

Состояние и перспективы направления процесса обезвоживания и пропитки древесного сырья

В. И. Пятакин¹

Санкт-Петербургская государственная
лестехническая академия

И. В. Костин

Петрозаводский государственный университет

АННОТАЦИЯ

Одним из направлений развития лесной отрасли является опыт использования фундаментальных исследований, направленных на создание принципиально новых технологических процессов обезвоживания, пропитки и модифицирования древесины с целью повышения ее качественных и потребительских свойств.

Ключевые слова: древесина, обезвоживание, пропитка, центробежная сила, модель капиллярно-пористой структуры.

SUMMARY

One of the directions for the forest industry is the experience of usage of substantial researches referred to create fundamentally new technological processes of dehydration, impregnation and modification of wood for the purpose of improving its quality and consumer quality.

Keywords: wood, dehydration, impregnation, centrifugal force, models of capillary-porous structure.

Одним из актуальных направлений развития лесной отрасли является создание принципиально новых технологических процессов обезвоживания, пропитки и модифицирования древесины с целью повышения ее качественных и потребительских свойств. Большое внимание сконцентрировано на решении важных вопросов, таких как вовлечение новых технологических, ресурсосберегающих технологий и процессов листовых пород древесины, за счет обезвоживания, пропитки и модифицирования; экономическая эффективность и целесообразность; и наиболее важный – это охрана окружающей среды и природной системы в целом.

Обезвоживание – это процесс удаления влаги из материала независимо от формы и способа. Количество влаги, находящейся в древесине может быть удалено в виде жидкости, пара и льда. По этому признаку все

способы удаления влаги разделяются [1] на три группы:

- 1) термические,
- 2) механические,
- 3) комбинированные.

Различные термические способы получили наибольшее распространение под названием способов сушки древесины. При комбинированных способах используется как фазовое превращение (термические способы), так и механическое воздействие: удаляют как можно больше свободной влаги механическим способом.

Наряду с традиционными современными способами сушки находят применение механические способы обезвоживания, в основе которых лежит движение влаги в жидкой фазе под действием градиента давления. Энергетически многие механические способы обезвоживания более выгодны по сравнению с термическими, так как влага удаляется в жидком состоянии, при этом исключается лишняя энергия на испарение, которая поглощает более 60 % всей подводимой энергии [2, 3, 4, 5].

Существуют следующие механические способы обезвоживания: пневматический, вибрационный, гравитационный, в поле центробежных и электрокинетических сил, комбинированные. Широка известность и эффективность центробежных и электрокинетических способов обезвоживания древесины [1, 6]. Первую попытку центрифугирования сырой древесины осуществил в 1932 г. Тиман, исследовавший влияние центробежной силы на процесс удаления влаги. Затем шведский инженер Кастмарк на основании экспериментальных исследований (1937–1939 гг.) пришел к выводу, что для ускорения удаления влаги из древесины можно использовать центробежные силы. Далее теоретические и практические исследования представили Прейсер, Кольман, Х. Пист и отечественные – В. И. Пятакин, А. И. Расев, А. И. Мигачев, В. И. Соколов, С. М. Базаров, В. И. Марков и многие другие. Они внесли несоизмеримый вклад в развитие науки. Метод центробежного обезвоживания основан на вытеснении смачивающей жидкости из образца в поле центробежных сил. Капиллярное равновесие обеспечивается равенством капиллярного давления и давления центробежных сил, равного

$$4\pi^2\rho n^2Rh,$$

где ρ – плотность жидкости; n – частота вращения ротора центрифуги; R – средний радиус вращения; h – высота жидкости в образце.

Поскольку основной составляющей массопереноса при обезвоживании является центробежная сила, то анализ интенсивности процесса принято осуществлять при определенном значении фактора разделения Fr или центростремительного ускорения a , выраженного через ускорение свободного падения. Фактор разделения показывает, во сколько раз центростремительное ускорение больше ускорения свободного падения.

