

3. Safin R.R., Shaykhutdinova A.R., Khasanshin R., Mukhametzyanov S., Safina A. [Increasing the strength of the adhesive line in the production of thermally modified wooden panels] *Coatings*. 2021. Vol. 11. No. 2. pp. 1-13.
4. Birinchi, E. [The effect of heat treatment on some properties of wood-plastic composites] / E. Birinchi, A. Kaymakchi, T. Dundar, N. Ayrimis // Conference: International Symposium on Forestry. - 2016. - No. 1. - pp. 832-838.
5. Ayrimis, N. [Properties of biocomposite films from PLA and heat-treated wood modified with silver nanoparticles using extracts of Oriental oregano leaves] N. Ayrimis, E. Yuttas, A. Durmus, F. Ozdemir // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2021. – No. 29. – pp. 1-12.
6. Yang H., Hazen R.M., Finger L.U., Pruitt K.T. [Compressibility and crystal structure of sillimanite, Al₂SiO₅, at high pressure] // *Physics. Chem.. Minerals*. 1997. Vol. 25. pp. 39-47.
7. B.S. Aliya, A. Mubarak, A. Khan, A.I. Mustafa, [Modification of plywood surface with epoxy acrylate by photo-curing] *Technology and design of polymer plastics*. 42(1) (2003) 123-138.
8. Yu. Zhang, L. Ding, J. Gu, [Preparation and properties of starch-based wood glue with high bonding strength and water resistance] *J. Hydrocarbon. Polym.* 115 (2015) 32-57.
9. N.R. Galyavetdinov, R.R. Khasanshin, R.R. Safin, R.G. Safin, E.Y. Razumov, [The use of wood waste in the production of composite materials], *International Interdisciplinary Scientific Geoconference on Geodetic Geology and Management of Mountain ecology SGEM, Bulgaria, 2015*, pp. 779-786.
10. R.R. Safin, R.R. Khasanshin, S.R. Mukhametzyanov, [Influence of technical parameters of a disk-shaped reactor on the performance of heat treatment of crushed wood] *IOP Conference Series: Materials Science and Technology, Tomsk, 327(4), 2018*, p. 042095.

©**Saerova K.V.** – postgraduate student of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: senya97@inbox.ru; **Mukhametzyanov Sh.R.** – PhD of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and design of wood products, KNRTU, e-mail: joker775.87@mail.ru; **Khasanshin R.R.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of Department of Architecture and design of wood products, KNRTU, e-mail: rusl2881@mail.ru.

УДК 674 (620.1)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

О.Н. Бурмистрова, В.В. Побединский, И.Н. Кручинин, М.А. Михеевская, Е.А. Кунгурова

Рассмотрена проблема оценки физико-механических свойств прессованной древесины крупногабаритных изделий. Показано, что существующие нормативно-технические документы распространяются только на древесину, полученную термохимическим путем и при этом для малогабаритных деталей, т.е. с ненарушенной структурой, поэтому методы оценки свойств для такой древесины будет некорректно использовать для древесины прессованной. Такое положение делает актуальным направление создание новых методов оценки параметров прессованной древесины. Целью исследований была разработка методов определения физико-механических параметров крупногабаритных изделий на примере шпала из прессованной древесины березы. В работе рассматривались следующие задачи: 1) разработка требований к системе контроля качества крупногабаритных изделий из прессованной древесины; 2) разработка методики испытаний прессованной древесины; 3) выполнение экспериментов; 4) интерпретация результатов экспериментов. В качестве результатов получены методика определения неравномерности степени прессования образцов, уложенных по высоте в пресс-форме; методика для определения послойных показателей механических свойств (статическая твердость, сжатие вдоль волокон, местное смятие поперек волокон) прессованной древесины; выявлено, что статическая твердость прессованной древесины в крупногабаритных изделиях отличается до 3,8% в зависимости от расположения по длине ствола, а расхождение таких значений для не прессованной древесины значительно выше и достигает 16,2 %; предложенные методы более глубоко учитывают специфику процесса прессования

крупногабаритных изделий и позволяют точнее оценивать их физико-механические характеристики, поэтому могут быть рекомендованы для использования в практике подобных технологий деревообработки.

