

УДК 674.048.2

Экспериментальные исследования пропитки древесины при помощи гидроудара

О.А. Куницкая^a, С.С. Бурмистрова^b

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия

^aola.ola07@mail.ru, ^btlzp@inbox.ru

Статья поступила 12.10.2015, принята 15.11.2015

Рассмотрены методика и результаты экспериментальных исследований пропитки древесины при помощи гидроудара. Исследование направлено на экспериментальное обоснование параметров и показателей работы разработанного технического решения, защищенного патентом Российской Федерации на полезную модель № 91927, позволяющего расширить возможности устройства за счет его применения для пропитки деревянных заготовок, снизить энергоемкость и упростить устройство за счет усовершенствования узла создания давления пропиточной жидкости, интенсифицировать процесс пропитки при обеспечении глубокой пропитки за счет создания давления путем гидравлического удара. Устройство для пропитки деревянных заготовок включает в себя бак с пропиточной жидкостью и узел создания давления пропиточной жидкости. Данный узел выполнен в виде напорного бака, имеющего верхний и нижний датчики уровня и соединенного с напорным баком разгонной трубы, в тупиковом конце которой размещена деревянная заготовка, а в зоне ее выходного конца смонтировано запорное приспособление, автоматически связанное с верхним и нижним датчиками уровня. Рассмотрена конструкция экспериментальной установки, определено число циклов повышения давления, необходимое для достижения заданной глубины пропитки в зависимости от величины повышения давления при гидравлическом ударе и влажности заготовки. Получена зависимость глубины пропитки от числа циклов повышения давления при варьировании влажности заготовок либо величины повышения давления. Показано, что глубина пропитки монотонно возрастает с увеличением количества циклов повышения давления.

Ключевые слова: пропитка древесины; гидроудар; число циклов пропитки; влажность древесины; энергоемкость пропитки.

Experimental study of wood impregnation with hydraulic impact

О.А. Kunickaya^a, S.S. Burmistrova^b

St Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky per., St Petersburg, Russia

^aola.ola07@mail.ru, ^btlzp@inbox.ru

Received 12.10.2015, accepted 15.11.2015

The article describes the technique and results of experimental studies of wood impregnation with hydraulic impact. The research is focused on experimental validation of parameters and performance indicators of the technology protected by the patent of the Russian Federation for the model No. 91927. It allows expanding model's capabilities by applying it for wood impregnation, reducing energy consumption and simplifying the model by developing the pressure node for impregnation liquid, intensifying impregnation process, while ensuring deep impregnation due to the pressure created with hydraulic impact. The model for wood impregnation comprises impregnation tank with liquid and pressure node for impregnation liquid. The pressure node is a pressure tank with up- and low-level sensors. The pressure tank is connected to a pressure tank of acceleration pipe, with a piece of wood placed in the dead end, and with a locking device in its output end, which is automatically connected with the up- and low-level sensors. The design of the experimental unit is considered. The number of cycles increasing the pressure required to achieve the depth of impregnation depending on the pressure increase under hydraulic shock and the humidity of the workpiece is defined. The dependence for the depth of impregnation and the number of cycles increasing the pressure when varying the moisture content of the material or increasing the pressure. It is shown that the depth of impregnation increases monotonically with a number of cycles increase the pressure.

Key words: wood impregnation; hydraulic impact; number of impregnation cycles; wood moisture content; energy consumption for impregnation.

Введение. Во всех субъектах России, имеющих значимую долю лесопромышленного комплекса в экономике, наблюдаются деструктивные процессы в таксационных характеристиках древостоев, заключающиеся в накоплении низкотоварной древесины, которая существенно снижает эффективность лесопользования и увеличивает пожарную и фитопатологическую опасность лесов [1]. С точки зрения экологической эффек-

тивности лесозаготовительного производства применение передовых способов заготовки и обработки низкотоварной древесины для выпуска полуфабрикатов или готовой продукции позволяет существенно улучшить качество процесса лесопользования [2; 3].

Одним из наиболее перспективных способов получения из низкотоварной древесины готовой продукции

является ее пропитка с последующей сушкой и уплотнением [4; 5].