¹ Авторы – соответственно д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологии лесозаготовительных предприятий, заслуженный деятель науки и техники РФ и аспирант кафедры технологии оборудования лесного комплекса.

$$Fr = w^2 R / g,$$

где w – угловая скорость вращения, 1/с; r – радиус вращения, м; g – ускорение свободного падения, м/с²;

$$a = w^2 R = Fr g.$$

Древесина – это капиллярно-пористое тело, которое обладает очень сложной структурой и своеобразным анатомическим строением. Исходя из этого, выделяют наличие в древесине проводящих элементов и количество и форму их взаимосвязи с жидкостью, то есть рассматривая ее как макро- и микрокапиллярную систему.

Вопрос о проникновении жидкости в клетки древесины очень важен для теории и практики. Способность древесины сопротивляться разрушению от действия физических, химических и биологических факторов характеризуется ее стойкостью во время хранения и эксплуатации. Одним из основных способов повышения стойкости древесины является ее защитная обработка пропиткой (для повышения биостойкости и огнестойкости, износоустойчивости, понижения электропроводности, влагостойкости и т. д.).

Проникновение пропиточного раствора в древесину происходит в результате вида воздействия капиллярных, центробежных, диффузионных и электростатических сил и сил давления.

Процесс пропитки характеризуется величиной общего поглощения и скоростью проникновения пропиточного состава на заданную глубину – скорость пропитки. Скорость пропитки зависит от породы, анатомического строения и влажности древесины, свойств пропиточного вещества и от самого способа процесса пропитки.

Сущность центробежного способа пропитки заключается в том, что проникновение пропитывающей жидкости в древесину производится под действием центробежных сил. Используют два способа пропитки: прямой, или попутно-центробежный, и обратный, или встречно-центробежный [7]. Первый способ заключается в том, что из заполненного жидкостью капилляра, помещенного в центробежное поле, влага под воздействием центробежных сил удаляется (рис. 1, б), создавая в центральной зоне перепад давления. Если в зону разрежения подать пропитывающий состав, то он сначала будет поглощаться, а затем, поступив в зону действия центробежных сил, начнет двигаться вслед за удаляемой из капилляра жидкостью.

При обратном способе (рис. 1, а) пропитки происходит гидростатическое давление. Под действием этого давления пропитывающая жидкость движется по капиллярам навстречу жидкости, удаляемой из него под действием центробежных сил. Вследствие градиента давления происходит встречное движение, т. е. вытеснение жидкости из капилляра и заполнение его пропитывающей жидкостью.

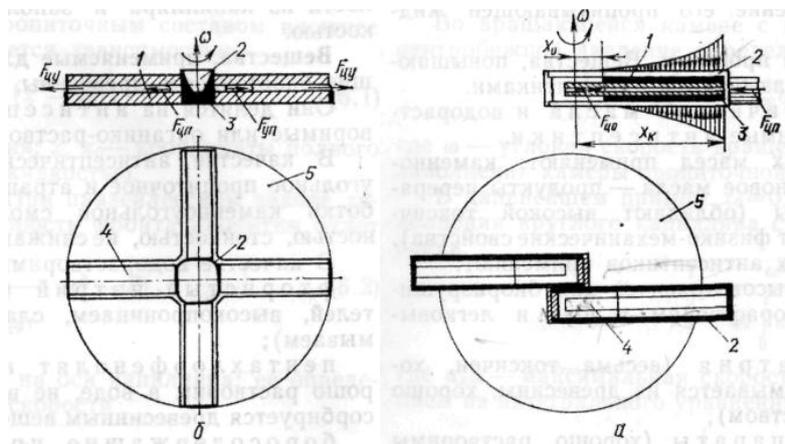


Рис. 1. Схемы центробежных способов пропитки древесины: а – встречно-центробежный способ; б – попутно-центробежный способ; 1 – капилляр в центробежном поле; 2 – емкость с пропитывающим составом; 3 – пропитывающая жидкость; 4 – пропитываемый материал; 5 – центрифуга

Кинетика центробежной пропитки древесины построена на решении задачи заполнения жидкостью капилляра, расположенного перпендикулярно направлению действия центробежных сил (рис. 1). Во вращающейся камере с пропиточным составом внешнее центробежное давление определяется зависимостью

$$P_x = \frac{1}{2} \rho_{ж} \omega^2 (x^2 - x_0^2),$$

где ω – угловая скорость вращения; x, x_0 – координаты полного заполнения камеры пропиточной жидкостью. Наибольшая скорость на оси капилляра $u_{x_{\text{гм}}}$ определена из интегрального уравнения скорости

$$u_{xm} = \int_0^t u_{xm} dt = \frac{1}{8} \frac{\omega^2 x^2 r^2}{\nu}$$

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 = \frac{5}{4\omega^2 k \rho}$$

где ν – динамика вязкости жидкости; r – радиус капилляра.