Ключевые слова: прессованная древесина; физико-механические параметры прессованной древесины; методика оценки параметров прессованной древесины.

Введение

В настоящее время все актуальнее становится проблема вовлечения в производство лиственных пород древесины [1]. Например, принципиально древесина березы может использоваться не только для производства шпона, но и в качестве крупногабаритных пиломатериалов [2]. Но если рассматривать для примера шпалы железнодорожного полотна, то возникает еще одна проблема — это отсутствие метода оценки физико-механических параметров такого типа материалов в случае прессованной древесины [3]. Известные исследования в этой области сосредоточены на разработках методов измерения ненарушенной структуры древесины [4,5], поэтому для прессованной древесины их использование будет некорректно. Известная нормативно-техническая документация на прессованную древесину, полученную термохимическим путем, предусматривает методы их оценки только для малогабаритных изделий, следовательно априори структура рассматривается как однородная, что не соответствует крупномерным изделиям [6]. Для таких материалов в методах измерения параметров необходимо учитывать, что стандартные пиломатериалы имеют ряд таких особенностей, как неоднородность строения во всех направлениях относительно волокон в радиальном, тангентальном, торцевом, а также по сечению и длине ствола дерева наблюдается анизотропия, наличие различных пороков и другие неоднородности [7,8].

Практика получения крупногабаритных изделий из прессованной древесины показывает, что оценка их физико-механических свойств требует корректировки. Чаще всего это вызвано трудоемкостью измерения и значительной неоднородностью свойств по длине изделия. Этот фактор напрямую влияет на потребительские свойства прессованных изделий. Для осуществления контроля качества такой продукции необходим целый комплекс организационных и технических мероприятий [9], в первую очередь, по методам измерения физико-механических параметров, которые на сегодня не разработаны.

Таким образом совершенствование и создание новых методов оценки физико-механических параметров изделий из прессованной древесины является актуальным направлением исследований, что и определило цель настоящей работы.

Целью исследований была разработка методов определения физико-механических параметров крупногабаритных изделий на примере шпал из прессованной древесины березы.

В работе рассматривались следующие задачи:

1. Разработка требований к системе контроля качества крупногабаритных изделий из прессованной древесины.
2. Разработка методики испытаний прессованной древесины.
3. Выполнение экспериментов.
4. Интерпретация результатов экспериментов.

Методы и материалы

Методика и оборудование исследований в достаточной мере отражали реальные производственные условия процесса прессования. Испытание образцов на механические показатели прочности проводилось на испытательной машине, согласно ГОСТ 28840-90. В настоящих исследованиях в качестве основного средства измерения использовалась аттестованная разрывная машина марки РЭМ-50-А. Влажность образцов определялась весовым методом с помощью весов ВЛР-200 с относительной погрешностью измерений 0,025 %. Линейные размеры образцов измерялись штангенциркулем типа ШЦ-1 (ГОСТ 166-89) с погрешностью не более 0,02 %. Время выдержки под давлением контролировалось при помощи секундомера СОПР-3 (ГОСТ 5072-79 Е), относительная погрешность измерений составляет 0,17 %. Твердость измерялась по ГОСТ 9696-75 с относительной погрешностью 0,02 %. Масса измерялась путем взвешивания образцов на весах ВЛЗ-100 с относительной погрешностью измерения 0,05 %.

Экспериментальные исследования проводились в научной лаборатории УГТУ.

Результаты

Разработка требований к системе контроля качества крупногабаритных изделий из прессованной древесины

Оценка физико-механических свойств крупногабаритных прессованных изделия представляет значительную трудность как по толщине, так по длине изделия и без использования современных методов измерения, специализированного оборудования для измерений практически невозможно [10,11]. Поэтому предварительно потребовалось определить основные требования к системе контроля качества и параметрам измерений. Так, используемые в исследованиях контрольно-измерительные приборы по назначению и погрешностям должны соответствовать ГОСТ 10632-88. Для оценки основных эксплуатационных параметров крупногабаритных изделий из прессованной древесины, на примере шпал для железнодорожных путей необходимо провести комплекс процедур по оценке таких физико-механических показателей, как прочность, плотность, влажность, способность сопротивляться внешним нагрузкам. Наиболее важными параметрами, которые влияют на качество изделий из древесины, являются статическая твердость, сжатие вдоль волокон, местное смятия поперек волокон.