Для повышения эффективности процессов модификации древесины важное значение имеет качество пропитки модифицируемой древесины [6; 7].

Для повышения производительности и уменьшения энергоемкости пропиточных установок были разработаны оригинальные технические решения [8; 9], основанные на использовании эффекта пьезопериодического поля. Для определения их параметров и показателей работы составлены математические модели [10; 11].

Степень адекватности разработанных математических моделей и эффективность технических решений были оценены в ходе лабораторных экспериментальных исследований.

Методика проведения исследований. Для проведения экспериментальных исследований пропитки древесины жидкостью за счет избыточного давления, возникающего при гидравлическом ударе, создана экспериментальная установка (рис. 1).

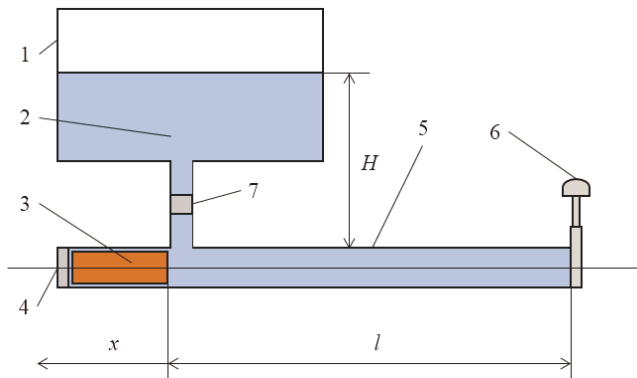


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования пропитки древесины за счет давления, возникающего при гидравлическом ударе: 1 — бак с пропиточной жидкостью; 2 — пропиточная жидкость; 3 — образец древесины; 4 — крышка-демпфер; 5 — трубопровод; 6 — ударный клапан; 7 — затворный клапан

Установка состоит из бака 1 с пропиточной жидкостью 2, соединенного при помощи трубы с трубопроводом 5, в котором размещены исследуемый образец 3 и амортизатор 4. Гидравлический удар осуществляется при закрытии ударного клапана 6.

Экспериментальная установка работает следующим образом. При закрытом затворном клапане 7 бак 1 наполняется пропиточной жидкостью 2 до определенного уровня H . Напор пропиточной жидкости регулируется за счет изменения уровня H , длина трубопровода l остается постоянной (2 м). До начала опытов экспериментальный образец 3 размещается в аппендиксе трубопровода 5. Далее открывается затворный клапан 7, и пропиточная жидкость начинает истекать в бассейн (на рис. 1 не показан). Когда поток жидкости приобретает постоянную скорость, происходит резкое закрытие ударного клапана 6, в результате чего и происходит резкое повышение давления пропиточной жидкости в трубопроводе, распространяющееся вдоль него, от ударного клапана 6 к аппендиксу с образцом 3 и крышке-амортизатору 4.

После однократного повышения давления клапан закрывается, пропиточная жидкость доливается до нужного уровня, и цикл пропитки повторяется аналогичным образом.

Повышение давления, отмечающееся при гидравлическом ударе, определяли расчетным путем следующим образом. Известно, что скорость распространения волны гидравлического удара находится по формуле:

$$a = \frac{a_0}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta} \cdot \frac{K}{E}}}, \quad (1)$$

где a — скорость распространения удара, $м/с$; a_0 — скорость распространения звуковых волн в неограниченной жидкой среде, $м/с$; d — внутренний диаметр трубопровода, $м$; δ — толщина стенок трубопровода, $м$; K — модуль упругости жидкости, $Па$; E — модуль упругости материала стенок трубопровода, $Па$.

Повышение давления в жидкости при гидроударе находится по формуле:

$$\Delta P = \rho a \Delta v, \quad (2)$$

где ΔP — повышение давления, $Па$; ρ — плотность жидкости, $кг/м^3$; Δv — уменьшение скорости жидкости в трубопроводе, вызывающее гидроудар, $м/с$.

