

УДК 674.048.5

**И.В. Григорьев, О.А. Куницкая, Г.В. Григорьев, Г.Ю. Есин**

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

Григорьев Игорь Владиславович родился в 1973 г., окончил в 1996 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ.

E-mail: silver73@inbox.ru



Куницкая Ольга Анатольевна окончила в 1996 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ.

E-mail: ola.ola07@mail.ru



Григорьев Глеб Владимирович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, доцент кафедры водного транспорта леса и гидравлики СПбГЛТУ.

E-mail: vtl@mail.ru.



Есин Григорий Юрьевич родился в 1987 г., окончил в 2010 г. С.-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ.

E-mail: tlzp@inbox.ru



## **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Проведены экспериментальные исследования центробежной пропитки образцов древесины различных пород. Получена зависимость положения фронта пропитки от времени (скорости пропитки) при различных угловых скоростях платформы центрифуги. Установлено влияние отношения длины сортамента к радиусу платформы центрифуги за время пропитки.

*Ключевые слова:* центробежная пропитка, роторное оборудование, скорость пропитки.

Одним из наиболее распространенных способов модификации древесины в целях повышения ее эксплуатационных свойств (био- и огнестойкость) является пропитка древесины водными растворами различных солей. В настоящее время активно ведутся исследования по использованию для пропитки древесины синтетических и природных полимеров. Известны различные способы пропитки: вымачивание древесины, пропитка в барокамерах, пропитка древесины в пьезопериодическом поле в режиме «вакуум – давление – вакуум – давление», автоклавный способ пропитки по методу «давление – сброс – давление», пропитка на центробежных установках [2, 3]. Центробежный способ апробирован и дает при обработке древесины хорошие результаты [1]. Этот способ обеспечивает равномерную сквозную пропитку, что позволяет в дальнейшем проводить механическую обработку пропитанных заготовок.

Однако, несмотря на значительный объем проведенных исследований, центробежная пропитка древесины исследована недостаточно. Чтобы применить на практике существующие модели центробежной пропитки, требуются дополнительные экспериментальные данные. Отсутствуют методика и сравнительно простые зависимости, позволяющие на практике определять рациональные режимы работы центрифуг для пропитки при варьировании длины и породы обрабатываемых сортиментов. Все это сдерживает развитие технологии модификации древесины путем пропитки и ограничивает практическое применение данного способа.

Целью наших исследований является выявление зависимости положения фронта пропитки от времени (скорости пропитки) при различных угловых скоростях платформы центрифуги. Сложность строения древесины затрудняет поиск аналитического решения задачи, поэтому для

определения искомой зависимости использовали экспериментальную установку кафедры технологии лесозаготовительных производств (рис. 1).

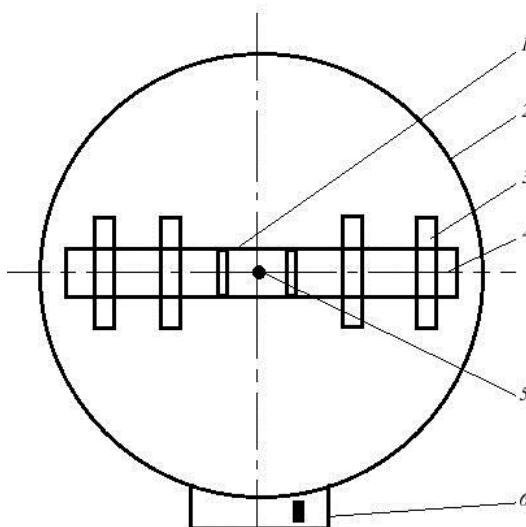


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
1 – карусель; 2 – корпус; 3 – крепежные полукольца; 4 – стакан; 5 – вал;  
6 – пульт управления

Центрифуга имеет стальной сварной корпус 2 в виде вертикально стоящего цилиндра с прослойкой песка между внешней и внутренней обечайками. Внутри корпуса расположен электродвигатель мощностью 2,6 кВт, на валу 5 которого закреплен рабочий орган, представляющий собой вращающуюся карусель 1. На нее горизонтально при помощи хомутов (полуколец) 3 установлены два герметично закрывающихся стакана 4 с пропитываемыми образцами. Управление установкой осуществляют с пульта 6. Частота вращения  $n$  вала двигателя плавно изменяется от 450 до 2700 об/мин и градуирована через 150 об/мин за счет редуктора.