Также в испытаниях следует учитывать, что для крупногабаритных деталей необходимы значения указанных параметров не только на поверхности, но и в глубине древесины, как по сечению, так и по длине.

Разработка методики испытаний прессованной древесины

Такие параметры, как влажность, плотность и пористость прессованной древесины является достаточно сложным объектом для измерения. Чтобы определить возможные изменения параметров по толщине древесины, предложено раскраивать измеряемый образец послойно на пластины. В настоящих исследованиях каждый образец в виде бруса раскраивали по толщине на пластины, согласно схеме, представленной на рис. 1. Толщина пластин 1, 2, 3, 5, 6, 7 составляет 20 мм, толщина средней пластины № 4 – около 40 мм. Каждая пластина должна быть взвешена, определены её линейные размеры и плотность.

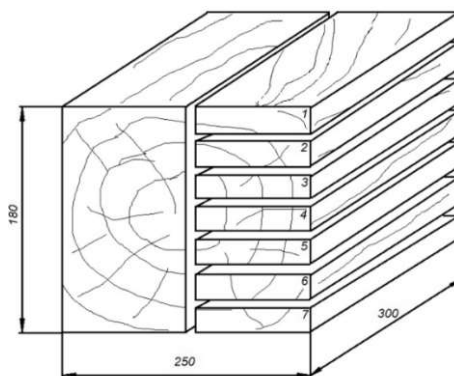


Рис. 1. Схема раскроя образца на пластины для определения физико-механических показателей по толщине: 1-7 – слои раскроя бруса по толщине

Из каждой пластины (1–7) необходимо выпилить образцы для определения физико-механических показателей, согласно схеме, представленной на рис. 2. Авторами определялось место и схема выпилки древесины из пластины материала. Испытание образцов на механические показатели прочности проводилось на испытательной машине, соответствующей ГОСТ 28840-90. При подготовке образцов линейные размеры измеряются штангенциркулем марки ШЦ-1 с погрешностью не более 0,02 %.

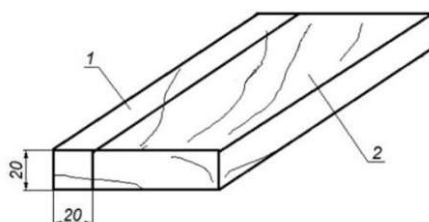


Рис. 2. Схема выпилки заготовки (1) из пластины (2) для изготовления экспериментальных образцов

После каждого вида испытания на механическую прочность выполняются измерения влажности образцов весовым методом, согласно ГОСТ 16483.7-71.

Исследования статической твердости древесины проводятся в соответствии с ГОСТ 16483.17-81 с применением испытательной машины. В качестве дополнительного приспособления используется пуансон с наконечником, имеющим полусферу радиусом $5,64 \pm 0,01$ мм. Для этого измерения из шпалы вырезается заготовка длиной 300 мм и поперечным сечением 180×250 мм, согласно схеме, показанной на рис. 1. В последующем из этой заготовки вырезается образец, длина и толщина которого соответствует размерам заготовки (см. рис. 2), шириной в 100 мм.

Для определения послойной твердости прессованной древесины, первоначально выполняется измерение статической твердости на поверхности образца в пяти точках. Места вдавливания пуансона показаны на рис. 3. После этой операции с верхней части заготовки срезается пластина толщиной 20 мм и на обратной стороне повторяются измерения в той же последовательности. Такие измерения статической твердости проводятся на трех пластинах.

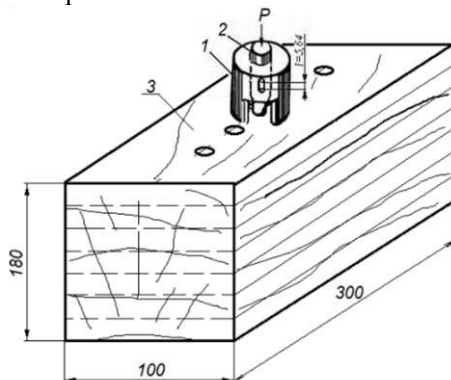


Рис. 3. Схема испытания прессованной древесины на статическую твердость: 1 – корпус; 2 – пуансон; 3 – заготовка

Статическая твердость древесины, H , вычисляется с погрешностью не более $0,1 \text{ Н/мм}^2$ по формуле

$$H = P / (\pi r^2)$$

где r – радиус полусферы пуансона, $r = 5,64$ мм;

P – нагрузка на образец, Н.