При открытии клапана жидкость начинает истекать из отверстия, при этом для достижения установившейся скорости истечения требуется определенное время. В этом случае для определения скорости жидкости в трубопроводе в зависимости от времени используют следующее выражение:

$$v = \tanh\left(\frac{t_1}{\tau}\right) \cdot \sqrt{\frac{2gH}{1 + \zeta_C}}, \quad (3)$$

где t_1 — время, прошедшее с начала открытия клапана, $с$; τ — время, в течение которого устанавливается скорость жидкости, $с$; g — ускорение свободного падения, $м/с^2$; H — напор жидкости, $м$; ζ_C — безразмерный коэффициент, учитывающий шероховатость трубы (коэффициент сопротивления).

Для определения времени τ известна следующая формула:

$$\tau = \frac{l}{\sqrt{2gH(1 + \zeta_C)}}, \quad (4)$$

где l — длина трубопровода, $м$.

Изменение скорости истечения жидкости определяется по формуле:

$$\Delta v = \frac{v}{T}, \quad (5)$$

где T — время полного закрытия клапана, $с$.

Тогда после подстановки формул (1) и (5), с учетом формул (3) и (4), в выражение для повышения давления (2) получим:

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot a_0}{T} \tanh\left(\frac{t_1 \sqrt{2gH(1 + \zeta_C)}}{l}\right) \cdot \sqrt{\frac{2gH\delta E}{(1 + \zeta_C)(\delta E + d \cdot K)}}. \quad (6)$$

Характеристики установки, необходимые для расчетов по формуле (6), следующие: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $a_0 = 1\,425 \text{ м/с}$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $\zeta_c = 0,01$, $l = 2 \text{ м}$, $\delta = 0,005 \text{ м}$, $d = 0,05 \text{ м}$, $E = 2 \cdot 10^8 \text{ Па}$, $K = 2,1 \cdot 10^7 \text{ Па}$, $T = 0,5 \text{ с}$, $t_1 = 5,5 \text{ с}$.

Образцы для проведения опытов изготавливались из тонкомерных сортиментов березы, осины и ольхи. Сечение образцов квадратное, $25 \times 25 \text{ мм}$, длина — 300 мм . Для проведения опытов подбирались образцы без явных, видимых глазу дефектов в виде трещин, сучков и гнили. Влажность образцов варьировалась: использованы образцы естественной влажности (абсолютная влажность $70\text{--}75 \%$), подсушенные ($35\text{--}40 \%$) и сухие ($10\text{--}12 \%$). Пропитка образцов проводилась водным раствором пирокатехина фиолетового (краситель), температура раствора составляла $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Перед началом опытов каждый образец взвешивался на лабораторных электронных весах с точностью до $0,01 \text{ г}$. Затем производилась пропитка, после каждого пяти циклов повышения давления за счет гидроудара образец извлекался и снова взвешивался. После 25 циклов повышения давления каждый образец раскалывали и измеряли глубину пропитки (расстояние от ближнего к ударному клапану торца до границы пропитанной области, которую отчерчивали по приложенному перпендикулярно к боковой поверхности образца угольнику по визуально интенсивно окрашенной поверхности) при помощи линейки с точностью до 1 мм .

Далее испытанные образцы высушивали в муфельной печи до достижения постоянной массы (не менее 24 ч), после чего вновь проводили взвешивание с целью определить массу древесинного вещества.

При допущении о равномерности распределения порового пространства по длине образцов с использованием данных о конечном положении границы пропитанной области (определялось экспериментально) и результатов измерения прироста массы образцов рассчитывали глубину проникновения пропиточной жидкости в образец в зависимости от числа циклов повышения давления, влажности образцов и величины избыточного давления, возникавшего за счет гидроудара.

При исследовании глубины пропитки древесины гидроударом проводились активные полные факторные эксперименты. Перед составлением регрессионных моделей проводили проверку результатов наблюдений на наличие аномальных значений.

Результаты исследований. Результаты обработки данных экспериментальных исследований позволяют заключить, что для всех пород дисперсии глубины

пропитки в опытах были однородны, поскольку расчетные значения критерия Кохрена ($0,1417$ для опытов по пропитке древесины березы, $0,1665$ — осины и $0,1143$ — ольхи) меньше критических табличных значений ($0,3333$ при двух повторных наблюдениях, 45-ти выборках и уровне значимости $q = 0,05$, что дает доверительную вероятность 95%). Таким образом, опыты признаны воспроизводимыми.