Образец длиной  $L$  размещен в стакане с пропиточной жидкостью, стакан соединен с каруселью (угловая скорость  $\omega$ ). Расстояние от края платформы до оси ее вращения  $R = 0,55$  м, расстояние от нижнего (погруженного в жидкость) торца образца до края платформы  $\delta = 0,05$  м.

Для пропитки использовали образцы древесины четырех пород (сосна, ель, осина и береза) длиной 0,32 м, прямоугольным сечением 25×50 мм. Начальная абсолютная влажность образцов  $W_a = 10 \dots 12$  %. Переменные величины представлены в табл. 1.

В ходе эксперимента путем взвешивания измеряли массу поглощенной образцом жидкости. Взвешивание проводили через каждые 30 с до тех пор, пока не прекращался прирост массы образца.

Эмпирические зависимости получены с использованием метода наименьших квадратов. В качестве приближающей функции для прироста массы (масса впитанной жидкости) выбрана следующая зависимость:

$$\Delta m = a_0 t + a_1 \ln(t + a_2), \quad (1)$$

на основании которой рассчитывали ряд дополнительных величин.

Отношение  $k$  объема впитанной жидкости к объему порового пространства образцов определяли по формуле

$$k = \frac{\Delta m_k}{\rho_{\text{ж}} b h L \left( 1 - \frac{\rho_{\text{обр}}}{1540} \right)},$$

где  $\Delta m_k$  – максимальный суммарный прирост массы образца;

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости;

$\rho_{\text{обр}}$  – средняя плотность образца до начала пропитки.

Уровни варьирования факторов

Фактор	Уровни варьирования			Интервал
	Нижний	Основной	Верхний	
$\Delta^*$ , м	0,1	0,2	0,3	0,1
$n$ , об/мин	450	900	1350	450

\* Расстояние от нижнего торца образца, погруженного в жидкость, до поверхности жидкости в стакане.

Обозначим

$$S = \rho_{\ast} bh \left( 1 - \frac{\rho_{обп}}{1540} \right),$$

тогда положение фронта пропитки (при допущении о ее равномерности) определится как

$$x(t) = \frac{\Delta m(t)}{kS}.$$

При этом скорость фронта

$$v_x(x) = \frac{dx(t)}{dt} = \frac{d\Delta m(t)}{kS dx}.$$

На основании теоретических исследований [4, 5] было сделано предположение, что скорость фронта пропитки может быть определена из выражения

$$v_x(x) = f \frac{P_{\max}^2}{x(t)P(x)},$$

где  $f$  – постоянная величина, индивидуальная для каждой породы.

Для проверки этой гипотезы по результатам каждого опыта рассчитывали значение функции

$$K = \frac{P_{\max}^2}{v_x(x)x(t)P(x)}. \quad (3)$$

Решая (3), находим выражение для определения времени  $\tau$ , когда фронт пропитки достигнет положения  $x$ :

$$\tau = \frac{2K \left[ \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{3}x^3(2R - 2\delta - 2\Delta) \right]}{\rho_{\ast} \omega^2 \Delta^2 (2R - 2\delta - \Delta)^2}. \quad (4)$$

Во всех опытах масса впитанной жидкости определяется по выражению (1). Например, для ели прирост массы иллюстрирует график, приведенный на рис. 2.

Далее, используя полученные выражения для массы впитанной жидкости, рассчитывали «мгновенное» значение функции  $K(t)$  для каждого опыта. При определении среднего (использовавшегося при дальнейших расчетах) значения функции  $K$  применяли известную формулу

$$K = \int_{0,1T}^{\tau} K(t) dt, \quad (5)$$

где  $T$  – суммарное время пропитки.

