

УДК 665.3.012.1

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОПИТОЧНЫХ СИСТЕМ С НАНОЧАСТИЦАМИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

О.П. ПРОШИНА, доц., МГУЛ, канд. хим. наук⁽¹⁾,
Х.А. ФАХРЕТДИНОВ, доц., МГУЛ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
А.Н. ИВАНКИН, проф., МГУЛ, д-р. хим. наук⁽¹⁾,
Е.А. КАПУСТИНА, магистр МГУЛ⁽¹⁾

aivankin@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Настоящая работа является продолжением исследований влияния способов пропитки различными композициями кремнийорганических соединений с органическими модификаторами на свойства древесины мягких лиственных пород. С этой целью были изучены основные физико-механические свойства древесины березы, пропитанной растворами карбамида в сравнении с растворами кремнийорганических соединений в присутствии и отсутствии металлических наночастиц. Определены теоретические и практические подходы к вопросу гидрофобизации и модификации физико-механических свойств, в частности прочности при статическом изгибе, ударной вязкости, статической твердости, а также равновесного набухания в различных пропитывающих системах и водопоглощения модифицированной древесины березы. Использовали импрегнирующие растворы, в качестве которых применяли 10 % водный раствор мочевины, 10 % водный раствор мочевины с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц, 5 % раствор гамма-аминопропилтриэтоксисилана марки Z6011 в воде, 5 % раствор Z6011 с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц. Показано, что обработка древесины березы 5 % раствором карбамида позволяет достигать максимальных значений нагрузки образцов 2400–3600 Н, 2300–3500 Н для системы с гамма-аминопропилтриэтоксисилоном против 1800–3300 Н для необработанной древесины. Величина максимальной нагрузки при статическом изгибе для пропиточных систем практически не уступала образцам без пропитки и тепловой обработки. Значения работы разрушения испытанных изделий составляли 12–46 Дж. Определены средние значения статической твердости поверхности древесины, которые составили 28–57 Н/мм². В результате проведенных испытаний выраженного влияния использованных наночастиц серебра на прочностные характеристики образцов древесины выявлено не было. Однако использование наночастиц позволило визуально контролировать процесс пропитки.

Ключевые слова: органосилоксаны, древесина березы, наночастицы Ag, пропитка.

Технология импрегнирования древесины известна достаточно давно [1–4]. Известно, что биodeградация древесины происходит за счет действия вредных насекомых и микроорганизмов. Она разрушается под действием влаги, кислорода воздуха и ультрафиолетового излучения. Древесные материалы для долговременной эксплуатации подвергают защитной обработке антисептическими составами [5–7]. Другой важнейшей причиной необходимости пропитки является горючесть древесины, что требует использования в пропиточных составах специальных антипиренов [8]. Древесина является хорошим конструкционным, строительным и декоративным материалом, и обычно ее рассматривают как «экологичный», то есть благоприятный во всех отношениях для человека материал [9, 10]. Однако существенным конструкционным недостатком древесины является повышенное влагосодержание – способность поглощать влагу из

окружающей среды [11]. Абсорбция воды в количестве 10–70 % от массы изделия может приводить к изменениям геометрии материала до 30–40 %, что существенно ограничивает возможности древесины как конструкционного материала [2, 12]. Все названные причины требуют использования специальной пропитки.

Основными техническими приемами модифицирования древесины являются пропитка, прессование и термическая обработка древесины [1]. В нашей стране сложились четыре основных направления модифицирования древесины, отраженные в государственном стандарте – термохимическое, термомеханическое, химико-механическое и радиационно-химическое [6].

Наиболее хорошо изученными и широко применяемыми способами улучшения свойств древесины являются ее антисептирование и антипирирование. Сравнительный анализ способов модифицирования древеси-

ны по степени реализации задач модифицирования представлен в обзорах [2, 3, 6, 9].

Настоящая работа является продолжением исследований влияния пропитки кремнийорганическими соединениями (КОС) на свойства древесины мягких лиственных пород [12–16].

Целью работы является исследование основных физико-механических свойств древесины березы, пропитанной растворами карбамида и растворами КОС в присутствии и отсутствии металлических наночастиц.

Испытания образцов древесины березы на определение прочности при статическом изгибе проводились в соответствии с ГОСТ 16483 [17].

