

который принимает балка под воздействием приложенного усилия. В результате включения в состав балки волоконных армирующих материалов у экспериментальных образцов радиус кривизны при изгибе уменьшился на 30 %. Длина параллельных линий изменяется. В центральной части балки существует линия, длина которой не меняется. Такая линия называется нейтральной осью. Выше нейтральной оси балки линии становятся короче (линии находятся в состоянии сжатия), в то время как ниже нейтральной оси линии удлиняются (линии находятся в состоянии растяжения) [5]. Вследствие этого целесообразно проводить армирование только нижнего пояса КДК. Благодаря высокой прочности углеволокна на растяжение (марка ЛУ-П-02,  $\sigma = 0,7$  МПа) и особенностям деформирования, указанным выше, прочность клееных армированных балок может возрасти на 15-35 %, в зависимости от применяемой древесины. Процент армирования наиболее опасной зоны (внешнего клееного слоя) не превышает 10 %.

Несмотря на то, что рис. 5 представлен в идеализированном виде, установлено, что такое положение применимо при решении задач для любых балок, в т. ч.

изготовленных из анизотропного материала, каковым является древесина.

#### Литература

1. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 216 с.
2. Колпаков С.В. Дисперсионное армирование элементов конструкций сб. науч. тр. // Использование древесины в жилищном строительстве Сибири: сб. науч. тр. Новосибирск, 1973. Вып. 4. С. 46-54.
3. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1981. 272 с.
4. Хрулев В.М. Долговечность клееной древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 160 с.
5. Поциус А. Клеи, адгезия, технология склеивания. СПб.: Профессия, 2007. 376 с.

#### References

1. Koval'chuk L.M. Production of glulam constructions. M.: Lesn. Prom-st', 1979. 216 p.
2. Kolpakov S.V. The dispersion reinforcement of structural elements. Sb. науч. tr. «Ispol'zovanie drevesiny v zhilishchnom stroitel'stve Sibiri», vyp. 4. Novosibirsk, 1973. P. 46-54.
3. Freidin A.S. The strength and durability of adhesive joints. M.: Khimiya, 1981, 272 p.
4. Khrulev V.M. Glued wood durability. M.: Lesn. prom-st', 1971. 160 p.
5. Potsius A. Adhesives, adhesion, bonding technology. SPb.: Profesiya, 2007. 376 p.

УДК 674.048.5

## Экспериментальные исследования показателей процесса центробежной пропитки лиственной древесины

О.А. Куницкая<sup>1</sup>, И.В. Костин<sup>1</sup>, С.С. Бурмистрова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tlzp@inbox.ru  
Статья поступила 03.02.2012, принята 20.05.2012

*В статье рассмотрено экспериментальное изучение центробежного способа пропитки, который заключается в проникновении пропитывающей жидкости в древесину под действием центробежных сил. Для исследований процесса обезвоживания и пропитки древесины использовалась оригинальная лабораторная установка. В результате исследований доказано, что эффективная пропитка тем или иным способом может производиться лишь при определенной влажности материала.*

*Установлено, что существует возможность регулирования количества впитываемой жидкости и достижения максимальной глубины пропитки древесины путем варьирования продолжительности пропитки и скорости вращения центрифуги. При необходимости часть впитавшейся жидкости можно удалить путем вращения в этой же установке после удаления пропитывающего состава из центрифуги. Доказано, что пропиточная жидкость, проникая через боковую поверхность и периферийную торцовую, вытесняет через другую торцовую поверхность воздух, что обуславливает равномерное и интенсивное пропитывание образцов.*

*В связи с общей интенсификацией промышленных производств необходимо искать пути сокращения цикла сушки-пропитки при сохранении качества древесного сырья и улучшении его физико-механических свойств. Установлено, что из-за конструктивных особенностей установки пропитывающая жидкость будет распределяться согласно обратному способу пропитки.*

**Ключевые слова:** древесина, пропитка, центробежная установка, физико-механические свойства.

## Experimental researches of the indicators of hardwood centrifugal impregnation process

O.A. Kunitskaya<sup>1</sup>, I.V. Kostin<sup>1</sup>, S.S. Burmistrova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The St.-Petersburg state timber university of name S.M. Kirov, Institute per. 5, St.-Petersburg, Россия. E-mail: tlzp@inbox.ru  
The article received 03.02.2012, accepted 20.05.2012