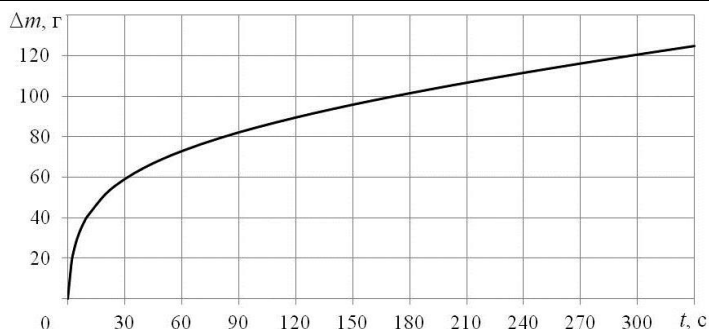


Рис. 2. Изменение массы образцов ели при пропитке ( $n = 900$  об/мин,  $\Delta = 0,2$  м)

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значение функции  $K \cdot 10^{-10}$  для различных пород древесины

Условия опыта	Ель	Сосна	Осина	Береза
$\Delta = 0,1$ м; $n = 450$ об/мин	1,606	1,856	1,344	1,494
$\Delta = 0,1$ м; $n = 900$ об/мин	1,917	1,947	1,301	1,547
$\Delta = 0,1$ м; $n = 1350$ об/мин	2,250	2,262	1,498	2,303
$\Delta = 0,2$ м; $n = 450$ об/мин	1,602	1,778	1,309	1,514
$\Delta = 0,2$ м; $n = 900$ об/мин	1,585	1,881	1,396	1,530
$\Delta = 0,2$ м; $n = 1350$ об/мин	1,650	1,982	1,360	1,682
$\Delta = 0,3$ м; $n = 450$ об/мин	1,618	1,728	1,269	1,380
$\Delta = 0,3$ м; $n = 900$ об/мин	1,725	1,890	1,321	1,501
$\Delta = 0,3$ м; $n = 1350$ об/мин	1,813	2,031	1,409	1,648
<i>Среднее значение</i>	1,752	1,928	1,356	1,622

Выбор интервала интегрирования объясняется тем, что  $K(0) \rightarrow \infty$  исходя вида функции  $\Delta m$ . Это делает интегрирование невозможным. После вычисления  $K$  по (4), полагая  $x = \Delta$ , находили расчетное время пропитки:

$$T_{\text{расч1}} = \frac{2K \left[ \frac{1}{4} x^4 + \frac{1}{3} x^3 (2R - 2\delta - 2\Delta) \right]}{\rho_{\text{ж}} \omega^2 \Delta^2 (2R - 2\delta - \Delta)^2}. \quad (6)$$

Второе значение расчетного времени  $T_{\text{расч2}}$  определяли аналогично, но вместо  $K$  использовали его среднее значение:

$$K_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n},$$

где  $n$  – число опытов.

Величины  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  определяли по следующим формулам:

$$\Delta_1 = \frac{T_{\text{эксп}} - T_{\text{расч1}}}{T_{\text{эксп}}} 100 \%; \quad \Delta_2 = \frac{T_{\text{эксп}} - T_{\text{расч2}}}{T_{\text{эксп}}} 100 \%,$$

где  $T_{\text{эксп}}$  – экспериментально определенное значение времени насыщения образца жидкостью.

Результаты вычислений на примере ели, представленные в табл. 3, свидетельствуют, что время пропитки, определяемое с использованием (6) и  $K_{\text{ср}}$ , близко к экспериментально определенному.

График на рис. 3 иллюстрирует зависимость скорости пропитки  $v_x$  от времени  $t$ , очевидна качественная сходимость кривых.

Таким образом, время пропитки определяется из выражения (6) с использованием данных табл. 2.

Расчетное и экспериментальные значения времени пропитки древесины ели

Условия опыта	$T_{\text{эксп}}$	$T_{\text{расч1}}$	$T_{\text{расч2}}$	$\Delta_1$	$\Delta_2$
	с			%	
$\Delta = 0,1 \text{ м}; n = 450 \text{ об/мин}$	630	584	637	7	1
$\Delta = 0,1 \text{ м}; n = 900 \text{ об/мин}$	180	174	169	3	6
$\Delta = 0,1 \text{ м}; n = 1350 \text{ об/мин}$	90	91	86	1	4
$\Delta = 0,2 \text{ м}; n = 450 \text{ об/мин}$	1320	1276	1395	3	6
$\Delta = 0,2 \text{ м}; n = 900 \text{ об/мин}$	330	316	349	4	6
$\Delta = 0,2 \text{ м}; n = 1350 \text{ об/мин}$	150	146	155	3	3
$\Delta = 0,3 \text{ м}; n = 450 \text{ об/мин}$	2160	2125	2301	2	7
$\Delta = 0,3 \text{ м}; n = 900 \text{ об/мин}$	570	566	575	1	1
$\Delta = 0,3 \text{ м}; n = 1350 \text{ об/мин}$	270	265	256	2	5