Использовали образцы в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20х20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Для проведения испытаний использовалась машина испытательная ГОСТ 28840 [18], обеспечивающая заданную скорость нагружения образца или перемещения нагружающей головки. Нагрузка изменялась с погрешностью не более 1 %. В работе применялось приспособление, обеспечивающее изгиб образца приложением нагрузки к его боковой поверхности в середине расстояния между центрами опор, радиус закругления опор и нагружающего ножа составлял 30 мм. Использовался штангенциркуль ГОСТ 166 [19] с погрешностью измерения не более 0,1 мм.

Испытания на определение ударной вязкости проводились в соответствии с ГОСТ 20571 [22]. Для определения ударной вязкости использовался копер маятниковый типа БКМ-5-2 с запасами энергии маятника копра 2,5 и 50 Дж, расстояние между опорами составляло 100 мм. Ударную вязкость определяли на образцах размерами 20 × 20 × 300 мм.

Испытания древесины на статическую твердость проводили на испытательной машине (ГОСТ 28840) с наибольшей предельной нагрузкой 50 кН [23]. Приспособление, состоящее из корпуса, пуансона с наконечником в виде полусферы радиусом 5,64 мм и индикатором с погрешностью измерения не более 0,01 мм. Статическую твердость

определяли на поверхностях тангенциального, радиального и поперечного разрезов древесины. Пуансон вдавливали на глубину 5,64 мм, а в случае раскалывания образца – на 2,82 мм. Допускается вдавливать пуансон с постоянной скоростью от 3 до 6 мм/мин.

Пропитка образцов древесины березы растворами мочевины и растворами кремнийорганических соединений подробно описана в работе [13].

В дальнейшем пропитку образцов древесины осуществляли двумя способами. Для равновесного набухания образцы древесины, изделия в виде брусков 5 × 5 × 5 см, помещали в импрегнирующие растворы, в качестве которых применяли: 1–10 % водный раствор мочевины, 2–10 % водный раствор мочевины с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц, 3–5 % раствор гамма-аминопропилтриэтоксисилана (марки Z6011) в воде, 4–5 % раствор Z6011 с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц. Образцы выдерживали в указанных растворах в течение 7 сут. при комнатной температуре для равновесной пропитки или использовали для вакуумного импрегнирования.

Суспензию Ag-наночастиц получали аналогично [20]. Для этого был выбран метод восстановления азотнокислой соли в 50 %-ной водно-спиртовой среде под воздействием формальдегида. Реакцию проводили смешением 1:1 0,06 М растворов нитрата Ag с 25 % раствором аммиака, с последующим прибавлением равных объемов этанола и 1 % формальдегида и нагреванием при 30 °С в течение суток. Получались модельные 0,5 % нанозоли со средним диаметром частиц по Рэлею около 50 нм [21].

Образцы древесины с влажностью 22 % подвергали вакуумированию при 70 °С в течение 48 ч при 35 мВаг, затем камеру автоклава заполняли импрегнирующим раствором и выдерживали образцы под давлением 10 атм в течение 24 ч, затем раствор удаляли и образцы подвергали повторному вакуумированию в указанных условиях в течение 3 ч.

Образцы древесины березы пропитывались водными растворами. Из них готови-

Т а б л и ц а 1

**Максимальные значения нагрузки образцов модифицированной
древесины и контрольных образцов**
The maximum load of wood samples modified and control samples

CO(NH ₂) ₂ 10 %		Без пропитки при 110°C		Z-6011 5 %		Без пропитки и тепловой обр.	
№ обр.	max. нагрузка, Н	№ обр.	max. нагрузка, Н	№ обр.	max. нагрузка, Н	№ обр.	max. нагрузка, Н
1	2450	1	2500	1	3460	1	2660
2	2400	2	1850	2	3300	2	2680
3	2460	3	1800	3	3100	3	3040
4	2600	4	3300	4	3210	4	3490
5	3310	5	2880	5	3500	5	3350
6	3650	6	2950	6	2400	6	3250
7	3340	7	3050	7	2330	7	3470
8	2460	8	2850	8	2470	8	3230
9	2640	9	2880	9	2950	9	2990
10	2880	10	3250	10	2550	10	2750
11	2370	11	2860	11	3000	11	2520
12	1880	12	2500	12	2700	12	2540
13	2600	13	3250	13	3000	13	2630
14	3600	14	2860	14	2650	—	—
15	2730	15	2500	15	2800	—	—
16	2570	16	2180	16	3550	—	—
17	2560	17	2850	17	3000	—	—
18	2650	18	3440	18	2700	—	—
19	3040	19	3300	19	3000	—	—

