

**Министерство образования и науки РФ**

**ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический  
университет**

**Институт лесопромышленного бизнеса и дорожного строительства  
Кафедра инновационных технологий и оборудования деревообработки**

Е. И. Стенина

## **Способ пропитки древесины «Горяче-холодные ванны»**

Методические указания по выполнению лабораторной работы студентами  
всех форм обучения по направлению 35.03.02 «Технология  
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»

Екатеринбург  
2016

Печатается по рекомендации методической комиссии  
Протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_.

ИЛБиДС

Рецензент – доцент кафедры ИТОД Швамм Е.Е.

Редактор

---

Подписано в печать

Поз.

Плоская печать

Формат 60x84 1/16

Тираж экз.

Заказ №

Печ. л.

Цена

Редакционно – издательский отдел УГЛТУ

Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## 1. Физические основы пропитки древесины

**Пропитка древесины** - введение защитного средства в материал на заданную глубину. Продвижение фронта жидкости вглубь древесины возможно за счет разности давлений снаружи и внутри материала, возникающей под действием капиллярных сил или избыточного давления среды, а также диффузионного перемещения молекул или ионов пропитывающих веществ в древесине по полостям клеток, заполненным водой.

Как известно, для древесины характерна разветвленная система микро- и макрокапилляров, способствующих возникновению **капиллярного давления** [1]. Так при соприкосновении жидкости с твердым телом на границе раздела фаз поверхность жидкости образует определенный угол  $\theta$  (острый для смачивающих и тупой у не смачивающих жидкостей). Этот угол называется **краевым углом**, или **углом смачивания** (рис. 1).

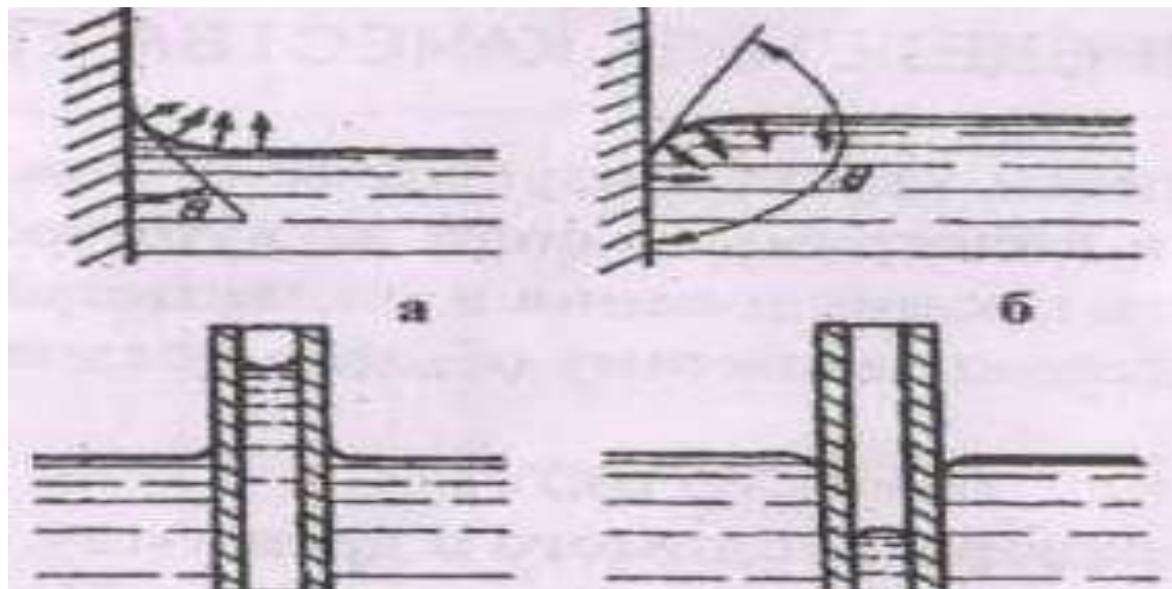


Рис. 1. Схема образования менисков в капиллярах:

*а* - смачивающие жидкости; *б* - несмачивающие жидкости

При соприкосновении капилляра достаточно малого диаметра с жидкостью в ней образуется мениск. Положительное капиллярное давление мениска (несмачивающая жидкость) вызывает снижение уровня жидкости в капилляре, а отрицательное давление, называемое также капиллярным натяжением (смачивающая жидкость), - повышение этого уровня. Как правило, пропитывающие жидкости по отношению к древесине являются смачивающими.

