

УДК 674.812.06.02

**В.А. Шамаев, В.В. Златоустовская, А.С. Копытин**

Воронежская государственная лесотехническая академия

Шамаев Владимир Александрович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Воронежский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 1100 печатных трудов в области древесиноведения и модифицирования древесины.  
Тел.: (4732) 53-67-22



Златоустовская Вероника Витальевна родилась в 1986 г., окончила в 2008 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры древесиноведения ВГЛТА.  
Тел.: 8-951-540-13-25

Копытин Александр Сергеевич родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры древесиноведения ВГЛТА.  
Тел.: (4732) 53-67-22

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ФОРМ И РАЗМЕРОВ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Установлено положительное влияние физических методов (воздействие низких температур и импульсного магнитного поля) на стабилизацию форм и размеров прессованной древесины.

*Ключевые слова:* древесина, модифицирование, стабилизация, физические способы.

Стабилизация форм и размеров прессованной древесины может осуществляться не только химическими, но и физическими методами, например совокупным воздействием низких температур и импульсного магнитного поля (ИМП) [1 – 6].

Суть гипотезы заключается в том, что криогенная обработка увеличивает жесткость древесного скелета за счет образования новых физических связей (например, ван-дер-ваальсовых). При нагревании такой древесины в поле слабых ИМП эти связи не только не исчезают, но и усиливаются, переходя в межмолекулярные (водородные). Сетка таких связей должна повысить гидрофобность обработанной древесины в воде и сделать ее гидрофобной по отношению к влаге воздуха.

Для опытов использовали древесину березы и ольхи, заготовленных в Рамонском лесничестве Воронежского лесхоза. Плотность древесины березы составляла  $620 \text{ кг/м}^3$ , ольхи –  $500 \text{ кг/м}^3$ . Заготовки размером  $66 \times 65 \times 100 \text{ мм}$  (здесь и далее последняя цифра – размер вдоль волокон) высушивали до постоянной массы при температуре  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  и уменьшали сечение до  $60 \times 60 \text{ мм}$ . Образец помещали в пресс-форму одноосного сжатия, исключаящую поперечное деформирование, и уплотняли на машине УМ-5А в радиальном направлении до степени 40 % при температуре 20 и  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . С торца образца крепили ультразвуковую головку диаметром 30 мм. Источником ультразвука являлся генератор (частота 21 кГц, мощность 0,8 кВт). Время обработки

составляло 6 мин, скорость прессования – 4 мм/мин. После фиксации пресс-форму помещали в сушильный шкаф и выдерживали при температуре 140 °С в течение 3 ч для релаксации напряжений. После охлаждения образец извлекали из пресс-формы, погружали в жидкий азот на 3 мин и обрабатывали ИМП сериями от 1500 до 3000 симметричных магнитных импульсов (длительность 10 мкс, амплитуда  $B_0 = 0,3$  Тл, частота следования 10 мс) в течение 60 с. ИМП создавали периодическим разрядом батарей конденсаторов через низкоиндуктивной соленоид и контролировали по току заряда в его цепи и напряжению индукции на тестовой катушке индуктивности с соблюдением условия  $\mu_v B \ll KT$  ( $\mu_v$  – магнетон Бора,  $B$  – индукция магнитного поля,  $K$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абс. температура).

Из обработанных и контрольных образцов нарезали малые образцы размером 15×15×22,5 мм, которые испытывали на водо- и влагопоглощение и линейное разбухание в радиальном направлении, т.е. в направлении прессования. Разбухание в тангенциальном направлении при определении влагопоглощения во всех случаях не превышало 0,5 %, водопоглощения – 1,5 %. После испытаний в течение 30 сут малые образцы высушивали при температуре 105 °С до постоянной массы и измеряли их распрессовку, т.е. процентное отношение размера образца после разбухания и сушки к его размеру до разбухания.

На рис. 1 приведены результаты последовательной обработки прессованной древесины жидким азотом и слабым ИМП.