Т а б л и ц а 2

**Значения работы разрушения (А) образцов модифицированной
древесины и контрольных образцов**
The values of the fracture (A) of the samples of modified wood and the control samples

CO(NH ₂) ₂ 10 %		без пропитки при 110°C		Z-6011 5 %		без пропитки и без тепловой обр.	
№ обр.	Дж	№ обр.	Дж	№ обр.	Дж	№ обр.	Дж
1	27,5	1	36,5	1	38	1	35
2	45,5	2	47	2	42	2	35,2
3	27	3	43	3	50	3	35
4	22	4	46,5	4	34,5	4	12
5	39,8	5	11	5	14	5	16
6	29	6	19	6	30	6	11,8
7	28	7	50	7	22	7	21
—	—	—	—	8	44,5	8	19

ли партии образцов, которые высушивались при температуре 110 °С. Затем образцы подвергались испытаниям на водопоглощение. Для этого они помещались в дистиллированную воду, нагревались в СВЧ печи до температуры кипения и выдерживались в воде при комнатной температуре в течение 20 ч. Затем проводились измерения массы и размеров образцов.

В табл. 1 представлены результаты на испытание прочности при статическом

изгибе образцов древесины березы, подвергнутых пропитке при нормальном давлении путем погружения в раствор при комнатной температуре.

По результатам эксперимента составлена диаграмма средних значений нагрузок групп образцов $P_{\max}$, где $P_{\max}$ – максимальная нагрузка при статическом изгибе (рис. 1).

Результаты испытания на определение ударной вязкости древесины березы даны в табл. 2.

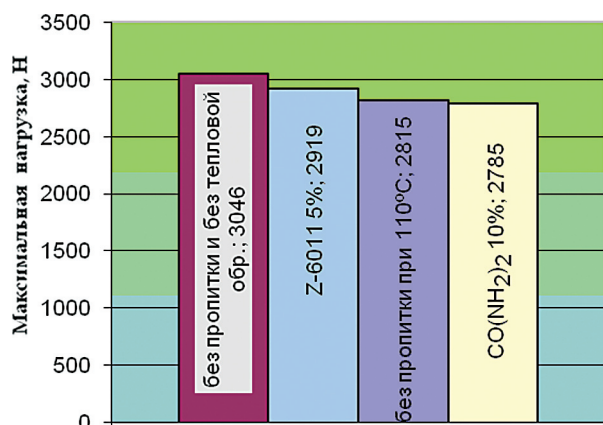


Рис. 1. Диаграмма значений максимальных нагрузок при статическом изгибе (указаны значения $P_{\max}$ для изученных систем)

Fig. 1. Diagram of maximum load values in static bending ($P_{\max}$ indicates the values for the studied systems)

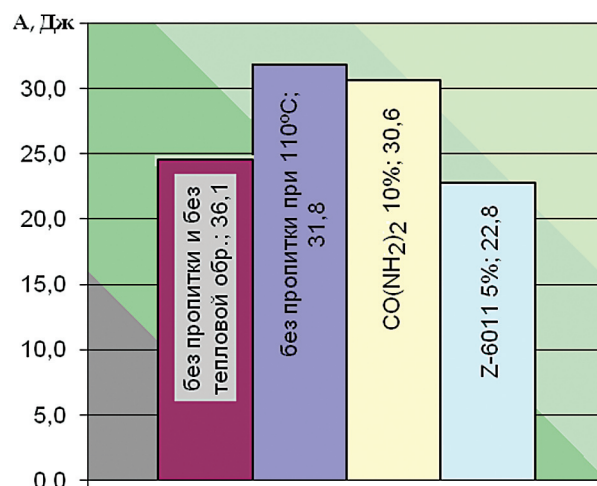


Рис. 2. Диаграмма средних значений работы разрушения (указаны максимальные значения)

Fig. 2. Diagram of average values of the fracture (indicated maximum values)