Регрессионные зависимости, полученные при помощи метода наименьших квадратов, представлены формулами (7)–(9). Для пропитки древесины березы зависимость глубины пропитки ΔL , мм, от числа ударов N , максимального повышения давления при гидроударе ΔP , МПа, и начальной влажности заготовки W , %, следующая:

$$\begin{aligned} \Delta L = & -0,0424 N^2 + 0,00203 N \Delta P + 0,0203 N W - \\ & - 193 \Delta P^2 + 0,15 \Delta P W - 0,0424 W^2 + \\ & + 6,57 N + 2642 \Delta P + 3,29 W - 535 \end{aligned} \quad (7)$$

Для древесины осины:

$$\begin{aligned} \Delta L = & -0,051 N^2 + 0,0305 N \Delta P + 0,0305 N W - \\ & - 217 \Delta P^2 + 0,00667 \Delta P W - 0,051 W^2 + \\ & + 6,95 N + 722 \Delta P + 4,07 W - 600 \end{aligned} \quad (8)$$

Для древесины ольхи:

$$\begin{aligned} \Delta L = & -0,049 N^2 + 0,0183 N \Delta P + 0,0183 N W - \\ & - 247 \Delta P^2 + 0,00667 \Delta P W - 0,049 W^2 + \\ & + 7,84 N + 815 \Delta P + 4,07 W - 674 \end{aligned} \quad (9)$$

После исключения незначимых факторов и повторного расчета при помощи метода наименьших квадратов получены следующие регрессионные модели для пропитки древесины березы, осины и ольхи соответственно:

$$\begin{aligned} \Delta L = & -0,151 N^2 + 0,0191 N W - 193 P^2 - 0,0414 W^2 + \\ & + 9,9 N + 648 P + 3,45 W - 563 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Delta L = & -0,239 N^2 + 0,0296 N W - 217 P^2 - 0,0491 W^2 + \\ & + 12,7 N + 723 P + 3,95 W - 633 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Delta L = & -0,225 N^2 + 0,017 N W - 247 P^2 - 0,0473 W^2 + \\ & + 13,2 N + 816 P + 3,96 W - 705 \end{aligned} \quad (12)$$

Сведения об адекватности полученных регрессионных моделей и значения коэффициентов детерминации разработанных моделей представлены в табл. 1.

Результаты проверки адекватности моделей (10)–(12)

Порода древесины	Дисперсия воспроизводимости $S^2_{\text{восп}}$	Дисперсия адекватности $S^2_{\text{адекв}}$	Расчетное значение критерия Фишера $F_{\text{расч}}$	Табличное значение критерия Фишера $F_{\text{табл}}$	Коэффициент детерминации R^2
Береза	4 102,1	1 239,1	0,3021	1,6142	0,9153
Осина	4 927,9	1 469,0	0,2981	1,6142	0,9232
Ольха	5 573,9	2 017,6	0,3620	1,6142	0,9068

Сопоставление расчетных значений критерия Фишера с критическими табличными значениями показывает, что все три модели адекватны, поскольку расчетные значения критерия Фишера (0,3021 для модели пропитки древесины березы, 0,2981 — осины и 0,3620 — ольхи) меньше критических табличных значений (1,6142 при числе степеней свободы для дисперсии воспроизводимости, равном 45, для дисперсии адекватности равным 37 и уровне значимости $q = 0,05$, что дает оценку доверительной вероятности 95 %). Высокие значения коэффициентов детерминации моделей (0,9153 для модели пропитки древесины березы, 0,9232 — осины и 0,9068 — ольхи) позволяют говорить об удовлетворительной сходимости данных эксперимента и расчетных данных по полученным моделям.