Как видно из рис. 1, а, период активного разбухания прессованной древесины 20 сут. За это время разбухание необработанной древесины составляет 60 %, обработанной ИМП – 50 %, обработанной жидким азотом и ИМП – 40 %. Оценка разбухания за 15 сут показала, что это соотношение будет 40:33:9, а за 10 сут – 35:30:5. Разбухание необработанной и обработанной жидким азотом и ИМП древесины за 15 сут отличалось в 4,5 раза, за 10 сут – в 7 раз. Этот факт говорит о том, что вновь созданные замороженные водородные

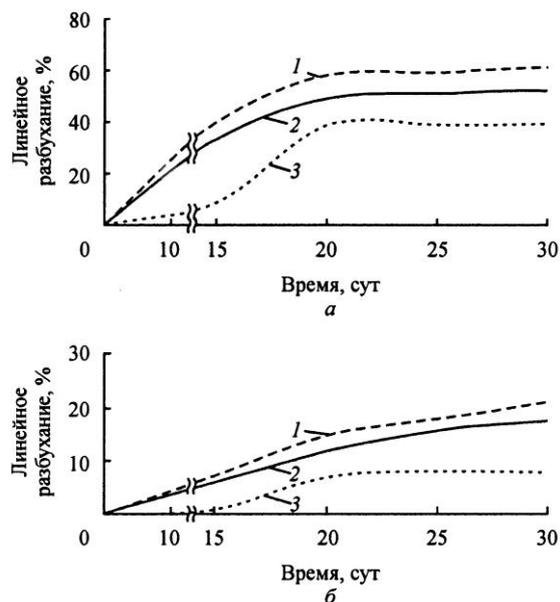


Рис. 1. Зависимость линейного разбухания в направлении прессования модифицированной древесины при водо- (а) и влагопоглощении (б) от времени: 1 – необработанная древесина; 2 – обработка ИМП; 3 – обработка жидким азотом и ИМП

связи в течение 10...15 сут воздействия воды медленно разрывались и лишь после 15 сут кривая разбухания приобрела обычный вид. При этом около половины новых связей сохранилось, о чем свидетельствует величина предельного разбухания 40 %.

Таким образом, гипотеза об образовании водородных связей после обработки жидким азотом и ИМП находит подтверждение. Свидетельством этому служит картина объемного разбухания прессованной древесины при влагопоглощении (рис. 2).

Пары воды обладают более слабым расклинивающим воздействием на микрофибриллы древесины, поэтому разбухание при влагопоглощении примерно в 3 раза меньше, чем при водопоглощении. И здесь наблюдается картина, когда разбухание прессованной древесины, обработанной жидким азотом и ИМП, практически отсутствует в первые 15 сут воздействия, а в пределе не превышает 8 %, т.е. в 3 раза меньше, чем для необработанной древесины. При этом в древесине не происходит химических превращений, о чем говорит неизменность сорбционных свойств прессованной древесины после обработки жидким азотом и ИМП (рис. 2, а и б).

Важной характеристикой стабильности прессованной древесины является распрессовка (остаточный объем), т.е. способность возвращаться к первоначальным размерам после воздействия и удаления воды (табл. 1).

Как видно из табл. 1, распрессовка полностью отсутствует у древесины, обработанной жидким азотом и ИМП.

Таблица 1

**Распрессовка образцов после разбухания и высушивания до постоянной массы**

Обработка	Остаточный объем, % к первоначальному объему древесины после воздействия воды и сушки	
	Влагопоглощение	Водопоглощение
Необработанная древесина	12,9	51,6
ИМП	0,8	8,0
Жидкий азот и ИМП	0,0	0,0

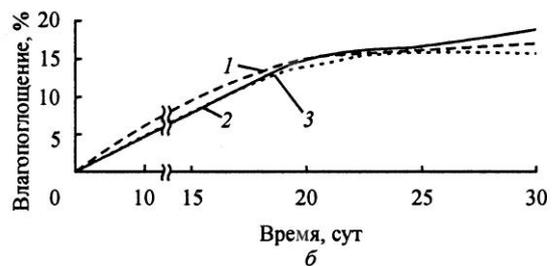
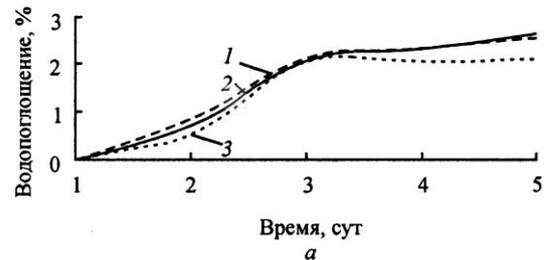


Рис. 2. Зависимость водо- (а) и влагопоглощения (б) модифицированной древесины от времени: 1 – необработанная древесина; 2 – обработка ИМП; 3 – обработка жидким азотом

Таким образом, замораживание прессованной древесины жидким азотом с последующей обработкой слабым ИМП позволяет повысить ее формостабильность в среде с переменной влажностью до уровня формоизменяемости натуральной древесины.