В цилиндрическом капилляре давление определяется выражением

$$P_K = 2a_n \cos \Theta / r \quad (1)$$

где  $a_n$  - коэффициент поверхностного натяжения, т.е. сила натяжения пленки жидкости, отнесенная к единице ее длины;

$\Theta$  - краевой угол;

$r$  - радиус капилляра.

Перепад давления  $\Delta P$ , вызывающий перемещение жидкости в капилляре, зависит от ряда факторов. Например, если образец полностью погружен в пропитывающую жидкость и ее перемещение по капиллярам происходит со всех сторон сортимента одновременно, то перепад давления, вызывающий движение жидкости, в этом случае

$$\Delta P = P_K + P_0 - P_B \quad (2)$$

где  $P_K$  - капиллярное давление;

$P_0$  - давление окружающей древесину среды;

$P_B$  - давление защемленного в полостях клеток воздуха.

При равенстве капиллярного давления  $P_K$  и давления защемленного воздуха  $P_B$  перемещение жидкости прекращается, а глубина пропитки - максимальная (2...5 % толщины сортимента). Дальнейшее проникновение жидкости в древесину возможно по мере растворения воздуха в воде и

диффузии его молекул через капиллярные каналы в окружающую среду.

В сырой древесине, когда все ее микроструктуры заполнены водой, возможность капиллярного движения исключена в связи с отсутствием по объему древесины разности капиллярных давлений.

Создание избыточного давления (по отношению к давлению внутри древесины) возможно как за счет внешнего давления среды (пропиточного раствора), так и путем охлаждения предварительно нагретой древесины.

При нагревании древесины возрастает давление паровоздушной смеси в полостях клеток древесины за счет температурного расширения и роста парциального давления пара. Вследствие газопроницаемости древесины паровоздушная смесь из нее частично удаляется, и устанавливается давление близкое к атмосферному. При последующем охлаждении древесины, полностью погруженной в жидкость, давление в полостях клеток снижается, т.е. создается разрежение.

Давление среды, равное атмосферному, становится избыточным по отношению к давлению в древесине. Продвижение фронта пропитывающей жидкости в глубь материала происходит под действием образовавшегося перепада давления  $\Delta P$ , величина которого определяется выражением

$$\Delta P = P_a - \left[ P_{н2} + P_a - P_{н1} \frac{t_2}{t_1} \right], \quad (3)$$

где  $P_a$  - атмосферное, или барометрическое, давление;

$P_{н2}$  - давление насыщения водяного пара в полостях клеток охлажденной древесины при температуре холодной ванны;

$P_{н1}$  - давление насыщения водяного пара в полостях клеток нагретой древесины;

$t_1, t_2$  - средняя абсолютная температура соответственно нагретой и охлажденной древесины.

Перепад давления  $\Delta P$  зависит от разности давлений  $P_{н1}$  и  $P_{н2}$ , на которую в свою очередь влияют влажность древесины, температура древесины в нагретом и охлажденном состоянии (причем, в большей степени - температура нагретой древесины).

Во время нахождения воздушно-сухой древесины в горячей жидкости наблюдается небольшой привес массы (рис. 1). Собственно насыщение материала жидкостью происходит при охлаждении его. Интенсивность привеса зависит от того, протекает ли дальнейший процесс пропитки с перерывом или без перерыва (без контакта нагретой древесины с воздухом).