*The paper discusses the experimental studies of the centrifugal impregnation method which consists in impregnating liquid penetration into wood under the impact of centrifugal force. To investigate the process of dehydration and wood impregnating the original laboratory-scale plant was used. In the result of the research, it has been proved that the effective impregnating by this or that method can be carried out only at certain material moisture. It has been established that there is an opportunity to regulate the blotting liquid quantity and achieve the maximum depth of wood impregnating varying the impregnating duration and centrifuge speed. If necessary, part of the blotting liquid can be removed by rotating in the same installation after the impregnating composition removal from the centrifugal machine. It has been proved that the impregnating liquid penetrating through the lateral and peripheral face surfaces expels air through the other face surface that causes uniform and intensive specimen impregnation. In connection with general industrial production intensification, it is necessary to search for ways of the drying - impregnating cycle reduction under the conditions of the wood raw material quality preservation and its physico-mechanical properties improvement. It has been established that because of the installation design features the impregnating liquid will be distributed according to the reverse impregnating method.*

**Key words:** wood, impregnation, centrifugal machine, physico-mechanical properties.

Одним из направлений развития сквозных технологических процессов лесозаготовительного производства является комплексное и эффективное освоение каждого кубометра сырья путем внедрения наиболее эффективных процессов обработки древесины с целью получения конкурентоспособной продукции.

Повышение эффективности процессов обработки и вовлечение в переработку малоиспользуемой древесины приобретает большое значение, это требует поиска новых технических и технологических решений в области использования тонкомерной мягколиственной древесины (ТМЛД).

Под тонкомерной древесиной понимают древесину, диаметр которой не превышает 13 см (в верхнем торце от 4 до 13 см включительно). Основную массу тонкомерной древесины представляют молодая древесина рубок ухода и лесосечные отходы. Подсчитано, что в европейской части РФ ежегодно можно заготавливать 20 млн. м<sup>3</sup> тонкомерной древесины от рубок ухода. Количество же лесосечных отходов, остающихся на вырубках в виде недорубок и отходов лесозаготовок, которые также необходимо заготавливать, составляет значительную цифру – почти 100 млн. м<sup>3</sup> древесины.

К мягколиственным породам деревьев относятся осина, ольха, береза, тополь, ива, липа.

Применение различных способов пропитки открывает широкие возможности для комплексного подхода к использованию древесного сырья. Эффективной защитой древесины от воздействия различных разрушающих факторов является насыщение (пропитка) различными жидкостями, например, синтетическими и органическими полимерами. Применение новых технологических процессов с использованием тонкомерных лиственных пород и низкосортной древесины способно создать в ближайшее время серьезную конкуренцию для хвойных пород.

В настоящее время ведутся многочисленные исследования способов модификации древесины с целью получения новых конструкционных и защитных материалов, имеющих лучшие эксплуатационные свойства и технико-экономические показатели их производства по сравнению с существующими материалами аналогичного назначения. К настоящему времени известны способы модификации древесины, позволяющие, например, заменять цветные металлы в парах трения получаемым материалом, использовать материалы на основе древесины для защиты от нейтронных потоков и т. д.

Одним из наиболее распространенных способов модификации древесины, наряду с уплотнением, является пропитка жидкостями с различными свойствами. Известны следующие способы пропитки деревянных заготовок: вымачивание, пропитка в центробежных установках, пропитка в барокамерах, а также пропитка гидроударом [1].

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

Перспективной обработкой ТМЛД являются механические способы обезвоживания и пропитки.

Математические модели различных способов пропитки древесины подробно рассмотрены в [2, 6]. Процесс пропитки считается чисто физическим [6], так как пропиточные составы, как правило, не вступают в химическую реакцию с материалом древесины.

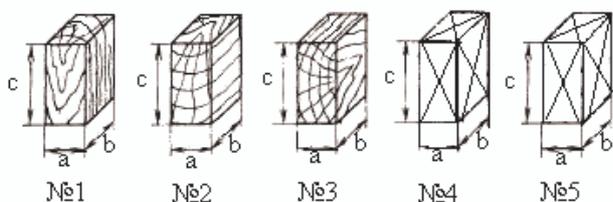
Пропитка древесины основана на трех физических явлениях: проникновение пропиточной жидкости под действием капиллярных сил; насыщение капиллярно-пористой структуры древесины жидкостями под воздействием разности давлений вне древесины и внутри нее; диффузии в древесину растворенных веществ.

Центробежный способ пропитки заключается в проникновении пропитывающей жидкости в древесину под действием центробежных сил. Существуют два способа центробежной пропитки: прямой и обратный [5].

Целью данной работы являлось экспериментальное изучение показателей центробежной пропитки древесины лиственных пород.

Перед проведением экспериментальных исследований было проведено планирование эксперимента с целью оптимизации количества опытов, после проведения которых можно получить достоверный результат и рекомендации для испытания в производственных условиях.