Сходные результаты получены после обработки древесины сильным ультразвуковым воздействием, которое используют при получении крупногабаритных изделий, например железнодорожных шпал.

Обработка древесины ультразвуком при мягких режимах (частота 21 кГц, мощность 0,3 кВт) увеличивает ее проницаемость [2]. Обработка ультразвуком при жестких режимах (частота 20 кГц, мощность 4,0 кВт) древесины шпал приводит к расплавлению ее отдельных компонентов (гемицеллюлоз и части лигнина в срединной пластинке) и снижению прочности древесины. В результате воздействия ультразвука (удельная мощность 0,4 кВт/см<sup>2</sup>) происходит сшивка и появление новых трехмерных структур, но уже не за счет внешних химических реагентов, а за счет компонентов самой древесины. Для исключения снижения прочности древесины при обработке воздействие ультразвуком делают импульсным, чередуя импульсы воздействия и паузы. Длительность импульса ультразвука должна составлять 2,5 мин, чтобы все легкоплавкие компоненты древесины успели расплавиться, но не превышать 3,0 мин, после чего снижается прочность древесины за счет деструкции целлюлозного скелета. Длительность паузы менее 6,0 мин нецелесообразна, так как древесина после разогрева ультразвуком продолжает по инерции саморазогреваться (эффект термоинерции); длительность паузы более 6,5 мин ведет к стеклованию реакционной массы и необходимости увеличения продолжительности воздействия ультразвука.

Эксперимент осуществляют следующим образом. Сырые заготовки мягких лиственных и хвойных пород размером 250×250×2750 мм помещают в сушильно-пропиточную ванну с механическим давлением и закачивают горячий антисептик, например каменноугольное масло. В течение 6 ч температуру масла поддерживают в пределах 90...100 °С, механическое давление – 0,8...1,2 МПа. Одновременно с сушкой, пропиткой и прессованием во время всего процесса древесину обрабатывают ультразвуковым полем (частота 20 кГц, мощность 4,0 кВт) с чередованием воздействия импульса ультразвука (длительность 2,5...3,0 мин) и паузы (6,0...6,5 мин). В результате воздействия ультразвука прессованная древесина приобретает гидрофобные свойства, при этом ее разбухание в воде не превышает 12,0 %.

Показатели физико-механических свойств модифицированной древесины приведены ниже.

Плотность.....	800,0 кг/м <sup>3</sup>
Влажность.....	20,0 %
Предел прочности при сжатии вдоль волокон.....	90,3 МПа
Предельное объемное разбухание при влагопоглощении..	8,0 %
« « « при водопоглощении...	12,1 %

Аналогичные результаты были получены при стабилизации древесины карбамидоформальдегидным олигомером (КФК) [4], но с добавкой отвердителя – карбамидоформальдегидной смолы марки ПКП-52 (ТУ 2223-255-00203447–98) в количестве 21...25 % от массы КФК. Причем перед термообработкой на древесину в течение 30 с воздействовали ИМП (амплитуда 0,5 Тл, частота следования импульсов 50 Гц, длительность треугольных импульсов по основанию 50 мс). Таким образом, нами был реализован случай физико-химического воздействия на древесину.

Добавление к пропиточному раствору отвердителя в указанном количестве и выдерживание режима обработки ИМП при указанных параметрах в совокупности обеспечивают получение модифицированной древесины плотностью 800...1100 кг/м<sup>3</sup> и максимальным объемным разбуханием в воде 7...9 %, т.е. почти в 2 раза меньше, чем при модифицировании чистым КФК.

Введение отвердителя ускоряет процесс полимеризации олигомера и увеличивает степень сшивки полимера с древесиной. За счет этого повышается формостабильность модифицированной древесины. При этом эмиссия формальдегида остается в пределах ПДК (класс ЕО).

Дополнительное воздействие ИМП с указанными параметрами на полимер-модификатор делает этот процесс необратимым. Следовательно, древесина, модифицированная по предлагаемому способу, не теряет стабильность своих свойств даже при длительном и циклическом воздействии влажности и температуры.

Термообработка при температуре 140...160 °С дополнительно ускоряет процесс полимеризации, что снижает энергозатраты и повышает степень полимеризации с улучшением формостабильности продукта.

На рис. 3 приведены зависимости объемного разбухания в воде древесины, модифицированной известным (кривая 1) и предложенным (2) способами.