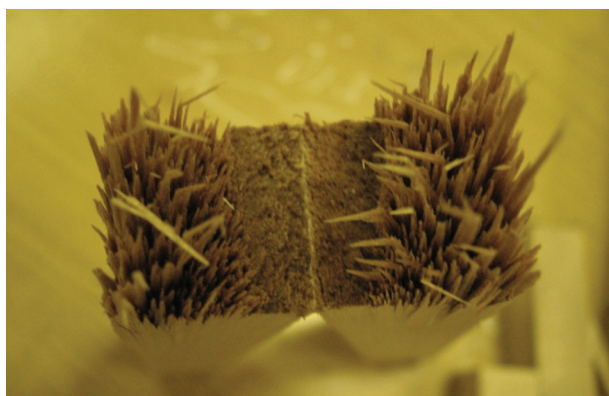


Рис. 3. Продольное разрушение образцов
Fig. 3. Longitudinal destruction of samples



Рис. 4. Поперечное разрушение образцов
Fig. 4. Cross the destruction of samples

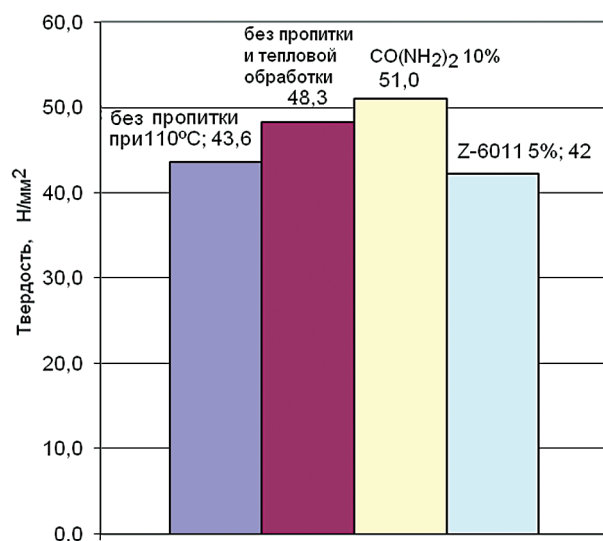


Рис. 5. Диаграмма средних значений твердости. Тангенциальный разрез

Fig. 5. The graph of average hardness values. Tangential section of

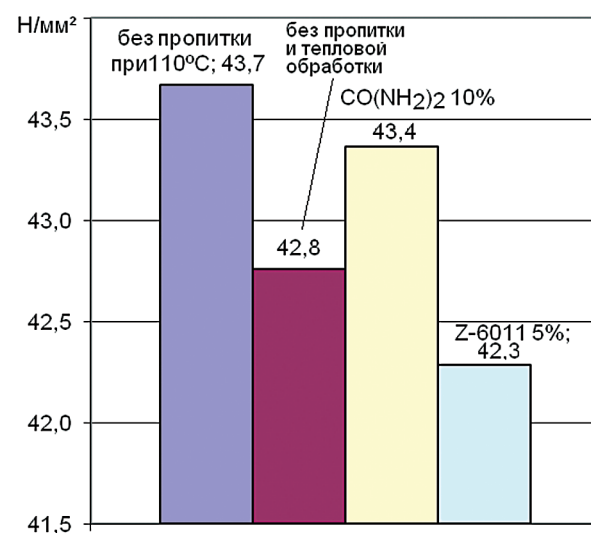


Рис. 6. Диаграмма средних значений твердости. Радиальный разрез

Fig. 6. Diagram of average hardness values. Radial Cut

Значения твердости поверхности для образцов древесины березы

The values of surface hardness for birch wood samples

Маркировка образца	Твердость поверхности, Н/мм ²		
	поперечный разрез, $H'_{\perp}$	радиальный разрез, $H'_{\text{р}}$	тангенциальный разрез, $H'_{\text{т}}$
Образцы без пропитки, терм.обработка при 110°C			
1	46	46	52
2	48,5	52	57,5
3	61	38,4	42
4	6350	53,4	28
5	36	41,7	42
6	48	30,5	40
Образцы из натуральной древесины			
1	39,5	39,5	48,5
2	59,5	49	53,5
3	54	55	52,5
4	56	40,8	45
5	42	29,5	42
Образцы, пропитанные 10 % р-ром CO(NH ₂) ₂			
1	47,5	43,5	56
2	43,5	41	54,6
3	49	43	53,5
4	55	44,1	51
5	50,5	47,8	57,5
6	37	44	43
7	42	44,5	44
8	57	39	54
Образцы, пропитанные 5 % р-ром Z-6011			
1	47	39	46,5
2	48,5	45	46,8
3	49	39	45
4	38	35,5	-
5	51,5	38	32
6	47	57,2	41

По результатам эксперимента была составлена диаграмма средних значений работы разрушения, рис. 2. На рис. 3, 4 представлены типичные фотограммы разрушенных образцов.