Отбор образцов для экспериментальных исследований проводился по следующей схеме: образцы изготовлены из свежесрубленной тонкомерной древесины мягколиственных пород вершин стволов деревьев диаметром от 6 до 13 см., в соответствии с ГОСТ 23827-79 «Сырье древесное тонкомерное. Технические условия» и ГОСТ 17462-84 «Продукция лесозаготовительной промышленности». В процессе раскряжевки заготовок были осуществлены поперечный, а также продольный и радиальный распилы сечений.



**Рис. 1.** Испытуемые образцы древесины: а – ширина; b – глубина; с – длина. № 1 – 25x25x300; № 2 – 35x35x300; № 3 – 45x45x300; № 4 – 60x60x300; № 5 – 80x80x300 мм.

Испытуемые образцы, согласно ГОСТ 17462-84 «Продукция лесозаготовительной промышленности», имели следующие размеры.

Влажность заготовок перед центробежным обезвоживанием определялась весовым методом по ГОСТ 16588-71, а также с помощью прибора – электронного универсального влагомера марки МГ-4. Начальная влажность образцов составляла в пределах 75-95 %. В настоящее время удаление влаги из древесины в подавляющем большинстве осуществляется путем испарения ее в сушильных камерах.

На предварительную сушку древесины в сушильных камерах затрачивается большое количество тепловой энергии, что экономически невыгодно, так как процесс сушки достаточно продолжителен. Решением проблемы может быть снижение энергоемкости и трудозатрат предварительной сушки древесины с использованием метода обезвоживания в центробежном поле. Основными факторами, влияющими на процесс обезвоживания древесины, являются:

а) управляемые факторы: радиус вращения контейнера с исследуемыми образцами; время вращения контейнера центрифуги; число оборотов ротора центрифуги;

б) неуправляемые (контролируемые) факторы: порода древесины; начальная влажность образцов.

Метод центробежного обезвоживания основан на вытеснении смачивающей жидкости из образца в поле центробежных сил.

Капиллярное равновесие обеспечивается равенством капиллярного давления и давления центробежных сил, равно  $4\pi^2\rho n^2Rh$ , где  $\rho$  – плотность жидкости;  $n$  – частота вращения ротора центрифуги;  $R$  – средний радиус вращения;  $h$  – высота жидкости в образце.

Выходными параметрами, характеризующими процесс обезвоживания, являются: конечная влажность исследуемых образцов и конечная плотность исследуемых образцов.

Учитывая конструктивные особенности установки, пропитывающая жидкость будет распределяться, как показано на рис. 2. Пропитка производилась встречно-центробежным, или обратным способом, который нашел в практике большее признание. При этом способе пропитки в центробежное поле помещается пропиточная емкость с пропитывающей жидкостью. В него загружают материал и начинают вращение, в результате чего создается гидростатическое давление. Под действием этого давления пропитывающая жидкость дви-

жется по капиллярам навстречу жидкости, удаляемой под действием центробежных сил. Вследствие градиента давления происходит встречное движение, т. е. вытеснение жидкости из капилляра и заполнение его пропитывающим раствором.

Глубина проникновения и концентрация пропиточной жидкости зависят от способа и цикла времени пропитки, состава пропиточного реагента, от породы древесины и ее начальной влажности.

Для исследований процесса обезвоживания и пропитки древесины использовалась оригинальная лабораторная установка, на которую получен патент РФ № 106732.

Предварительно, перед началом процесса пропитки испытуемые образцы обезвоживались центробежной установкой. Согласно ГОСТ 20022.6 – 93 «Защита древесины. Способы пропитки», предпропиточная влажность заготовок (образцов) из древесины различных пород в зависимости от способа пропитки должна составлять  $W_{пр.н.} = 25-60\%$ .

Процесс пропитки древесины характеризуется следующими параметрами:

а) контролируемые факторы: порода древесины; предпропиточная влажность древесины; температура древесины; вязкость пропитывающего состава;

б) управляемые факторы: число оборотов ротора центрифуги; время вращения ротора центрифуги; радиус вращения контейнера с образцом; геометрические размеры образцов;

в) выходные параметры: конечная плотность древесины; общее количество поглощенного вещества.