Исследование предела прочности прессованной древесины при сжатии вдоль волокон выполняется в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 16483.10-73. При этом следует учитывать, что малые образцы должны иметь размеры $20 \times 20 \times 30$ мм, последний размер вдоль волокон. В соответствии с ГОСТ 16483.0-89 количество образцов для определения прочности на сжатие вдоль волокон должно составлять не менее 8 штук.

При испытаниях образцов на разрывной машине, необходимо контролировать скорость нагружения траверсы в пределах $25 \pm 0,5$ кН/мин. Отсчёт нагрузки выполняется с точностью до 50 Н.

После испытаний на прочность делается отбор образцов длиной 30 мм с отпечатком пуансона и выполняется оценки влажности древесины. Полученные показатели прочности, τ_w , приводятся к нормализованной влажности, τ_{12} , по формуле

$$\tau_{12} = \tau_w [1 + \alpha(W - 12)],$$

где W – влажность образца в момент испытания, %;

α – поправочный коэффициент на влажность.

Пересчёт статической твердости древесины на нормализованную влажность производится для образцов с влажностью $W = 5$ % с поправочным коэффициентом равным 1,215, при $W = 10$ % с коэффициентом равным 1,060, а при $W = 15$ % коэффициент принимается равным 0,910.

Выполнение экспериментов

Выполнение экспериментов проводились в научной лаборатории Ухтинского государственного технического университета. Перед проведением экспериментов с прессованной древесиной, нами были проведены исследования по оценке плотности и пористости древесины березы в ненарушенном

состоянии. Было выявлено, что плотность древесины в абсолютно сухом состоянии существенно изменяется по длине стволовой части. Установлено, что самая прочная древесина находится в комлевой части. Результаты исследования плотности древесины березы представлены в таблице 1. При анализе плотности древесины в поперечном сечении, можно видеть, что плотность древесины возрастает от центра к поверхности в среднем на 9,2 %. В таблице 2 приведены значения пористости древесины березы по длине стволовой части.

Анализируя данные таблицы 1 видно, что пористость древесины березы от комлевой части к вершине возрастает по длине ствола. По сечению пористость уменьшается от центра к поверхности. На рисунке 4 представлено изменение среднего значения пористости древесины березы.

Таблица 1 – Плотность древесины по сечению и длине стволовой части в абсолютно сухом состоянии (береза)

Расстояние от комлевой части $h, м$	Плотность $\rho_0, кг/м^3$			
	по длине стволовой части	по сечению ствола		
		на поверхности	0,5R (радиуса)	в центре
1	616,6	618,6	594,2	586,9
2	609,0	647,4	590,1	589,4
3	601,6	613,4	622,7	568,7
4	580,3	591,9	568,5	580,6
5	591,3	622,0	581,8	570,0
6	576,6	616,7	576,9	521,2
7	567,1	591,2	566,6	543,5
8	565,0	608,5	564,8	521,6
9	568,4	629,0	547,9	528,2

Таблица 2 – Пористость древесины по сечению и длине стволовой части в абсолютно сухом состоянии (береза)

Расстояние от комлевой части $h, м$	Пористость $\Pi, \%$			
	по длине стволовой части	по сечению ствола		
		на поверхности	0,5R (радиуса)	в центре
1	59,7	59,6	61,2	58,4
2	60,2	57,7	61,4	61,5
3	60,7	59,9	59,3	62,8
4	62,1	61,3	62,8	62,1
5	61,4	59,3	62,0	62,7
6	62,3	59,7	62,3	65,9
7	62,9	61,4	63,0	64,5
8	63,1	60,2	63,1	65,9
9	62,8	58,9	64,2	65,5