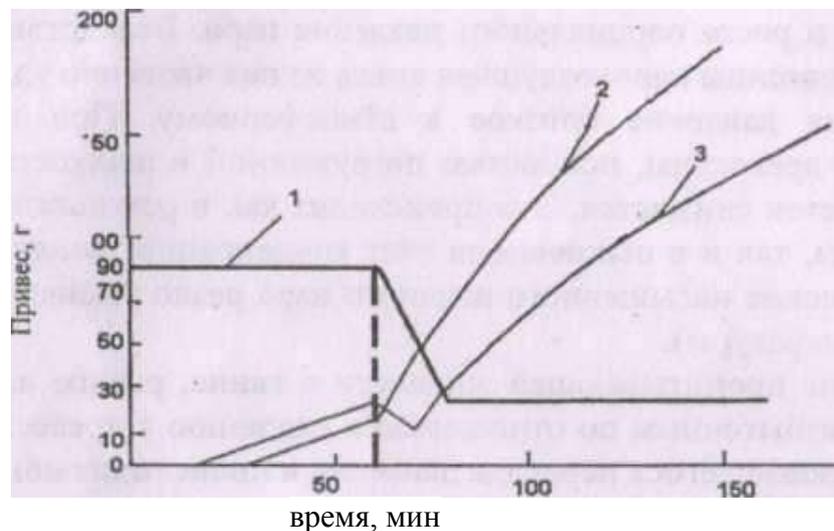


Рис. 1. Изменение температуры и привеса при пропитке древесины в горячей - холодной ваннах:

**1** - изменение температуры жидкости в процессе пропитки; **2** - изменение привеса жидкости в древесине при пропитке без перерыва; **3** - изменение привеса жидкости при пропитке с перерывом (переносом древесины из одной ванны в другую)

В практике консервирования древесины пропитка с использованием горяче-холодных ванн имеет следующие технологические варианты:

1) пропитка древесины с использованием двух ванн (в ходе процесса

древесину перегружают из ванны с горячей пропитывающей жидкостью в ванну с холодной жидкостью);

- 2) пропитка с использованием одной (жидкость заменяют путем перекачки насосами);
- 3) нагрев и медленное охлаждение древесины в одной ванне без замены жидкости;
- 4) пропитка в холодной ванне после предварительного нагрева или сушки древесины в лесосушильной камере.

Регулирование показателей качества пропитки осуществляется либо за счет изменения параметров режима процесса (его продолжительности, разницы температур), либо изменением концентрации пропитываемого раствора.

## 2. Определение качества пропитки

Достижение надлежащего качества пропитки древесины невозможно без соответствующего контроля *глубины пропитки, количества поглощенного защитного вещества* (антисептика или антипирена) и *равномерности его распределения* по древесине.

Величина *общего поглощения* ( $\Pi_o$ ) рассчитывается по формуле:

$$\Pi_o = \frac{m_p}{V} C, \text{ кг/м}^3 \quad (4)$$

где  $V$  - объем образца, см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>;

$C$  - концентрация раствора защитного средства, в долях единицы

$m_p$  - масса раствора, вводимого в древесину, г, кг;

$$m_p = m_2 - m_1 \quad (5)$$

где  $m_2$  – масса контрольного образца после пропитки, г, кг;

$m_1$  – масса контрольного образца до пропитки, г, кг.

**Глубину** проникновения защитного средства в древесину определяют по ширине окрашенной зоны как сплошной, так и слоистой в миллиметрах или % от толщины или сечения материала. При пропитке бесцветными растворами антисептиков границу пропитанной зоны образцов определяют с помощью индикаторов, дающих цветную реакцию с применяемым антисептиком.

**Равномерность** распределения защитного средства определяют визуально.

Регламентируемые ГОСТ 20022.0-93 «Защита древесины. Параметры защищенности» [3] значения показателей качества защитной обработки приведены в приложении.

### 3. Порядок выполнения работы

#### Цель работы:

- сформировать представление о физических основах различных способов введения в капиллярную структуру древесины пропиточных растворов, особенностях пропитываемости древесины, режимах пропитки и системе оценки качества защитной обработки;
- сформировать навыки пользования нормативной документацией, определения показателей качества, обработки результатов и их анализа.

**Используемые материалы, приборы и оборудование:** образцы древесины, антисептик – 3,5%-ный водный раствор фтористого натрия; проявитель фтористого натрия, химическая посуда, весы, штангенциркуль, расколочный нож, молоток, сушильный шкаф, установка ГХВ.

**Ход выполнения работы:**

- Отобрать 4 образца влажностью  $8 \pm 2\%$ .
- Промаркировать и пронумеровать образцы.
- У каждого образца штангенциркулем измерить 3 взаимно перпендикулярных размера с точностью до 0,01 см (замер производить по середине измеряемой грани (рис.2). Результаты измерений занести в таблицу 1.