Результаты испытаний образцов березы на статическую твердость приведены в табл. 3.

На рис. 5, 6 представлены диаграммы средних значений твердости (Тв).

Таким образом, в результате проведенных исследований процесса пропитки березовой древесины органосилоксанами были подобраны условия обработки, позволяющие получать деловую древесину с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Поскольку главной задачей модифицирования древесины является получение материалов с заданными свойствами, мы использовали более эффективный способ глубинной пропитки древесины – путем вакуумирования с последующим давлением.

Известно, что обычная пропитка древесины позволяет осуществлять проникновение импрегнирующих веществ на глубину несколько миллиметров, формируя, в основном, поверхностный защитный слой [2, 10]. Представляло интерес получить образцы импрегнированной древесины по всему объему материала. Для этого в пропиточные составы вводили суспензию наночастиц Ag, которые в силу очень малых размеров должны беспрепятственно проникать в структу-

ру древесины. Система наночастиц имеет черную окраску, которую можно наблюдать визуально. Образцы соответственно подвергали пропитке по второму описанному варианту.

Полученные образцы подвергали испытанию на влагопоглощение в течение 60 сут. Результаты представлены в виде зависимости изменения влагосодержания (W) от времени и даны на рис. 7.

На рис. 7 представлены кривые влагопоглощения древесины, подвергнутой вакуумной пропитке в различных импрегнирующих растворах. Видно, что в результате реализации данного процесса равновесное набухание древесины не превышало 10–20 % для использованных импрегнирующих систем в присутствии и отсутствии наночастиц. В то время как для необработанной древесины величина W составляла 26–38 %.

В результате проведенных исследований было установлено, что наименьшее изменение размеров, как в радиальном, так и в тангенциальном направлении, наблюдалось у образцов, пропитанных препаратом Z-6011, что примерно на 30–50 %

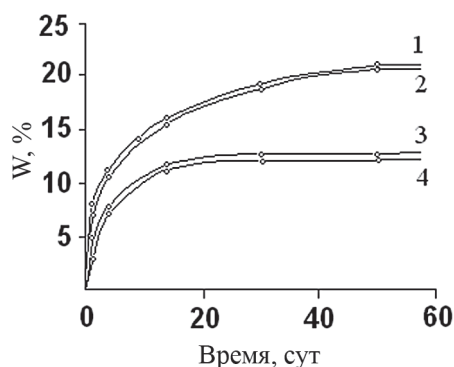


Рис. 7. Изменение степени влагопоглощения (W) пропитанных образцов тополя во времени: 1 – 10 % водный раствор мочевины, 2 – 10 % водный раствор мочевины с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц, 3 – 5 % раствор гамма-аминопропилтри-этоксисилана (марки Z6011) в воде, 4 – 5 % раствор Z6011 с 0,5 % суспензией Ag-наночастиц

Fig. 7. Changing the degree of water absorption (W) Time poplar impregnated samples 1 – 10% aqueous urea solution, 2 – 10% aqueous urea solution with 0.5% Ag-nanoparticle suspension, 3 – 5% solution of gamma-ethoxysilane aminopropyltri (brand Z6011) in water and 4 – 5% solution with 0.5% Z6011 Ag-nanoparticle suspension

лучше, чем у образцов из необработанной древесины.

Исследования показали, что кремнийорганические соединения, содержащие активные гидроксильные и аминогруппы, являются перспективным классом соединений для модифицирования древесины мягких лиственных пород, а использование вакуумирующего импрегнирования под давлением позволяет осуществлять глубинную пропитку древесных материалов.

Применение в составе пропиточных растворов наночастиц серебра позволяло визуально наблюдать глубину пропитки образцов, поскольку наночастицы серебра окрашивали пропитанный слой древесины в черный цвет.