Установлены оптимальные режимы пропитки заготовок. Для этого найдены точки условного минимума функций глубины пропитки по уравнениям (10)–(12) при ограничениях $N = 1 \div 25$, $P = 1 \div 2$ МПа, $W = 10 \div 70$ %. Результаты расчетов с использованием метода неопределенных множителей Лагранжа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оптимальные режимы пропитки древесины гидроударом

Порода древесины	ΔL , мм	N	ΔP , МПа	W , %
Береза	227	25	1,68	47,43
Осина	249	25	1,67	47,76
Ольха	260	25	1,65	46,35

Согласно данным табл. 2 наилучшие показатели пропитки достигаются при повышении давления на 1,65–1,68 МПа при начальной влажности заготовок 46,35–47,76 %, при количестве циклов 25, равном верхней границе поиска точки оптимума. Отметим, что в этой области значений N глубина пропитки монотонно возрастает с увеличением числа циклов. Анализ результатов расчетов в меньших диапазонах N показал, что оптимальные значения ΔP и W практически не изменяются и находятся в пределах 1,6–1,7 МПа и 46–48 % соответственно.

На рис. 2 – 4 в виде графиков представлено число циклов повышения давления N , необходимое для достижения глубины пропитки ΔL 200 мм для исследуемых пород древесины в зависимости от величины повышения давления при гидравлическом ударе ΔP и влажности заготовок W .

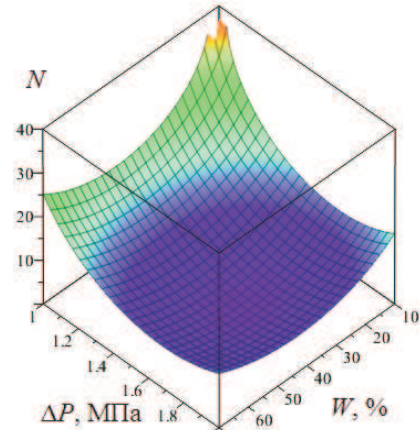


Рис. 2. Число циклов повышения давления в зависимости от влажности заготовки (береза, пропитка на 200 мм)

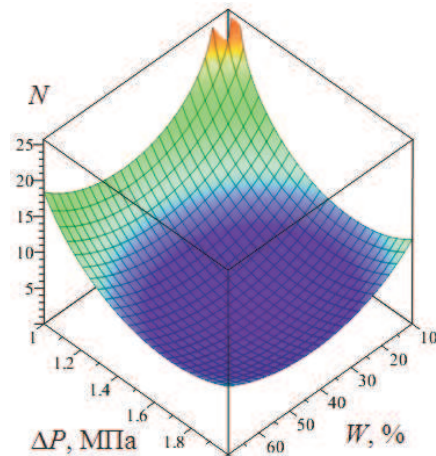


Рис. 3. Число циклов повышения давления в зависимости от влажности заготовки (осина, пропитка на 200 мм)

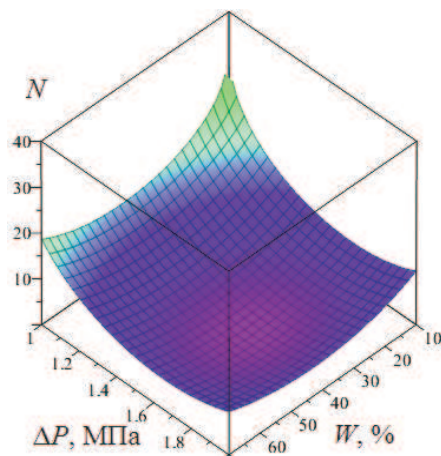


Рис. 4. Число циклов повышения давления в зависимости от влажности заготовки (ольха, пропитка на 200 мм)

На рис. 5 – 7 представлена зависимость глубины пропитки от количества циклов повышения давления при варьировании влажности заготовок.