При вращении внутреннего барабана (кассеты) центрифуги и находящейся в ней древесины (образцы) возникает центробежная сила. Величина центробежной силы, действующей на вращающееся тело массой  $m$  и весом  $G$ :

$$C = \frac{m\omega^2}{R} = \frac{G\omega^2}{gR} = \frac{Gn^2R}{900}, \quad (1)$$

где  $C$  – в Н;  $w = \pi Rn/30$  – окружная скорость в м/с;  $R$  – внутренний радиус барабана в м;  $g$  – ускорение свободного падения в м/с<sup>2</sup>;  $n$  – частота вращения барабана в об/мин. При вращении тела весом  $G = 1$  Н,  $C = n^2R/900$ . Одним из основных критериев оценки эффективности работы центрифуги является фактор разделения ( $F_0$ ):

$$F_0 = \frac{\omega^2R}{g} \cong \frac{n^2R}{900}, \quad (2)$$

где  $w = \pi n/30$  – угловая скорость барабана.

Фактор разделения показывает, во сколько раз центробежное ускорение, развиваемое в данной центрифуге, больше ускорения свободного падения. Чем больше фактор разделения, тем интенсивнее происходит процесс центрифугирования.

Конструктивные особенности установки позволяют одновременно осуществлять процесс обезвоживания и пропитки.

Оригинальная полуавтоматизированная центрифуга представляет собой скоростную машину периодиче-

ского действия с приводом от индивидуального электродвигателя.

Корпус центрифуги представляет собой тонкостенную конструкцию цилиндрической формы, закрепленную на жесткой платформе-раме.

Верхняя часть корпуса установки – съемная, крепится к корпусу винтами, имеет загрузочное отверстие и углубление для фиксации крышки от горизонтального перемещения в закрытом положении.

Панели электроприборов и управления смонтированы на корпусе центрифуги и защищены коробом.

В основе конструкции центрифуги лежит привод, в состав которого входят: фланцевый электродвигатель; две полумуфты, соединяющие вал электродвигателя с валом привода внутреннего барабана, одна из которых – центробежная разгонная фрикционная муфта с дисковой тормозной накладкой; противовес; подшипниковый узел и поликлиновой ремень. На расположенном вертикальном валу привода закрепляется специальная внутренняя кассета (барабан) из нержавеющей стали, являющаяся основным рабочим органом центрифуги (крепится при помощи комплекта гаек на вертикальном валу привода).

Для предупреждения доступа к вращающемуся барабану корпус центрифуги в верхней части оборудован закрепленной в кронштейне подпружиненной крышкой. Открывание крышки при остановленной центрифуге осуществляется вручную ее горизонтальным перемещением по часовой стрелке.

В конструкции применен частотный преобразователь, который позволяет обеспечить плавный разгон и торможение внутреннего барабана (кассета с заготовками) центрифуги, снизить расход электроэнергии, а также обеспечивает возможность подключения центрифуги к однофазной сети 220 В.

В целях обеспечения безопасной эксплуатации на центрифуге предусмотрены следующие блокирующие устройства:

- дополнительное блокирующее устройство – тормоз;

- устройство, исключающее включение двигателя при открытой крышке корпуса;

- устройства, препятствующие открыванию крышки при вращающемся барабане;

- устройства, отключающие электродвигатель в случае неравномерной загрузки.

Центробежная установка предназначена для удаления влаги из древесины различных пород и ее пропитки различными пропитывающими растворами. Основным источником возникновения центробежных сил является вращающийся ротор (внутренний барабан). При вращении внутреннего барабана (кассеты) и находящихся в нем заготовок древесины возникает центробежная сила, которая способствует удалению одной жидкости (влаги) и поглощению другой жидкости (пропиточной).

Технические характеристики установки – центрифуги:

Габаритные размеры (длина-ширина-высота), мм.: 1035x840x1030;

Масса установки, кг 345

Номинальная мощность, кВт 2,7

Загрузочная масса, кг 20-25

Частота вращения, об/мин. 1500

Вид управления полуавтоматический

Фактор разделения,  $F_r$  800-1000

Напряжение электросети, В (50Гц) 220/380

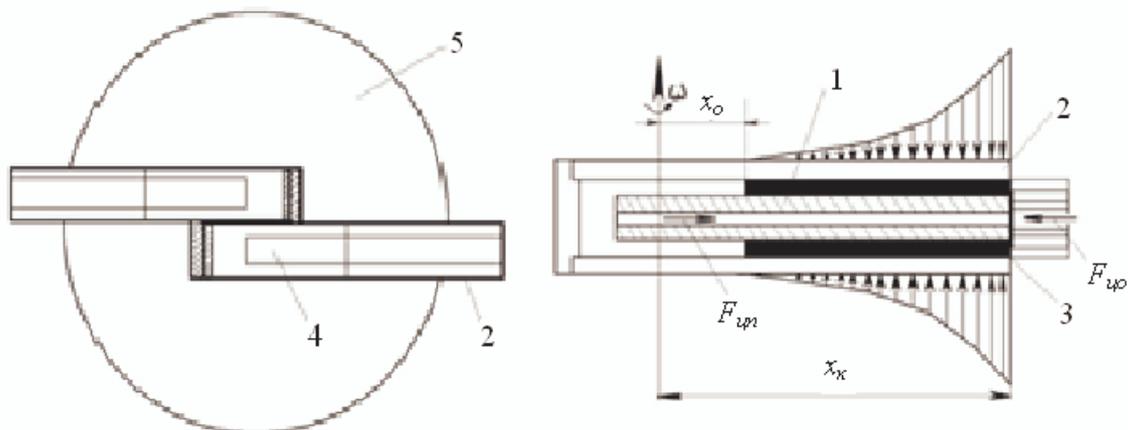
Удельный расход электроэнергии, кВтч/кг 0,07