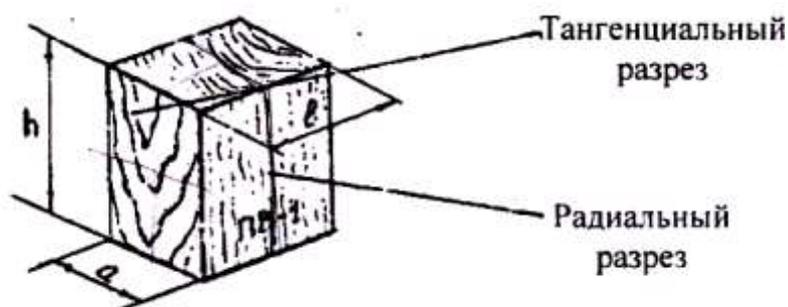


Рис. 2. Схема измерения образца

- Образцы взвесить на аналитических весах с точностью до 0,01 г. Результаты измерений занести в таблицу 1.
- Определить у образцов породу, особенности строения, пороки и внести соответствующие записи в таблицу 1.

**Таблица 1.**

**Первичные результаты эксперимента.**

№ образца	Размеры, см			Объем образца, $V, \text{ см}^3$	Масса, г		Общее поглощение, $P_0,$ $\text{кг/м}^3$	Глубина, мм			Способ пропитки образца	Влажность образца	Примечания	
	$a$	$b$	$h$		до пропитки, $m_1$	после пропитки, $m_2$		поперек волокон		вдоль волокон				
								в радиальной плоскости	в тангентальной плоскости					

- Образцы № 1 и № 2 поместить в контейнеры для пропитки способом *горяче-холодных ванн* (образец № 1 будет пропитываться *без прерывания процесса*, а образец № 2 при перемещении из горячей ванны в холодную будет 3 мин находиться на воздухе). Продолжительность нахождения в горячей ванне 20 мин., в холодной – 20 мин. Для удобства осуществления контроля времени можно воспользоваться таблицей 2.
- Образец № 3 поместить в сушильный шкаф на 20 мин., а затем - на 20 мин в фарфоровый стакан № 3 с пропиточным раствором комнатной температуры., воспользовавшись противосплывной сеткой (способ *паровоздушный прогрев – холодные ванны*, ПХВ).
- В стакане № 4 осуществить пропитку образцов № 4 способом *окунания* в течение 40 мин. Образцы удерживать в затопленном состоянии противосплывной сеткой.

**Таблица 2.**

**Контроль продолжительности процессов пропитки**

Способ пропитки	Текущее время, час.мин.			
	начало эксперимента	окончание 1-ой стадии	окончание 2-ой стадии	окончание 3-ей стадии
ГХВ непр			-	
ГХВ				
ПХВ			-	
окунание			-	-

- После завершения процессов пропитки произвести повторное взвешивание образцов, предварительно промакнув их фильтровальной бумагой.
- Образцы спецножом расколоть вдоль волокон в радиальной и тангенциальной плоскостях.
- Плоскости раскола обработать проявителем, который нанести мягкой кистью. По истечении 5... 10 мин на пропитанной части древесины, где

присутствует фтор, красная окраска исчезнет и древесина приобретет первоначальный вид, а непропитанная древесина останется окрашенной.

- С помощью линейки или штангенциркуля определить глубину проникновения антисептика вдоль (с 2-х торцов) и поперек волокон как в радиальной, так и в тангентальной плоскостях. В таблицу 1 заносят средние значения нескольких соответствующих измерений.
- Провести расчет продолжительности нагрева доски заданной породы и толщины до требуемой температуры.

### Расчёт продолжительности нагрева

Расчет продолжительности прогрева является основным в общей схеме расчета (выбора) оптимальной продолжительности пропитки способом ГХВ.

Таблица 3.

#### Данные для расчетов

№ варианта	Порода	Толщина пластины $2R$ , мм	Начальная температура пластины, $t_o$ , °C	Температура в горячей ванне, $t_c$ , °C	Температура в середине доски, $t$ , °C	Начальная влажность доски, $W$ , %	Плотность $\rho_w$ , г/см <sup>3</sup>
1	сосна	30	20	90	60	20	0,500
2	сосна	40	20	90	70	20	0,500
3	сосна	40	20	80	60	30	0,560
4	сосна	30	20	80	70	30	0,560
5	береза	30	20	90	60	20	0,630
6	береза	40	20	90	70	20	0,630
7	береза	40	20	80	60	30	0,645
8	береза	30	20	80	70	30	0,645
9	бук	50	20	90	60	20	0,640
10	бук	60	20	90	70	20	0,640
11	бук	60	20	80	60	30	0,650
12	бук	50	20	80	70	30	0,650