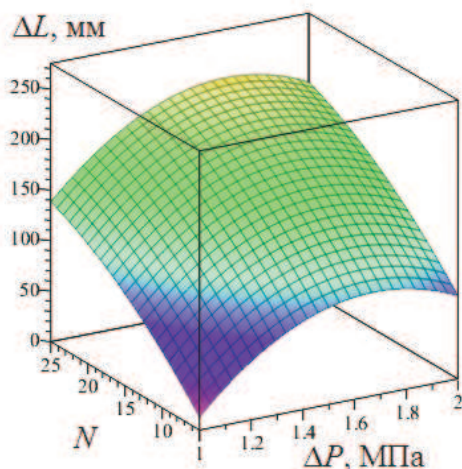


Рис. 5. Глубина пропитки заготовки в зависимости от параметров процесса (береза, $W = 47\%$)

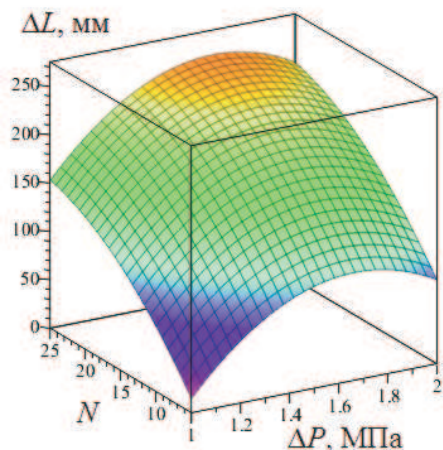


Рис. 6. Глубина пропитки заготовки в зависимости от параметров процесса (осина, $W = 47\%$)

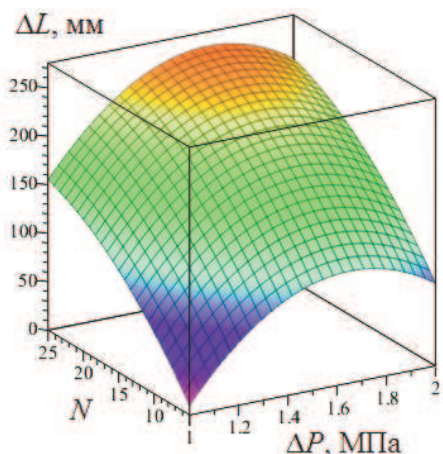


Рис. 7. Глубина пропитки заготовки в зависимости от параметров процесса (ольха, $W = 47\%$)

На рис. 8 показана зависимость глубины пропитки от количества циклов повышения давления при оптимальных параметрах процесса пропитки гидроударом.

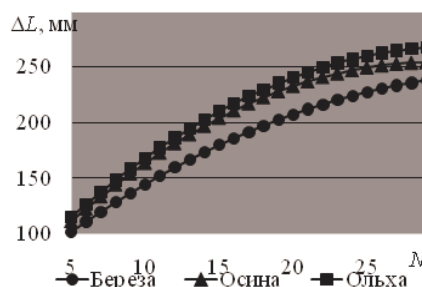


Рис. 8. Глубина пропитки в зависимости от количества циклов повышения давления при оптимальных параметрах процесса

Выводы

1. Экспериментальные исследования показали высокую эффективность разработанной технологии и технических решений для пропитки древесины при помощи гидроудара, а также удовлетворительную сходимость теоретических и экспериментальных результатов.

2. Разработанные технические решения позволяют снизить трудоемкость и энергоемкость модификации древесины мягких лиственных пород пропиткой жидкостями и растворами с различными свойствами.

3. Применение разработанных устройств может позволить осуществлять защитную пропитку древесины биологически активными растворами, содержащими бактериофаги как ингибиторы роста патогенной микрофлоры, которые могут быть использованы для сохранения древесины от грибных поражений [12; 13].

Литература

1. Куницкая О.А. Обоснование направлений диверсификации обработки низкотоварной древесины на комплексных лесопромышленных предприятиях с использованием инновационных технологий: моногр. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 250 с.
2. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Куницкая О.А. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. КрасГАУ, 2012. № 6. С. 72-77.
3. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Перспективы увеличения объемов лесозексплуатации за счет низкотоварной древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам междунар. заоч. научно-практ. конф. Воронеж, 2014. Т. 2. С. 104-107.
4. Куницкая О.А., Шапиро В.Я., Бурмистрова С.С., Григорьев И.В. Определение оптимальных параметров процесса прессования и обезвоживания пропитанных древесных материалов // Вестн. Моск. гос. ун-та леса - Лесной Вестник. 2012. № 4. С. 110-115.
5. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Расчет деформационных свойств древесины // Воронежский научно-технический вестник. 2014. № 4. С. 84-88.
6. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Оптимизация процесса модифицирования древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам междунар. заоч. научно-практ. конф. Воронеж, 2014. Т. 2. С. 375-378.
7. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Новые материалы из низкотоварной древесины и изделия из них // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и прак-

тика: сб. науч. тр. по материалам междунар. заоч. научно-практ. конф. Воронеж, 2014. Т. 2. С. 22–26.