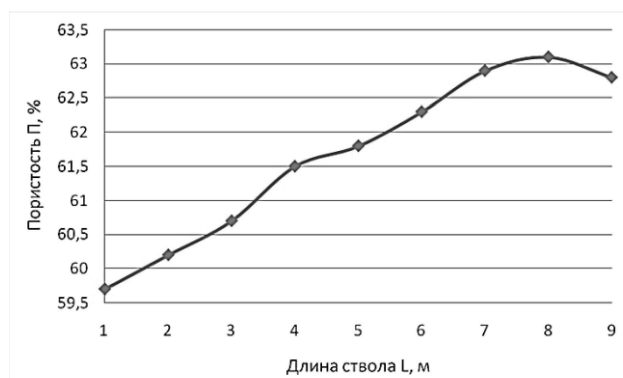


Рис. 4. Среднее значение пористости древесины березы по длине ствола

После выполнения измерений и статистической обработки результатов установлено, что средняя

статическая твердость в радиальном направлении изделия из прессованной древесины из средней части ствола составила 49,5 Н/мм². Из графика на рисунке 5 видно, что послойная статическая твердость со стороны приложения усилия прессования и средняя часть имеют одинаковую твердость, которая несколько выше по сравнению с твердостью слоев, примыкающих ко дну пресс-формы.

Средняя статическая твердость в радиальном направлении прессованной древесины из вершинной части ствола составила 48,2 Н/мм².

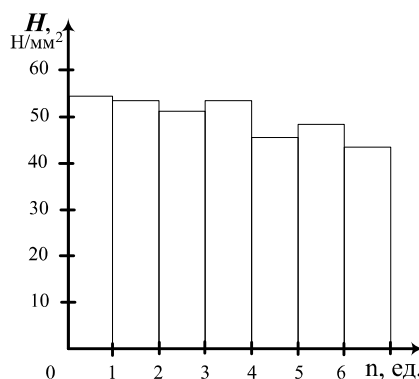


Рис. 5. Статическая твердость прессованной древесины из средней части по длине ствола при нормализованной влажности ($W=12\%$): n - количество слоев при раскрое бруса по толщине

В результате испытаний по указанной методике выявлено, что прессованная древесина из различных по длине ствола частей ствола дерева имеет практически одинаковую статическую твердость, разница не превышала 3,8 %. Не прессованная древесина брусков из различных частей ствола имела различную статическую твердость. Разница в статической твердости между комлевой и вершинной частью достигала 16,2 %.

Заключение

1. Предложена методика определения неравномерности степени прессования образцов, уложенных по высоте в пресс-форме.
2. Предложена оригинальная методика для определения послойных показателей механических свойств (статическая твердость, сжатие вдоль волокон, местное смятие поперек волокон) прессованной древесины.
3. Выявлено, что статическая твердость прессованной древесины в крупногабаритных изделиях отличается до 3,8% в зависимости от расположения по длине ствола. Расхождение таких значений для не прессованной древесины значительно выше и достигает 16,2 %.
4. Предложенные методы более глубоко учитывают специфику процесса прессования крупногабаритных изделий и позволяют точнее оценивать их физико-механические характеристики, поэтому могут быть рекомендованы для использования в практике подобных технологий деревообработки.

Литература

1. Курьянова Т.А. и др. Состояние вопроса производства и эксплуатации железнодорожных шпал из различных материалов / Т.К. Курьянова, А.Д. Платонов, М. А. Михеевская, Д.А. Паринков и др. // Лесотехнический журнал. – 2017. -Т.7. - № 4(28). – С. 157-166.
2. Платонов Д.А. и др. Получение шпал с заданными показателями качества из прессованной древесины березы / А. Д. Платонов, М.А. Михеевская, Т. К. Курьянова, С. Н. Снегирева и др. // Лесотехнический журнал. – 2018. -Т.8.-№ 4(32). – С. 187-193.
3. Курьянова Т.К. и др. Теоретические основы получения модифицированной древесины [Текст] / Т.К. Курьянова, А.Д. Платонов, М. А. Михеевская, С.Н. Снегирева и др. // Лесотехнический журнал. – 2018. -Т.8. - № 1(29). – С. 146-154. DOI:10.12737/article_5ab0dfc30d6f83.06547595.
4. Федюков В.И. и др. Основы обеспечения качества пилопродукции / В. И. Федюков, О. Г. Тарасова, М. В. Боярский; под общ. ред. В. И. Федюкова // Поволжский гос. технологический ун-т. Йошкар-Ола, 2012. – 163 с.
5. Шамаев В. А. и др. Модифицирование древесины / В. А. Шамаев, Н. С. Никулина, И. Н. Медведев.