В ходе эксперимента 30...40 %-й водный раствор карбамида, в который добавляли форконденсат карбамидоформальдегидного олигомера (КФО) в количестве 10...12 % от массы сухого карбамида, а также карбамидоформальдегидную смолу (отвердитель) марки ПКП-52 в количестве 21...25 % от массы КФО. Заготовки из древесины пропитывали полученным раствором с торца под давлением 0,4...0,5 МПа. После пропитки в указанном режиме содержание карбамида от массы сухой древесины составляло 15...20 %. Далее заготовки сушили при температуре 90 °С до влажности 10...15 %, после чего их спрессовывали поперек волокон под механическим

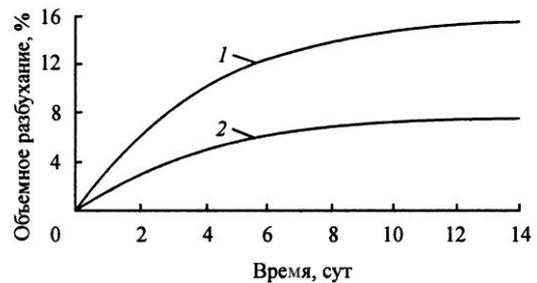


Рис. 3. Изменение объемного разбухания древесины, модифицированной КФК (1) и КФК с отвердителем (2)

Таблица 2

**Свойства древесины, модифицированной согласно [4] и предложенным способом**

Условия получения и характеристики материала	Древесина без обработки	Древесина, обработанная ИМП с отвердителем
Содержание отвердителя, %	–	10...12
Амплитуда ИМП, Тл	–	0,5
Объемное разбухание за 14 сут в воде, %	14...18	7...9
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	90	135
Содержание продукта полимеризации КФО, %	3	5
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	900	900
Влажность, %	4	4

давлением 0,6...1,0 МПа до степени прессования 30 % и сушили в пресс-форме до влажности 4...5 %. После этого прессованную древесину обрабатывали в течение 30 с ИМП (амплитуда 0,5 Тл, частота следования импульсов 50 Гц, длительность треугольных импульсов по основанию 30 мкс). После этого проводили термообработку при температуре 140...160 °С. В результате получали модифицированную древесину плотностью 800...1100 кг/м<sup>3</sup>, имеющую максимальное объемное разбухание в воде 7...9 %, т.е. в 2 раза меньше, чем у прототипа (рис. 3). Кроме того, прочность полученной древесины на 50 % выше, чем у древесины, обработанной по патенту [4] (табл. 2).

*Выводы*

1. Подтверждена гипотеза стабилизации форм и размеров прессованной древесины замораживанием с последующим воздействием ИМП.
2. Сочетание физического и химического способов стабилизации позволяет получить материал, имеющий максимальное (до 8...9 %) объемное разбухание в воде.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздействие слабых импульсных полей на модифицированную древесину [Текст]/ В.В. Постников, М.Н. Левин, Р.В. Скориданов [и др.] // Письма в ЖТК. – 2005. – Т. 31, вып.9. – С. 14–19.
2. Коновалова, Н.Н. Установление оптимальных режимов комбинированной обработки древесины дуба ультразвуком и теплом для ускорения созревания коньячных спиртов при их резервуарной выдержке [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.Н. Коновалова. – М.: МГУ, 2004. – 28 с.
3. Пат. 2131351 РФ, МПК В 27 К 3/50. Способ получения модифицированной древесины [Текст]/ Ткаченко В.И., Канцелярист Д.В., Шамаев В.А. [и др]. – Заявл. 19.11.97, опубл. 10.06.99, Бюл. № 18.
4. Пат. 2229377 РФ, МПК В 27 К 3/50. Способ получения модифицированной древесины [Текст] / Шамаев В.А., Лихачева Л.Б., Сафронов Н.Г. – Заявл. 06.12.2001; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 15.

---

5. *Шамаев, В.А.* Модифицирование древесины : учеб. пособие [Текст]/ В.А. Шамаев. – Воронеж: ВГЛТА, 2006. – 385 с.

6. *Шамаев, В.А.* Химико-механическое модифицирование древесины [Текст] / В.А. Шамаев. – Воронеж: ВГЛТА, 2003 – 260 с.

Поступила 07.12.09

*V.A. Shamaev, V.V. Zlatoustovskaya, A.S. Kopytin*  
Voronezh State Forestry Engineering Academy

### **Form Stabilization and Pressed Wood Dimensions by Physical Methods**

The positive influence of physical methods (low temperatures and pulsed magnetic field) on form stabilization and pressed wood dimensions is established.

Keywords: wood, modification, stabilization, physical methods.

---