Таким образом, проведенные испытания показали перспективность использования систем с включенными органосилоксанами для пропитки древесины малоценных пород.

Известно, что процессы, связанные с термообработкой древесины, приводят к значительному снижению ее физико-механических свойств. Образцы древесины березы, пропитанные кремнийорганическими соединениями, которые подвергались сушке при температурах выше 100 °С, тем не менее, сохраняли эти показатели на уровне величин, характерных для натуральной древесины. Испытания образцов древесины березы на прочность при статическом изгибе, ударной вязкости и статической твердости, показали, что образцы, пропитанные КОС, сохраняют физико-механические свойства древесины, в отличие от термомодифицированной древесины, подвергавшейся нагреву в защитной атмосфере при температуре порядка 200 °С [10].

Возможность модификации древесины мягких лиственных пород в результате пропитки с последующей сушкой делает эти «малоценные породы» конкурентоспособными и пригодными к использованию в качестве деловой древесины.

Библиографический список

1. Расев, А.И. Сушка древесины / А.И. Расев. – СПб.: Лань, 2010. – 416 с.

2. Неклюдов, А.Д. Консервация древесины – один из методов сохранения лесных богатств страны / А.Д. Неклюдов, А.Н. Иванкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. – № 2 (27). – С. 77 – 89.
3. Kjellow A.W., Henriksen O. Supercritical wood impregnation. The Journal of Supercritical Fluids, vol. 50, no. 3, 2009, pp. 297–304.
4. Keskin H. Impact of impregnation chemical on the bending strength of solid and laminated wood materials. Materials & Design, vol. 30, no. 3, 2009, pp. 796–803.
5. Pecha B., Arauzo P., Garcia-Perez M. Impact of combined acid washing and acid impregnation on the pyrolysis of fir wood. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2015. – № 5. – P. 10–15.
6. Неклюдов, А.Д. Консервация древесины как способ сохранения лесных ресурсов страны / А.Д. Неклюдов, А.Н. Иванкин // Экологические системы и приборы. – 2005. – № 5. – С. 3–11.
7. Badillo G.M., Segura L.A., Laurindo J.B. Theoretical and experimental aspects of vacuum impregnation of porous media using transparent etched networks. International Journal of Multiphase Flow. – 2011. – V. 37. – № 9. – P. 1219–1226.
8. Xia C., Shi S.Q., Cai L., Nasrazadani S. Increasing inorganic nanoparticle impregnation efficiency by external pressure for natural fibers. Industrial Crops and Products. – 2015. – V. 69. № 7. – P. 395–399.
9. Шамаев, В.А. Химико-механическое модифицирование древесины / В.А. Шамаев. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2003. – 260 с.
10. Владимирова, Е.Г. Влияние термической модификации на некоторые физико-механические свойства древесины сосны *Pinus sylvestris*. / Е.Г. Владимирова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – Т. 16. – № 5 (88). – С. 97–102.
11. Покровская, Е.Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений / Е.Н. Покровская. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 100 с.
12. Расев, А.И. Исследование гидрофобности и формоустойчивости древесины березы, пропитанной органосиликатами / А.И. Расев, А.Н. Иванкин, О.П. Прошина и др. // Технология и оборудование для переработки древесины // Науч. тр. – Вып. 349. – М.: МГУЛ, 2010. – С. 22–30.
13. Прошина, О.П. Влияние пропитки органосилоксанами на гидрофобность и формоустойчивость древесины березы / О.П. Прошина, А.Н. Иванкин, Е.А. Капустина А.И. Расев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – Т. 17. – № 2. – С. 83–87.
14. Rzaev, Z.M.O. Reactions of some anhydride-containing copolymers with γ -aminopropyltriethoxysilane / Z.M.O Rzaev, A Gьner, H.K Can, A Asici // Polymer. – 2001. – V. 42. – № 13. – P. 5599 – 5606.
15. Liu, J.G. Electrochemical characteristics of corrosion behavior of organic composite systems pretreated with gamma-aminopropyltriethoxysilane / J.G. Liu, C.W. Yan / Surface and Coatings Technology. – 2006. – V. 200. – № 16–17. – P. 4976 – 4986.
16. Roche, V. Tracking the fate of γ -aminopropyltriethoxysilane from the sol state to the dried film state / V. Roche, F.X. Perrin, D. Gigmes, F. Vacandio, F. Ziarelli, D. Bertin // Thin Solid Films. – 2010. – V. 518. – № 14. – P. 3640 – 3645.
17. ГОСТ 16483.3–84. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 7с.
18. ГОСТ 28840-90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 8 с.
19. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 12 с.
20. Иванкин, А.Н. Получение нанодисперсных частиц серебра для модификации свойств древесных композитов / А.Н. Иванкин, Ю.М. Евдокимов, Г.Л. Олиференко, О.П. Прошина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 4. – С. 145–149.
21. Серов, А.В. Антимикробный препарат на основе наносеребра / А.В. Серов, В.И. Шипулин, И.М. Шевченко // Мясная индустрия. – 2010. – № 2. – С. 29–32.
22. ГОСТ 20571-75. Древесина модифицированная. Метод определения ударной вязкости. – М.: Изд. стандартов, 1975. – 10 с.
23. ГОСТ 28840-90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования. – М.: Изд. стандартов, 1990. – 8 с.