Время цикла работы, мин. 1-10

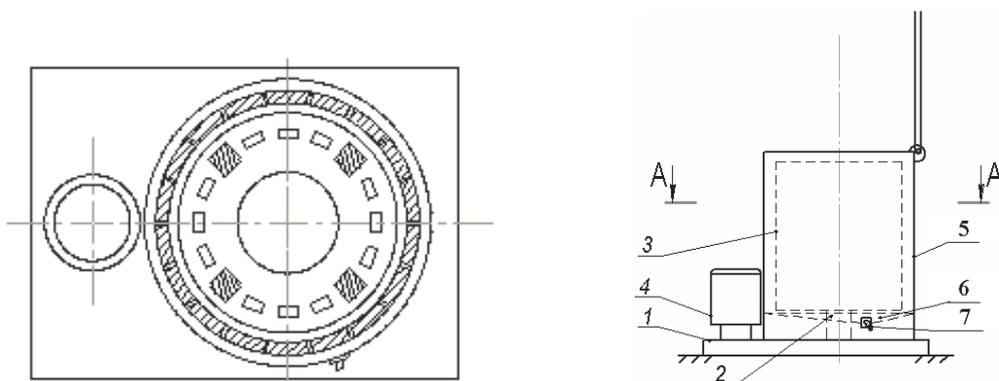
Время разгона оборотов центрифуги, мин. 0,2-1,5

Остаточная влажность после обезвоживания, % 15-47

На рис. 3 показана конструкция оригинальной лабораторной центробежной установки для экспериментального изучения параметров процесса центробежного обезвоживания и пропитки.



**Рис. 2.** Схема обратного способа пропитки древесины: 1 – капилляр; 2 – емкость с пропитывающим составом; 3 – пропитывающая жидкость; 4 – древесина (образец); 5 – центрифуга;  $F_{цп}$ ,  $F_{цо}$  – центробежная сила пропитки и обезвоживания;  $\omega$  – угловая скорость вращения;  $x_o$ ,  $x_k$  – координаты заполнения камеры пропиточной жидкостью.



**Рис. 3.** Центробежная установка (патент № 106732): 1 – основание (плита); 2 – ротор; 3 – барабан; 4 – электродвигатель; 5 – корпус установки; 6 – резервуар для отвода жидкости; 7 – патрубок отвода жидкости.

В результате экспериментальных исследований образцов (заготовок) определены основные параметры и показатели, характеризующие и влияющие на весь процесс (до, во время и после) обезвоживания:

- размерность образцов (мм)
- порода древесины: 1 – лиственные (осина, береза); 2 – хвойные (сосна);
- вес образцов ( $Q$ , кг): 1 – до обезвоживания; 2 – после обезвоживания;
- влажность ( $W$ , %): 1 – начальная; 2 – конечная;
- время процесса обезвоживания ( $t$ , мин.): 1 – три; 2 – шесть; 3 – от двух до шести;
- скорость вращения барабана (об/мин.): 1 – 500; 2 – 1000; 3 – 1500;
- фактор обезвоживания  $F_0 = \omega R = \text{const}$ , где  $\omega$  – угловая скорость вращения;  $R$  – радиус вращения.

Чем больше  $F_0$  для одной и той же породы, тем больше интенсивность процесса обезвоживания и тем быстрее плотность приближается к предельному значению. При этом время достижения конечной плотности зависит от породы: для лиственных пород  $t = 200-480$  с., для хвойных  $t = 360-900$  с. Разность во времени достижения конечного значения плотности у хвойных и лиственных пород объясняется анатомическими особенностями строения их водопроводящих путей.