**Пример.** Сосновую пластину толщиной 4 см ( $R=0,02$  м) с начальной температурой  $t_o=20^\circ\text{C}$  нагревают в жидкости, имеющей

температуру  $t_c=80^\circ\text{C}$ . Условная плотность материала  $420 \text{ кг/м}^3$ , а влажность  $W=85\%$ . Толщина пластины ориентирована в радиальном направлении относительно волокон. Требуется установить время, в течение которого температура пластины в плоскости, отстоящей на  $1,5 \text{ см}$  ( $X$ ) от ее поверхности, достигает  $t=60^\circ\text{C}$ .

Безразмерная температура рассчитывается по формуле

$$\theta = \frac{t_c - t}{t_c - t_0}$$

$$\theta = \frac{80 - 60}{80 - 20} = 0,333$$

По этой величине и безразмерной координате отношения  $\frac{X}{R} = \frac{1,5}{2} = 0,75$

находим по номограмме критерий Фурье:  $F_\theta = 0,53$  (рис. 3).

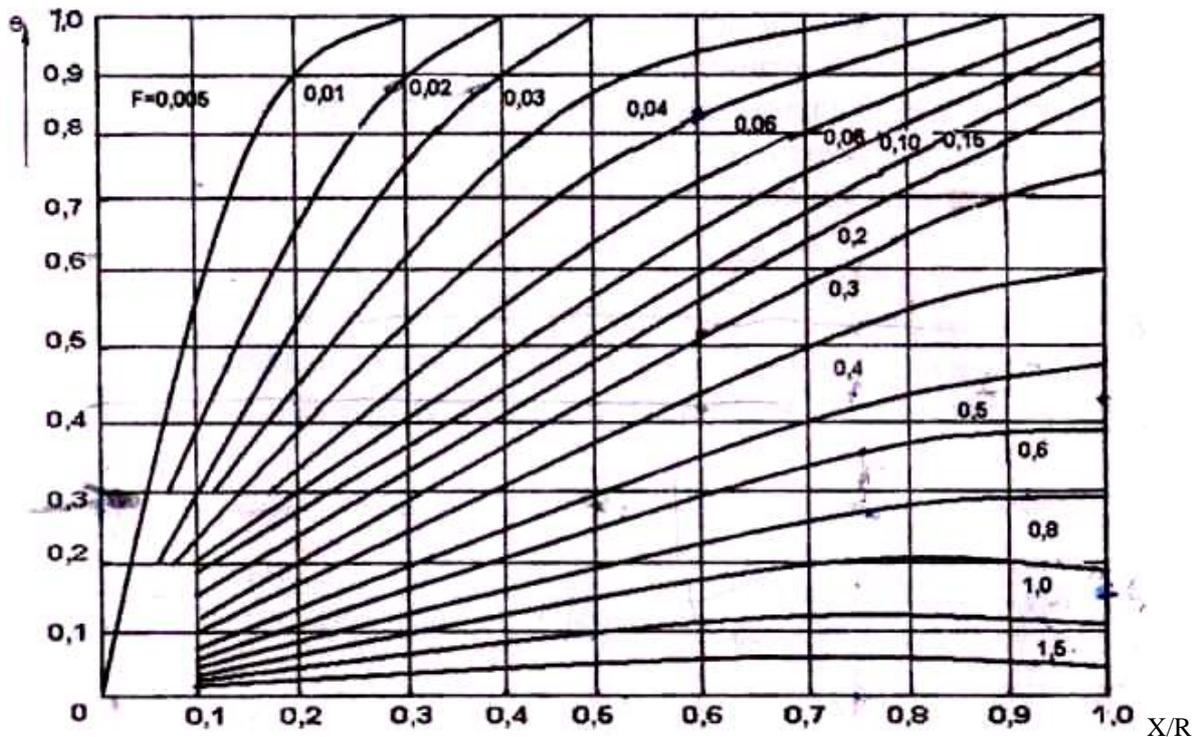


Рис. 3. Номограмма критерия Фурье

Необходимая продолжительность нагревания находится по формуле:

$$\tau = \frac{F_0 R^2}{a}, \quad (6)$$

где  $\tau$  - продолжительность прогрева до  $t=60$  °С, с;

$a$  - коэффициент температуропроводности, м /с;

$R$  - половина толщины пластины, м.