FORMATION OF IMPREGNATION SYSTEMS WITH NANO PARTICLES TO MODIFICATION OF THE PROPERTIES OF WOOD

Proshina O.P., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Chemistry)⁽¹⁾; **Fahretdinov H.A.**, Assoc. Prof. MSFU Ph.D. (Forestry)⁽¹⁾; **Ivankin A.N.**, Prof. MSFU, Dr. Sci. (Chemistry)⁽¹⁾; **Kapustina E.A.**, pg. MSFU⁽¹⁾

aivankin@mgul.ac.ru

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

The present work is devoted to the research of influence of impregnation with various organic silicon compositions and organic modifiers on the characteristics of wood of deciduous species. With this purpose general physical and mechanical characteristics of wood of the birch impregnated with solutions of carbamide have been studied, to compare them to the wood impregnated with solutions of organic silicon at presence and absence of metal nano particles. Theoretical and practical approaches to the issue of hydrophobicity and modification of physical and mechanical characteristics have been formulated, particularly the issue of wood durability at the static bend, resilience, static hardness, and also the issue of balanced swelling in various impregnating systems and the issue of water absorption by modified birch wood. The following impregnating solutions have been used: 10 % water solution of urea, 10 % water solution of urea and 0,5 % suspension of Ag-nano particles, 5 % solution of gamma aminopropyl triethoxysilane of mark Z6011 in water, 5 % solution Z6011 with 0,5 % suspension of Ag-nano particles. It has been demonstrated, that the impregnation of birch wood with 5 % solution of carbamide allowed to achieve maximal values of loading for the samples: 2400-3600 N, 2300-3500 N in the system with gamma aminopropyl

triethoxysilane against 1800-3300 N for non-impregnated wood. The value of maximal loading during the static bend for impregnating systems was practically the same as in case of samples without impregnation and thermal processing. The values of destruction of tested products were 12-46 J. The average values of static hardness of wood surface have been calculated and have been 28-57 N/mm². Test results have not revealed any significant influence of used nano particles of silver on the strength of wood samples. However the use of nano particles has allowed to control the process of impregnation visually.