Данные таблицы 1 показывают, что при одних и тех же значениях  $\omega R$  у лиственных пород абсолютное снижение 14-15 %, а у хвойных – 17-30 %. Это объясняется структурными особенностями их водопроводящих путей. Вследствие этого извилистость пор различна у хвойных и лиственных пород. Поэтому при достижении оптимальной скорости вращения заготовок влага из лиственных пород удаляется значительно быстрее. У хвойных время обезвоживания в несколько раз больше, так как гидродинамическое сопротивление выше; также им свойственны анатомические особенности. Величина конечной плотности для хвойных пород ниже, а абсолютная величина снижения плотности – выше. Объясняется это большей объемной пористостью древесины хвойных пород.

Учитывая конструктивные особенности установки, размеры образцов сделаны в соответствии с размерами

внутреннего барабана (съемной кассеты). Анатомические особенности и свойства древесины лиственных и хвойных пород в процессе обезвоживания показывают, что из осины и березы достаточно хорошо удаляется свободная влага. На примере одной размерности получены следующие показатели: размерность – 45x45x300 мм; сосна и осина; время процесса обезвоживания – 4 мин.; скорость вращения – 1000-1500 об/мин.; количество заготовок – 15 шт./порода.

После обработки результатов получены следующие показатели:

- осина – 45x45x300 мм, 15 шт., время 4 мин., конечная влажность  $W_k = 17-23$  %, нет отклонений в форме заготовок;
- сосна – 45x45x300 мм, 15 шт., время 4 мин., конечная влажность  $W_k = 26-38$  %, нет отклонений в форме заготовок;
- сосна – 45x45x300 мм, 15 шт., время 6 мин., конечная влажность  $W_k = 23-29$  %, нет отклонений в форме заготовок.

В качестве пропиточного агента использовались следующие пропиточные жидкости: вода окрашенная, карбамидные смолы и раствор полимеров.

Данные жидкости были выбраны на основании того, что проникающая способность и скорость проникновения воды практически не отличаются от водных пропиточных растворов. Карбамидные смолы (КС) широко известны, применяются как защитная жидкость в сферах производства и строительстве (шпал, телеграфных столбов, деревянных опор и т. д.). Растворы полимеров улучшают физико-механические свойства, увеличивая срок эксплуатации изделия.

Для удаления влаги и пропитки древесины перечисленными жидкостями применялся метод парных образцов. Математическая обработка экспериментальных данных проводилась в соответствии со стандартными требованиями и методами.

Сопоставление рассматриваемого способа пропитки в центробежном поле со способом вымачивания показывает его производственную эффективность. За одно и то же время (5–20 мин) при центробежной пропитке образцы увеличили свою массу примерно на 47,35 %, а

при пропитке способом вымачивания – только на 1,25-1,5 %, т. е. меньше почти в 50 раз.

Кроме того, рассматриваемый способ позволяет регулировать расход пропитывающего состава. Масса образцов, пропитанных карбамидной смолой, с увеличением по массе на 38 %, после центрифугирования в установке без КС уменьшилась на 14,3 % вследствие удаления части карбамидной смолы из образцов после центрифугирования. Следовательно, в случае необходимости часть лишней жидкости, впитанной в образцы, может быть удалена из них путем вращения в центрифуге.

Известно, что методы пропитки древесины предусматривают введение в древесину различных полимерных модификаторов, что можно осуществить в результате центробежного способа пропитки. Отсюда, качественные показатели пропитанной древесины в существенной степени будут определяться такими параметрами, как глубина пропитки, количество введенного вещества и технология пропитки влажной древесины.

Для пропитки древесины карбамидной смолой КС-1, карбамидоформальдегидной смолой КФ-МТ-15 (ТУ 6-06-12-88) и фенолоспиртами (ФС) использовались образцы размером (мм) 25x25x300, 35x35x300, 45x45x300, 60x60x300, которые предварительно обезвоживались на центрифуге-установке. Результаты исследований приведены в таблицах 2 и 3.

В результате проведенных исследований и обработки опытных данных составлено уравнение

$$B_{\text{он}} = 0,00442 \times S^2 - 1,445 \times S + 15,35, \quad (3)$$

где  $B_{\text{он}}$  – водопоглощение пропитанной древесины, %;  $S$  – содержание карбамидной смолы, %.

Результаты исследований показали, что пропитка древесины карбамидными смолами значительно улучшает ряд физико-механических свойств (табл. 3). Натуральная древесина осины имеет невысокий предел прочности при сжатии поперек волокон, причем в различных (тангентальном и радиальном) направлениях, так же, как и другие породы.