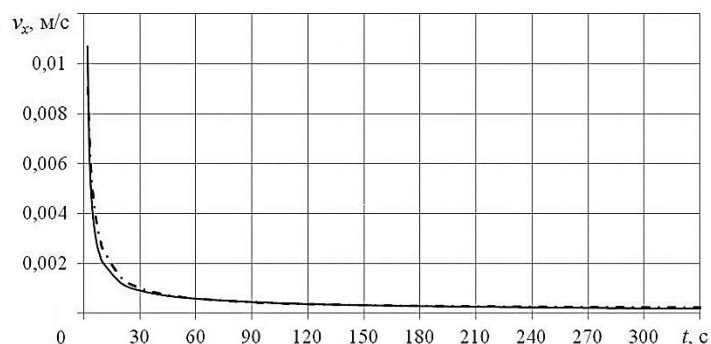


Рис. 3. Скорость фронта пропитки образцов древесины ели при  $n = 900 \text{ об/мин}$ ,  $\Delta = 0,2 \text{ м}$  (сплошная линия – график на основе экспериментальных данных с использованием (2),

пунктирная – расчетные данные по (3) при  $K = K_{\text{ср}}$ )

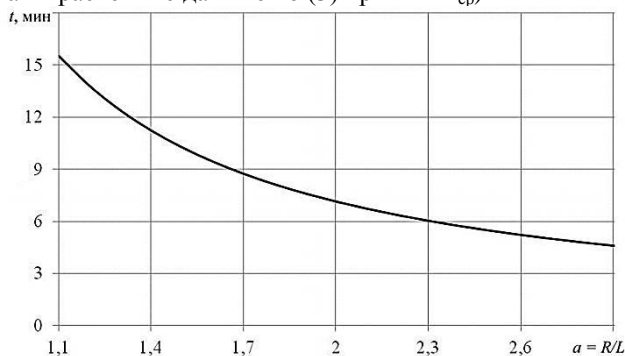


Рис. 4. Влияние отношения  $a$  на время пропитки сорта  $t$

11

При помощи графика, приведенного на рис. 4, можно проследить влияние отношения радиуса платформы центрифуги к длине сорта  $a = R/L$  за время пропитки

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базаров С.М., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Математическая модель самобалансировки пачки лесоматериалов на вращающейся струне при ротационной сушке и пропитке // Инженер. журн. 2012. № 4. С. 8–15.
2. Новые конструкции и математические модели расчета установок для пропитки древесины в пьезопериодическом поле / О.А. Куницкая [ и др.] // Науч. обозрение. 2012. № 4. С. 128–136.
3. Обоснование исходных требований математической модели обезвоживания древесины в процессе прессования и сушки / Куницкая О.А. [ и др.] // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 70–79.
4. Патякин В.И., Тишин Ю.Г., Базаров С.М. Техническая гидродинамика древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 300 с.

5. *Расев А.И.* Некоторые задачи в области исследования процессов пропитки древесины // Химическая модификация древесины. Рига: Знание, 1975. 372 с.

Поступила 19.12.12

*I.V. Grigoryev, O.A. Kunitskaya, G.V. Grigoryev, G.Yu. Yesin*  
Sain-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

### **Kinetics of Centrifugal Wood Treatment**

Experimental study of the centrifugal treatment of different wood species was conducted. We obtained a relation between the treatment front and treatment time (rate) at different angular velocities of the centrifuge platform. The influence of the ratio between the assortment length and the centrifuge platform radius on the time of treatment was determined.

*Key words:* centrifugal treatment, rotary equipment, treatment rate.

---