Keywords: organic siloxanes, birch wood, nano particles Ag, impregnation

References

1. Rasev A.I. *Sushka drevesini* [Wood drying]. St. Petersburg: Lani, 2010. 416 p.
2. Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Konsevatsia drevesini – odin is metodov sohraneniya lesnih bogatstv strani* [Wood preservation for maintaining of forest wealth-country]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik vol. 48, no.2, 2005, pp. 77-89.
3. Kjellow A.W., Henriksen O. Supercritical wood impregnation. The Journal of Supercritical Fluids, vol. 50, no. 3, 2009, pp. 297-304.
4. Keskin H. Impact of impregnation chemical on the bending strength of solid and laminated wood materials. Materials & Design, vol. 30, no. 3, 2009, pp. 796-803.
5. Pecha B., Arauzo P., Garcia-Perez M. Impact of combined acid washing and acid impregnation on the pyrolysis of fir wood. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, no. 5, 2015, pp.10-15.
6. Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Konsevatsia drevesini kak sposob sohraneniya lesnih resursov strani* [Wood preservation as a way to preserve the forest resources]. Environmental systems and devices (Russia), no. 5, 2005, pp. 3-11.
7. Badillo G.M., Segura L.A., Laurindo J.B. Theoretical and experimental aspects of vacuum impregnation of porous media using transparent etched networks. International Journal of Multiphase Flow, vol. 37, no. 9, 2011, pp. 1219-1226.
8. Xia C., Shi S.Q., Cai L., Nasrazadani S. Increasing inorganic nanoparticle impregnation efficiency by external pressure for natural fibers. Industrial Crops and Products, vol. 69, no. 7, 2015, pp. 395-399.
9. Shamaev V.A. *Himiko-mehanicheskaya modifikatsia drevesini* [Chemical-mechanical modification of wood]. Voronezh: Voronezh Lesotekhnicheskaya Akademiya, 2003. 260 p. (in Russian).
10. Vladimirova E.G. *Vliyanie termicheskoi modifikatsii na nekotorye fiziko-mehanicheskie svoystva sosni Pinus sylvestris* [Influence of thermal modification on some physical and mechanical properties of the wood of a pine *Pinus sylvestris*]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik vol. 16, no. 5, 2012, pp. 97-102.
11. Pokrovskaya E.N. *Himiko-fizicheskie osnovy uvelicheniya dolgovechnosti drevesini* [Chemical physical basis of durable wood-related increases. The preservation of the monuments of wooden architecture by using element-organic compounds. Moscow: ACU, 2003, 100 p.
12. Rasev A.I. Ivankin A.N., Proshina O.P., Kapustina E.A. *Issledovaniya gidrofobnosti i formoustoichivosty drevesini berezi, propitannoi organosiloksanami* [Study the hydrophobicity and form sustainability of birch wood, soaked in the organometallic silicates]. Technology and equipment for processing wood. Proceedings. Moscow: MGUL, 2010. V. 349. pp. 22-30.
13. Proshina O.P., Ivankin A.N., Kapustina E.A., Rasev A.I. *Vliyanie propitki organosiloksanami na gidrofobnost* [Influence of impregnation organo siloxanes on hydrophobicity and shape stability of birch wood]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, vol. 17, no.2, 2013, pp. 83 – 87.
14. Rzaev Z.M.O., Gьner A., Can H.K., Asici A. Reactions of some anhydride-containing copolymers with γ -aminopropyltriethoxysilane. Polymer, vol. 42, no 13, 2001, pp. 5599-5606.
15. Liu J.G., Yan C.W. Electrochemical characteristics of corrosion behavior of organic composite systems pretreated with gamma-aminopropyltriethoxysilane. Surface and Coatings Technology, vol. 200, no. 16-17, 2006, pp. 4976-4986.
16. Roche V., Perrin F.X., Gignes D., Vacandio F., Ziarelli F., Bertin D. Tracking the fate of γ -aminopropyltriethoxysilane from the sol state to the dried film state. Thin Solid Films, vol. 518, no. 14, 2010, pp. 3640-3645.
17. GOST 16483.3-84. Wood. Method for the determination of the tensile strength of the static bending strength. Moscow: Standards Publ., 1980. 7 p.
18. GOST 28840-90. Material testing machines for tensile, compression and bending. General technical requirements. Moscow: Standards Publ., 1980. 8 p.
19. GOST 166-89. Calipers. Technical conditions. Moscow: Standards Publ., 1980. 12 p.
20. Ivankin A.N., Evdokimov Yu.M., Oliferenko G.L., Proshina O.P. *Poluchenie nanodispersnykh chastits serebra dlya modifikatsii svoystv drevesnykh kompozitov* [The obtain of nano disperse particles of silver for modifying the properties of wood-based composites]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, no.4, 2014, pp. 145-149.
21. Serov A.V., Shipulin V.I., Shevchenko I.M. *Antimikrobnii preparat na osnove nano Ag* [Antimicrobial drug based on nano silver]. Meat Industry (Russia), no. 2, 2010, pp. 29-32.
22. GOST 20571-75. Modified wood. Method for determination of impact strength. Moscow: Standards Publ., 1975. 10 c.
23. GOST 28840-90. Material testing machines for tensile, compression and bending. General technical requirements. Moscow: Standards Publ., 1990. 8 c.