Чтобы воспользоваться этим уравнением, нужно установить коэффициент температуропроводности, который находится по формуле

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \quad (7)$$

где  $c$  - удельная теплоемкость древесины, Дж/(кг·°С);

$\rho$  - плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С).

При заданной характеристике древесины и  $t = 60$ °С

$$\lambda = \lambda_{ном} \cdot K_x \cdot K_p, \quad (8)$$

где  $\lambda_{ном}$  - номинальное значение коэффициента теплопроводности, Вт/(м·°С);

$K_x$  и  $K_p$  - поправки на фактическое направление теплового потока и фактическую условную плотность древесины:

$K_x = 1,15$  - при радиальном направлении теплового потока;

$K_x = 1,60$  - вдоль волокон и у кольцесосудистых пород;

$K_x=1,0$  - при тангентальном направлении теплового потока;

$K_p = 1,08$  - для сосны; 1,22 - для березы; 1,30 - для бука.

Рекомендуемые значения  $\lambda_{ном}$  и  $c$  в зависимости от влажности и температуры древесины приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Рекомендуемые значения  $\lambda_{ном}$  и  $c$

Начальная влажность, %	$\lambda_{ном}$ , Вт/м·°С		$c$ , Дж/(кг·°С)	
	температура в середине пластины после прогрева, °С			
	60	70	60	70
30	0,18	0,19	$2,6 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$
20	0,16	0,17	$2,3 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$

Номинальное значение коэффициента теплопроводности будет равно

$$\lambda_{ном} = 0,29 \cdot 1,15 \cdot 1,08 = 0,36 \text{ Вт/(м·°С)}$$

Удельная теплоемкость

$$c = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг·°С)}.$$

Продолжительность нагревания до  $t = 60^\circ\text{С}$ .

$$\tau = \frac{0,53 \cdot 0,02^2 \cdot 10^7}{1,48} = 1430 \text{ с} = 0,4 \text{ ч}.$$

- Отчет по лабораторной работе оформить индивидуально в соответствии с требованиями ЕСКД, приведя теоретические выкладки, необходимые расчеты и таблицы.
- Определить регламентированные показатели качества для используемых в работе способов пропитки, приведя их в таблице 5, и сравнить их с опытными данными.

Таблица 5.

Результаты опытов

№ образца	Способ пропитки образца	Общее поглощение, кг/м <sup>3</sup>		Глубина*, мм		Равномерность
		факт	норма	факт	норма	

Примечание:\* регламентируется глубина пропитки *поперек волокон в тангентальной плоскости*.

- Проанализировать результаты работы, сформулировав выводы и приведя ответы на следующие вопросы:
  1. Какой способ пропитки обеспечивает более высокое качество по совокупности всех показателей? Почему?
  2. Обеспечивается ли регламентируемое качество в изучаемых способах пропитки?
  3. За счет каких движущих сил осуществлялось продвижение фронта жидкости вглубь древесины в изучаемых способах?
  4. В каком направлении пропитка древесины идет легче? Почему?
  5. В результате действия каких факторов возможно отклонение фактических результатов от теоретических предпосылок?

### **Библиографический список**

1. Стенина, Е. И. Защита древесины и деревянных конструкций : учебное пособие / Е. И. Стенина, Ю. Б. Левинский ; Урал. гос. лесотехн. ун-т. - Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. - 219 с.
2. ГОСТ 20022.6-93 Защита древесины. Способы пропитки. [Электронный ресурс] : межгос. стандарт / Межгос. техн. комитет по стандартизации. - М. : Изд-во стандартов, 1993
3. ГОСТ 20022.0-93 Защита древесины. Параметры защищенности. [Электронный ресурс] : межгос. стандарт / Межгос. техн. комитет по стандартизации. - М. : Изд-во стандартов, 1993
4. ГОСТ 20022.2-80 Защита древесины. Классификация. [Электронный ресурс] : межгос. стандарт / Межгос. техн. комитет по стандартизации. - М. : Изд-во стандартов, 1993
5. ГОСТ 20022.1-90 Защита древесины. Термины и определения. [Электронный ресурс] : межгос. стандарт / Межгос. техн. комитет по стандартизации. - М. : Изд-во стандартов, 1990