8. Куницкая О.А., Ржавцев А.А., Григорьев И.В., Соколова В.А. Устройство для пропитки деревянных заготовок: пат. 91927. Рос. Федерация; опубл. 10.3.2010.

9. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С., Тихонов И.И., Григорьев И.В. Устройство для пропитки древесины: пат. 119283 Рос. Федерация; опубл. 20.8.2012.

10. Куницкая О.А., Базаров С.М., Ржавцев А.А., Григорьев И.В. Конструкция и теория расчета установки для пропитки древесины вязкотекучими компонентами в пьезоударном поле // Справочник. Инженерный журнал. 2011. № 1. С. 41-44.

11. Куницкая О.А. Моделирование различных способов пропитки древесины полимерами // Вестн. Моск. гос. ун-та леса - Лесной вестник. 2011. № 3. С. 131-135.

12. Куницкая О.А. Биотехнологический способ защиты древесины от грибных поражений // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам междунар. заоч. научно-практ. конф. Воронеж, 2014. Т. 2. С. 440-444.

13. Куницкая О.А. Особенности биоповреждений древесины и способы её защиты // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: сб. науч. ст. СПб., 2008. Вып. 2. С. 41-46.

References

1. Kunitskaya O.A. Justification of the directions of diversification of processing of low-commodity wood at the complex timber industry enterprises with use of innovative technologies: monogr. SPb.: SPbGLTU, 2015. 250 p.

2. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Kunitskaya O.A. Justification of methodology for assessing the environmental efficiency of forest management // The Bulletin of KrasGAU. 2012. № 6. P. 72-77.

3. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. Prospects for increasing the volume of forest exploitation by timber low-commodity wood // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. zaoch. nauchno-prakt. konf. Voronezh, 2014. T. 2. P. 104-107.

4. Kunitskaya O.A., Shapiro V.Ya., Burmistrova S.S., Grigor'ev I.V. Determination of the optimal parameters of the process of pressing and dehydration impregnated wood materials // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2012. № 4. P. 110-115.

5. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. Calculation of deformation properties of wood // Voronezhskii nauchno-tekhnicheskii vestnik. 2014. № 4. P. 84-88.

6. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. Optimization of the process of modifying wood // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. zaoch. nauchno-prakt. konf. Voronezh, 2014. T. 2. P. 375-378.

7. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. New from low-commodity wood and products made of them // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. zaoch. nauchno-prakt. konf. Voronezh, 2014. T. 2. P. 22-26.

8. Kunitskaya O.A., Rzhavtsev A.A., Grigor'ev I.V., Sokolova V.A. Device for impregnating wooden blanks: pat. 91927. Ros. Federatsiya; opubl. 10.3.2010.

9. Kunitskaya O.A., Burmistrova S.S., Tikhonov I.I., Grigor'ev I.V. Wood treatment device: pat. 119283 Ros. Federatsiya; opubl. 20.8.2012.

10. Kunitskaya O.A., Bazarov S.M., Rzhavtsev A.A., Grigor'ev I.V. Design and the theory of calculation of installation for wood impregnation by viscous-flow components in a piezoimpact field // Handbook. An Engineering Journal. 2011. № 1. P. 41-44.

11. Kunitskaya O.A. Simulation of different ways to impregnate the wood with polymers // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2011. № 3. P. 131-135.

12. Kunitskaya O.A. Biotechnological way to protect the wood from fungal lesions // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. zaoch. nauchno-prakt. konf. Voronezh, 2014. T. 2. P. 440-444.

13. Kunitskaya O.A. Features biodeteriorations of wood and ways to protect // Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennogo kompleksa: sb. nauch. st. SPb., 2008. Vyp. 2. P. 41-46.