И наконец, общее время пропитки оценивается зависимостью

Для теоретического решения кинетики впитывания влаги древесиной (увлажнения) необходима ее модель (рис. 2). Модель капиллярно-пористой структуры древесины представим как систему сообщающихся продольных и поперечных гипотетических капилляров. При этом объем полостей в модели принимаем равным объемной пористости древесины.

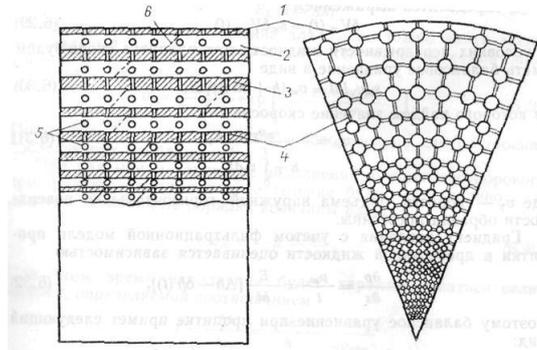


Рис. 2. Модель капиллярно-пористой структуры древесины: 1 – сектор створа; 2 – сосуды, трахеиды (продольные капилляры); 3 – волокна либриформа; 4, 5 – сердцевинные лучи и поры (поперечные капилляры); 6 – перфорации

Если представить бревно как систему продольных и поперечных капилляров, то количество впитавшейся жидкости (воды) в единицу времени будет равно

Схемы заполнения капилляров древесины через торцовую и боковые поверхности древесины (бревна) показаны на рисунке 3.

$$Q = \frac{dl_{\text{пр}}}{dt} \omega_{\text{пр}} + \frac{dl_{\text{п}}}{dt} \omega_{\text{п}}$$

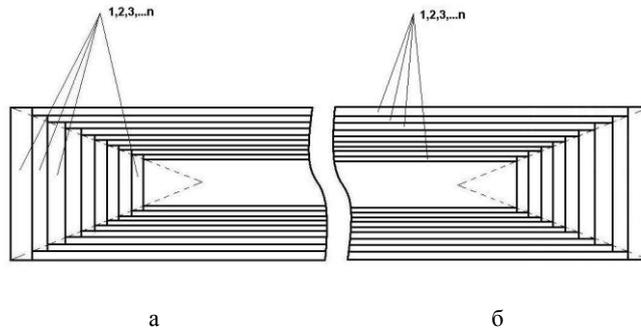


Рис. 3. Схемы заполнения капилляров древесины через торцовую и боковые поверхности древесины: а – последовательность заполнения капилляров; б – последовательность заполнения поперечных капилляров

Согласно принятой модели, древесина состоит из системы продольных и поперечных капилляров. Значения площадей фильтрации соответственно для $\omega_{\text{пр}}$ и $\omega_{\text{п}}$ будут

$$\omega_{\text{п}} = \frac{(\rho_{\text{пр}} - \rho)(1 - \beta)}{\rho_{\text{ж}} \frac{d}{4}}$$

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{(\rho_{\text{пр}} - \rho)\beta V}{\rho_{\text{ж}} \frac{L}{2}}$$

где β – часть объема пор, занимаемых продольными капиллярами.

Далее проводим серию математических решений, получая уравнение в виде

$$\frac{d\rho}{dt} = \xi (\rho_{\text{пр}} - \rho) \frac{1}{\sqrt{t}},$$

Таким образом, интенсивность изменения плотности древесины при намокании при прочих равных условиях прямо пропорциональна потенциалу влагоемкости и обратно пропорциональна корню квадратному величины времени нахождения в воде.

$$t = \frac{1}{4\xi^2} \left[\ln \left(\frac{\rho_{\text{пр}} - \rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{пр}} - \rho} \right) \right]^2.$$

Параметрами, определяющими уровень защищенности древесины, считают величину поглощения, глубину проникновения пропитывающего состава и равномерность его распределения в пропитываемой зоне. Величину поглощения состава при пропитке регулируют изменением режима процесса (продолжительности, величины давления) или изменением концентраций пропитывающего состава. Для пропитки применяют жидкие масла и растворы различных веществ в воде или органических растворителях; препараты антисептического характера.

