyanie dobavki nanoporoshka shungita v kleevoy rastvor dlya izgotovleniya trekhsloynnykh drevesno-struzhechnykh plit na ikh fiziko-mekhanicheskie svoystva* [Effect of additives nano-sized shungite in adhesive solution for manufacturing woodchip board on their physical and mechanical properties]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. №4. <http://www.science-education.ru/104-6886>.
5. Panov N.G. *Primenenie nizkosortnoy osiny dlya proizvodstva drevesno-struzhechnykh plit s ispol'zovaniem nanoporoshka shungita* [The use of low-grade aspen for the production of wood-based panels using nano-sized shungite]: dis. kand. tekhn. nauk (21.01.12). Petrozavodsk: PetrGU, 2012. 21 p.
6. Pitukhin, A.V., Vasil'ev S.B., Kolesnikov G.N., Panov N.G., Koparev V.S. *Model' razrusheniya drevesnostruzhechnykh plit pri rastyazhenii perpendikulyarno plasti* [Model of fracture chipboard tensile perpendicular plasti]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 013. № 6 (135). pp. 68-72.
7. Panov N.G., Rozhkov S.S. *Povyshenie vodostoykosti i fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesno-struzhechnykh plit iz nizkikh sortov drevesiny na osnove karbamidoformal'degidnoy smoly pri vvedenii nanorazmernogo napolnitelya v svyazuyushchee* [Increase water resistance and physical and mechanical properties of wood-based panels of lower grades of wood-based urea-formaldehyde resin with the introduction of nano-sized filler in the binder]. *Tez. dokl. 64 konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Nauki o zemle: zadachi molodykh»*. Petrozavodsk.: KarNTs RAN, 2012. pp. 47-48.
8. Panov N.G. *Povyshenie vodostoykosti i fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesno-struzhechnykh plit iz nizkikh sortov drevesiny na osnove karbamidoformal'degidnoy smoly pri vvedenii nanorazmernogo shungitovogo napolnitelya v svyazuyushchee* [Increase water resistance and physical-mechanical properties of wood-based panels of lower grades of wood-based urea-formaldehyde resin with the introduction of shungite nano-sized filler in the binder]. *Tez. dokl. Materialy tret'ey respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov, doktorantov*. Petrozavodsk.: PetrGU, 2012. pp. 29-30.
9. Rozhkova N.N. *Vliyanie modifitsirovaniya shungitovogo napolnitelya s pomoshch'yu poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i ego vliyanie na fiziko-mekhanicheskie i provodyashchie svoystva polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Effect of modifying shungite filler using surfactants and its influence on physical, mechanical and conductive properties of polymeric composite materials]. *Diss. kand. tekhn. nauk*. S.-Peterburg, 1992, 20 p.
10. Trishin S.P. *Tekhnologiya drevesnykh plit* [Technology of wood boards]. Moscow: MGUL, 2005. 188 p.
11. Stefan Veigel, Jörn Rathke, Martin Weigl, Wolfgang Gindl-Altmutter. Particle Board and Oriented Strand Board Prepared with Nanocellulose-Reinforced Adhesive. *Journal of Nanomaterials*. Vol. 2012. Available at: <http://www.hindawi.com/journals/jnm/2012/158503/>