– М.: ФЛИНТА: Наука, 2013. – 448 с.

6. Nikolic M, Lawther J.M, Sanadi A.R. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review. Journal of Coatings Technology and Research. 2015 May;12(3):445-461. <https://doi.org/10.1007/s11998-015-9659-2>.

7. Platonov A. D., Kuryanova T.K., Mikheevskaya M.A., Snegireva S.N. Increasing the durability of sleepers made from of soft leaf-bearing species (2018). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. № 226 (2019) 012030 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/226/1/012030

8. Ren Li, Zhiqiang, Gao Shanghuan Feng, Jianmin Chang, Yanmei Wu, Rongfeng Huang (2018). Effects of preheating temperatures on the formation of sandwich compression and density distribution in the compressed wood. // Journal of Wood Science. pp. 1–7.

9. Shamaev V, Parinov D, Medvedev I. Wood modification by pressing-Wood // Science and Engineering studies, Issue 3(2), Vol.10, 2018, p.708-718.

10. Medvedev I.N., Shamayev V.A., Parinov D.A. Resource-saving production sleepers of modified wood / I.N. Medvedev, V.A. Shamayev, D.A. Parinov // Путь и путевое хозяйство. 2018. № 11. С. 30-32.

11. Винник Н. И., Шамаев В. А. Некоторые физико-механические свойства модифицированной древесины различных марок / Н. И. Винник, В. А. Шамаев // Модифицирование, свойства древесины - Рига, «Зинатне», 1983. - С.74-77.

©Бурмистрова О.Н. – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии и транспортно-технологических машин, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «УГТУ»), e-mail: oburmistrova@ugtu.net; Побединский В.В. – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: robod@el.ru; Кручинин И.Н. – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: kinaa.k@yandex.ru; Михеевская М.А. – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и транспортно-технологических машин, ФГБОУ ВО «УГТУ», e-mail: mmiheevskaya@ugtu.net; Кунгурова Е.А. – магистр кафедры ландшафтного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: kungurovaca@m.usfeu.ru.

UDC 674 (620.1)

DEVELOPMENT OF METHODS FOR DETERMINING THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF LARGE-SIZED PRESSED WOOD PRODUCTS ELIABILITY PREDICTION OF FOREST MACHINE PARTS

O.N. Burmistrova, V.V. Pobedinskiy, I.N. Kruchinin, M.A. Mikheevskaya, E.A. Kungurova

The problem of evaluating the physical and mechanical properties of pressed wood of large-barite products is considered. It is shown that the existing regulatory and technical documents apply only to wood obtained thermochemically and at the same time for small-sized parts, i.e. with an intact structure, therefore, methods for assessing the properties of such wood will be incorrectly used for pressed wood. This situation makes the creation of new methods for evaluating the parameters of pressed wood an urgent direction. The purpose of the research was to develop methods for determining the physical and mechanical parameters of large-sized products on the example of sleepers made of pressed birch wood. The following tasks were considered in the work: 1) development of requirements for a quality control system for large-sized products made of pressed wood; 2) development of a test procedure for pressed wood; 3) execution of experiments; 4) interpretation of experimental results. As the results, the methodology for determining the unevenness of the degree of pressing of samples stacked in height in a mold is obtained; a method for determining the layered indicators of mechanical properties (static hardness, compression along the fibers, local crumpling across the fibers) of pressed wood; it was found that the static hardness of pressed wood in large-sized products differs by up to 3,8% depending on the location along the length of the trunk, and the discrepancy of such values for non-pressed wood is significantly higher 16,2 %; the proposed methods take into account the specifics of the pressing process of large-sized products more deeply and allow for a more accurate assessment of their physical and mechanical characteristics, therefore they can be recommended for use in the practice of such woodworking technologies.

Keywords: pressed wood; physical and mechanical parameters of pressed wood; methodology for estimating parameters of pressed wood.