Авторы считают, что пропитывание древесного сырья в полях центробежных сил является качественным, эффективным и экономически выгодным по сравнению с другими способами пропитки. Увеличение объема комплексной переработки тонкомерных лиственных пород древесины является перспективным фактором, вследствие ограниченного использования лесопромышленным комплексом. Древесина осины обладает многими качествами. Это делает возможным ее широкое применение в производстве (достаточная прочность при малом объемном весе, равномерное строение, способность к модификации). Повышение эксплуатационных свойств, а также физико-механических свойств древесины лиственных пород (осина) с помощью модификации различными методами является важным вопросом комплексного использования ее в различных отраслях и хозяйственных целях страны. Под модифицированием [8] понимаем процесс направленного изменения физико-механических, теплофизических, биохимических, защитных свойств древесины применительно к условиям применения и эксплуатации изделий из нее. Продукция модификации – это различные виды модифицированной древесины. Виды модифицирования древесной биомассы [9]: металлизация, модифицирование радиационно-химическое, термомеханическое, термохимическое, химико-механическое и химическое; пластификация; уплотнение; прессование; обезвоживание, пропитка, наполнение различными веществами и их сочетание; термообработка. Большой вклад в развитие древесиноведения и модифицирования древесины [10] осуществила группа ученых и специалистов ВГЛТА под руководством профессора В. А. Шамаева.

Эффективной защитой древесины от воздействия различных разрушающих факторов является пропитка синтетическими и органическими полимерами. В качестве экспериментальных исследований используются тонкомерные лиственные породы древесины (осина, ольха и др.), ввиду их малого или ограниченного применения и использования в лесоперерабатывающей промышленности, в особенности применительно к осине. Из-за характерной для этой породы криволинейности ствола, низкой механической прочности и склонности к гниению более 30 % срубленной древесины осины бракуется на лесосеке и представляет собой отходы, в лучшем случае используются в качестве топлива. Применение новых технологических процессов с использованием лиственных пород в ближайшее время создаст серьезную конкуренцию в значительной мере для хвойных пород древесины.

В заключение следует отметить, что сейчас анализ научно-исследовательских работ, комплексных исследований, экспериментов и опытов обезвоживания, пропитки и модифицирования древесины и ее биомассы (древесные отходы) осуществляется и проходит во взаимодействии ученых и специалистов СПб ГЛТА под руководством профессора, заслуженного деятеля науки и техники, доктора технических наук В. И. Пятакина и ученых и специалистов КарНИИЛПК, ПетрГУ под руководством профессора, доктора технических наук И. Р. Шегельмана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятакин В. И. Проблема повышения плавучести круглых лесоматериалов / В. И. Пятакин. М.: Лесная промышленность, 1976. 264 с.
2. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. М.: Энергия, 1968. 472 с.
3. Пейч Н. Н. Справочник по сушке древесины / Н. Н. Пейч, З. В. Бороненко. М.: Лесная промышленность, 1966. 278 с.
4. Першанов Н. А. Конвективно-высокочастотная сушка древесины / Н. А. Першанов. М.: ГЛБИ, 1963. 112 с.
5. Соколов П. В. Сушка древесины / П. В. Соколов. М.: Лесная промышленность, 1968. 280 с.
6. Расев А. И. Об эффективности механических способов обезвоживания древесины // Сушка древесины. Архангельск: ЦНИИМОД, 1969. С. 218–296.
7. Пятакин В. И. Техническая гидродинамика древесины / В. И. Пятакин, Ю. Г. Тишин, С. М. Базаров. М.: Лесная промышленность, 1990. 304 с.
8. Шегельман И. Р. Лесная промышленность и лесное хозяйство: Словарь / И. Р. Шегельман. Петрозаводск: ПетрГУ, 2008. 278 с.
9. Гелес И. С. Биомасса дерева и ее использование / И. С. Гелес, З. А. Коржицкая. Петрозаводск, 1992. 230 с.
10. Шамаев В. А. Химико-механическое модифицирование древесины / В. А. Шамаев. Воронеж: ВГЛТА, 2003. 260 с.