Таблица 1

Результаты центробежного обезвоживания образцов древесины различных пород с радиусом вращения 0,3 м

Порода	Состояние перед обезвоживанием	Режим обезвоживания			Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup>		Снижение плотности, %	Коэффициент интенсивности обезвоживания $10^3 \xi_{\text{н.о}}$	Расчетная плотность, кг/м <sup>3</sup>		Отклонения расчетной плотности от экспериментальной, %
		Температура, $t_{\text{б}}$ , °С	Угловая скорость $\omega$ , рад/с	Время обезвоживания $t$ , с	Начальная $\rho_{\text{н}}$	Конечная эксперимент. $\rho_{\text{кэ}}$			Конечная $\rho_{\text{рп}}$	Предельная $\rho_{\text{рп.о}}$	
Береза	1	15	78	240	888	760	14,5	4,60	770	690	1,3
	2	15	78	320	890	767	14,0	5,36	768	738	0,3
	3	15	125	320	911	780	14,5	10,3	764	756	2,0
	4	10	125	320	908	783	13,8	6,63	782	705	0,4
	5	10	78	240	812	788	6,0	4,32	788	731	0,1
Осина	1	15	105	380	823	744	17	3,73	737	641	1,7
	2	15	105	420	807	734	13	4,87	741	656	2,2
	3	15	105	400	792	664	16	8,9	796	675	1,1
	4	15	157	520	778	613	17	5,11	710	628	0,4
	5	15	157	560	768	623	19	3,39	717	632	0,3
Сосна	1	15	78	800	773	598	22,7	1,65	586	560	2,3
	2	15	78	700	804	643	20	1,65	634	560	1,4
	3	15	78	620	920	637	30,8	1,65	627	560	1,6
	4	15	125	420	966	754	21,1	1,65	762	560	1,1
	5	15	125	420	830	652	21,4	3,60	648	596	0,5

ПРИМЕЧАНИЕ. Во втором столбце таблицы цифры означают соответственно: 1, 2, 3 – свежесрубленное состояние; 4 – хранение в воде; 5 – длительное хранение. Тем же индексам второго столбца соответствуют следующие размеры заготовок: длина от 0,3-0,65 м; ширина и высота: 1 – 25x25; 2 – 35x35; 3 – 45x45; 4 – 60x60; 5 – 80x80 мм.

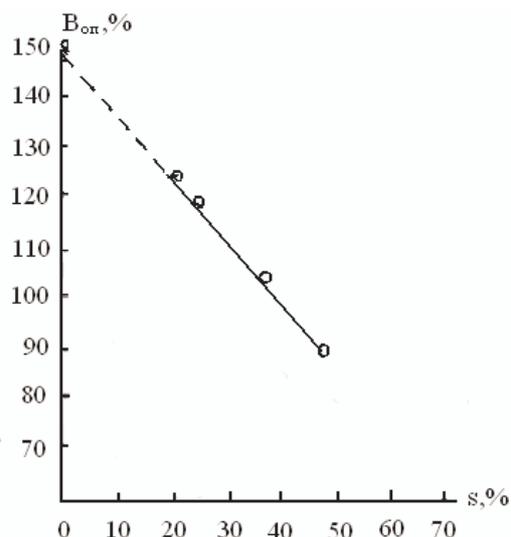


Рис. 4. Зависимость водопоглощения пропитанной древесины осины от содержания карбамидной смолы.

Таблица 2

Интенсивность центробежной пропитки образцов древесины размеров № 1 – 25x25x300 мм и № 3 – 45x45x300 мм, с радиусом вращения 0,3 м

Режим вращения центрифуги				Привес смолы, %	Влажность древесины, %	
Порода древесины	Время вращения, с.	Частота вращения, об/мин	Фактор разделения		начальная	конечная
1. Осина №1	240	750	202	25	77	36
2. Осина №3	240	1500	809	29	82	44
3. Осина №1	360	750	202	36,5	80	41
4. Осина №3	360	1500	809	48	88	47
5. Береза №1	240	750	202	27	83	49
6. Береза №3	240	1500	809	29	74	43
7. Береза №1	360	750	202	34	73	40
8. Береза №3	360	1500	809	37	78	42
9. Сосна №1	240	750	202	22	79	51
10. Сосна №3	240	1500	809	24	76	45
11. Сосна №1	360	750	202	23	80	46
12. Сосна №3	360	1500	809	30,5	82	43

ПРИМЕЧАНИЕ. № у породы древесины указывает на испытуемый образец определенного размера: № 1 – 25x25x300 мм и № 3 – 45x45x300 мм.