References

1. Kuryanova T.A. et al. The state of the issue of production and operation of railway sleepers from various materials / T.K. Kuryanova, A.D. Platonov, M. A. Mikheevskaya, D.A. Parinov, etc. // Forestry Journal. – 2017. -Vol.7.- № 4(28). – Pp. 157-166.
2. Platonov D.A. et al. Obtaining sleepers with specified quality indicators from pressed birch wood / A.D. Platonov, M.A. Mikheevskaya, T. K. Kuryanova, S. N. Snegireva, etc. // Lesotechnicheskiy zhurnal. – 2018. - T.8.-№ 4(32). – Pp. 187-193.
3. Kuryanova T.K. et al. Theoretical foundations of obtaining modified wood [Text] / T.K. Kuryanova, A.D. Platonov, M. A. Mikheevskaya, S.N. Snegireva, etc. // Forestry Journal – 2018. -Vol.8.- № 1(29). – Pp. 146-154. DOI:10.12737/article_5ab0dfc30d6f83.06547595.
4. Fedyukov V.I. et al. Fundamentals of quality assurance of sawn products / V. I. Fedyukov, O. G. Tarasova, M. V. Boyarsky; under the general editorship of V. I. Fedyukov // Volga State Technological University. Yoshkar-Ola, 2012. – 163 p.
5. Shamaev V. A. et al. Wood modification / V. A. Shamaev, N. S. Nikulina, I. N. Medvedev. – M.: FLINT: Nauka, 2013. – 448 p.
6. Nikolic M, Lawther J.M, Sanadi A.R. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review. Journal of Coatings Technology and Research. 2015 May;12(3):445-461. <https://doi.org/10.1007/s11998-015-9659-2>.
7. Platonov A. D., Kuryanova T.K., Mikheevskaya M.A., Snegireva S.N. Increasing the durability of sleepers made from of soft leaf-bearing species (2018). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. № 226 (2019) 012030 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/226/1/012030
8. Ren Li, Zhiqiang, Gao Shanghuan Feng, Jianmin Chang, Yanmei Wu, Rongfeng Huang (2018). Effects of preheating temperatures on the formation of sandwich compression and density distribution in the compressed wood. // Journal of Wood Science. pp. 1–7.
9. Shamaev V, Parinov D, Medvedev I. Wood modification by pressing-Wood // Science and Engineering studies, Issue 3(2), Vol.10, 2018, p.708-718.
10. Medvedev I.N., Shamayev V.A., Parinov D.A. Resource-saving production sleepers of modified wood / I.N. Medvedev, V.A. Shamayev, D.A. Parinov // Path and track economy. 2018. No. 11. pp. 30 -32.
11. Vinnik N. I., Shamaev V. A. Some physico-mechanical properties of modified wood of various brands / N. I. Vinnik, V. A. Shamaev // Modification, properties of wood. - Riga, "Zinatne", 1983. - pp.74-77.

©**Burmistrova O.N.** – Grand PhD in Engineering Sciences, Professor of the Department of Technology and Transport and Technological Machines, Ukhta State Technical University (USTU), e-mail: oburmistrova@ugtu.net; **Pobedinsky V.V.** – Grand PhD in Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Intelligent Systems, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail: pobed@el.ru; **Kruchinin I.N.** – Grand PhD in Engineering Sciences, Professor of the Department of Transport and Road Construction, USFEU, e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Mikheevskaya M.A.** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Technology and Transport and Technological Machines, USTU e-mail: mmiheevskaya@ugtu.net; **Kungurova E. A.** – Master of the Department of Landscape Construction, USFEU, e-mail: kungurovaea@m.usfeu.ru.

УДК 661.123

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ВОДНО - ВАКУУМНОЙ ЭКСТРАКЦИИ INONOTUS OBLIQUUS

А.В. Сафина, В.В. Губернаторов

В статье представлена математическая модель водно-вакуумной экстракции Inonotus obliquus (березового гриба чага), описывающая взаимосвязанные процессы стадий предварительной дегазации материала и последовательно чередующихся стадий извлечения ценных компонентов при атмосферном давлении и в режиме вакуумирования. При этом происходящие физические явления рассмотрены через решение внешней задачи (теплообмена экстрагента с материалом и паровой фазой) и внутренней задачи - теплопереноса внутри материала. Решение внутренней задачи основано на диффузионном переносе целевого компонента через стенку капилляра в экстрагент и его молярном переносе под действием градиента давления внутри частицы чаги. Проведена проверка