Таблица 3

Физико-механические свойства пропитанной древесины Физико-механические свойства пропитанной древесины

Показатель	Значение показателей физико-механических свойств древесины					
	Ядра сосны естественной	Естественной	Осины			
			Пропитанной до плотности $\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>			
			480	520	560	600
Разбухание тангенциальное, %	4,0	11,1	4,1	5,2	4,4	4,3

Продолжение таблицы 3

Разбухание радиальное, %	2,0	5,7	2,1	2,3	2,8	2,8
Водопоглощение, %	126	151	119	125	90	104
Твердость торцовая, $H/cm^2$	–	5000	6490	7250	8085	8795
Твердость вдоль волокон, $H/cm^2$	–	4340	5140	5350	6130	7030
Ударная вязкость, $кДж/м^2$	41,3	45	51	58	69	78

ПРИМЕЧАНИЕ: согласно ГОСТ, приведены показатели древесины сосны в качестве сравнения с полученными экспериментальными показателями древесиной осины.

На основании экспериментальных данных исследований центробежного способа пропитки были сделаны следующие выводы:

1. Окрашенная вода и карбамидные смолы впитываются достаточно быстро и легко по сравнению с полимерной жидкостью. Это позволяет утверждать, что показатели процесса пропитки прямо пропорционально связаны с вязкостью пропиточного состава.

2. Для пропитки образцов из осины толщиной 80 мм, окрашенных водой при частоте вращения барабана 1500 об/мин., требуется 300 с. (5 мин.), а карбамидной смолой – 480 с. (8 мин.), учитывая полную загрузку барабана до 25 кг за один цикл центрифугирования.

3. Для пропитки следует использовать наибольшую проницаемость дерева в направлении вдоль волокон, а также поперечную проницаемость.

4. Пропиточная жидкость, проникая через боковую поверхность и периферийную торцовую, вытесняет через другую торцовую поверхность воздух, что обуславливает равномерное и интенсивное пропитывание образцов.

5. Давление пропиточного агента [4] на боковых сторонах заготовки распределяется так, что характер проникновения жидкости исключает возможность сохранения непропитанных зон древесины.

6. Существует возможность регулирования количества впитываемой жидкости и достижения максимальной глубины пропитки древесины, варьируя продолжительность пропитки и скорость вращения центрифуги. При необходимости часть впитавшейся жидкости можно удалить путем вращения в этой же установке после удаления пропитывающего состава из центрифуги.

7. Существует возможность сочетания комбинированного способа обезвоживания и пропитки древесины.

Эффективная пропитка тем или иным способом может производиться лишь при определенной влажности материала. В связи с общей интенсификацией [3]

промышленных производств необходимо искать пути сокращения цикла сушки-пропитки при сохранении качества древесного сырья и улучшении его физико-механических свойств.

#### Литература

1. 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 // Инженерный журнал. Справочник. 2011. № 1, С. 41-44.
2. Куницкая О.А. Моделирование различных способов пропитки древесины полимерами // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2011. № 3, С. 131-135.
3. Коробов В. В., Брик М. И., Рушнов Н. П. Комплексная переработка низкокачественной древесины и отходов лесозаготовок/ В. В. Коробов, М. И. Брик, Н. П. Рушнов. М.: Лесная промышленность, 1978. 272 с.
4. Оснач Н. А. Проницаемость и проводимость древесины/ Н. А. Оснач. М.: Лесная промышленность, 1964. 178 с.
5. Патыкин В. И. Проблема повышения плавучести круглых лесоматериалов/ В. И. Патыкин. М.: Лесная промышленность, 1976. 264 с.
6. Патыкин В. И. Техническая гидродинамика древесины/ В. И. Патыкин, Ю. Г. Тишин, С. М. Базаров. М.: Лесная промышленность, 1990. 304 с.

#### References

1. Kunitskaya O.A., Bazarov S.M., Rzhavtsev A.A., Grigor'ev I.V. Design and the theory to calculate a unit for wood impregnation with viscous-flow components in the piezomagnetic field.// Inzhenernyy zhurnal. Spravochnik. 2011. № 1. P. 41-44.
2. Kunitskaya O.A. Modeling of different types of wood impregnation with polymers. // Vestn. Mosk. gos. un-ta lesa. Lesnoy vestnik. 2011. № 3. P. 131-135.
3. Korobov V. V., Brik M. I., Rushnov N. P. Integrated low-grade timber and lumbering waste products utilization./ V. V. Korobov, M. I. Brik, N. P. Rushnov. M.: Lesnaya promyshlennost', 1978. 272 p.
4. Osnach N. A. Wood permeability and conductivity./ N. A. Osnach. M.: Lesnaya promyshlennost', 1964. 178 p.
5. Patyakin V. I. Problem of roundwood floatability improvement./ V. I. Patyakin. M.: Lesnaya promyshlennost', 1976. 264 p.
6. Patyakin V. I. Wood engineering fluid dynamics./ V.I. Patyakin, Yu.G. Tishin, S.M. Bazarov. M.: Lesnaya promyshlennost', 1990. 304 p.