

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

**ВЫЯСНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ  
РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ И РАЗРАБОТКА  
ДИСТАНЦИОННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ  
ВЛАЖНОСТИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКО-  
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ИХ СУШКЕ В ПЕТРОЛАТУМЕ****В. Н. ПЕТРИ**

Профессор, доктор сельскохозяйственных наук

**П. И. АНАНЬИН**

Инженер

(Уральский лесотехнический институт).

В настоящее время в промышленности (особенно на предприятиях, потребляющих незначительное количество сухой древесины) находит все большее распространение температурная сушка лесоматериалов в петролатуме. Для широкого внедрения этого метода сушки следует:

1) выявить причины появления и пути предотвращения внутренних трещин в высушиваемых лесоматериалах; 2) изыскать надежные методы контроля влажности древесины в процессе сушки; 3) исследовать обрабатываемость высушенной древесины на станках, ее склеиваемость и восприимчивость к отделке лаками, красками и пр.; 4) изучить влияние высоких температур на физико-механические свойства древесины.

Первые два вопроса и явились предметом исследований, проведенных нами в Уральском лесотехническом институте. Результаты экспериментов описаны в настоящей статье.

\* \* \*

Для проведения опытов была оборудована ванна размером  $350 \times 350 \times 1100$  мм. Обогрев ванны осуществлялся тремя индивидуально включенными электрическими спиралями, помещенными непосредственно в петролатум. Установленная мощность каждой спирали — 1,5 квт. Мощность обогревателей позволяет поддерживать постоянно температуры петролатума или в сравнительно короткий срок повышать ее до нужных значений. Регулирование температуры петролатума осуществлялось контактным термометром.

Контроль за влажностью древесины в процессе сушки производился путем взвешивания подвергаемых обработке образцов на технических

весах \* и при помощи измерения температуры внутри образца. Однако изменение веса древесины в процессе сушки не дает достаточно ясной картины изменения влажности, так как при испарении связанной влаги происходит изменение объема (усушка), и, кроме того, высушивание происходит неравномерно по сечению \*\*.

### Причины образования внутренних трещин

В различных режимах сушки исследовались образцы из сосновой древесины, имевшей различную влажность и различную начальную температуру (выше и ниже нуля). Для опытов изготовлялись образцы толщиной до 65 мм и длиной до 1000 мм.

Исследовались следующие режимы:

1) Древесина прогревалась при температуре петролатума, равной 100° С, затем температуру среды быстро повышали до заданной, которая и выдерживалась постоянной до окончания сушки.

2) Древесина прогревалась при температуре петролатума, равной 100° С, затем температура повышалась до 110° С и поддерживалась на этом уровне до тех пор, пока из древесины не испарялась вся свободная влага. После этого температура среды постепенно поднималась до такого значения, чтобы разность температур среды середины исследуемого образца не превышала 3—5° С.

3) Древесина прогревалась и высушивалась при одной и той же температуре (выше 100° С).

4) Древесина высушивалась в среде, подвергнутой вибрации, осуществляемой звуковым вибратором, который питался током промышленной частоты.

После остывания и десяти-двенадцатичасового выдерживания при комнатной температуре древесина осматривалась. Для этого производилась поперечная распиловка исследуемых образцов на бруски длиной 15—20 см и определение послойной и средней влажности древесины. Опытами установлено, что если сушка производилась при температуре, не превышающей 120° С, то внутренних трещин в древесине не образуется, а трещины, имевшиеся до сушки, при этих условиях заметно увеличиваются в размерах.

При хранении высушенной древесины в комнатных условиях ( $t = 18—20^{\circ}\text{С}$  и  $\varphi = 60—65\%$ ) в образцах, имевших влажность в центре бруска выше равновесной, появились внутренние трещины, несмотря на то, что средняя влажность всего сечения соответствовала равновесной. В этом случае трещины у поперечно распиленных образцов в месте распила появились в первые 2—3 дня. У аналогичных образцов, не подвергавшихся поперечной распиловке, внутренние трещины появились через более продолжительное время (иногда через 5—6 месяцев). Наиболее крупные трещины наблюдались в брусках с большим перепадом влажности по сечению.

При температуре петролатума выше 120° С сушка сопровождалась глухими ударами внутри ванны, а после выгрузки и распиловки в древесине обнаружены внутренние трещины.

Предположение, что при загрузке древесины с температурой ниже 0° С в петролатум с температурой выше 100° С в древесине образуются трещины, опытами не подтвердилось.

\* Схема проведения подобных опытов заимствована у П. В. Соколова [1].

\*\* После достижения в центре брусков влажности, равной точке насыщения волокон, наблюдалось даже увеличение веса за счет пропитки.

Наиболее рациональным, в смысле продолжительности, режимом сушки можно считать такой, при котором постоянная возможная температура среды наиболее высока. (Для тонких сортиментов возможно применение температуры выше  $120^{\circ}\text{C}$ ).

Мнение, что температура среды  $100\text{--}110^{\circ}\text{C}$  в начальный период приводит к ускорению процесса в конце сушки и улучшает качество продукции, не оправдалось. Применение вибрации жидкости звуковым вибратором, питающимся током промышленной частоты, сокращения сроков сушки не дает. Отмечена даже тенденция к замедлению сушки древесины.

### Изменение температуры внутри древесины

При загрузке древесины в петролатум с температурой выше  $100^{\circ}\text{C}$  происходит быстрый прогрев древесины. Опыты проводились с совершенно одинаковыми образцами сосновой древесины, взятыми из полутораметрового отрезка ствола, из одних и тех же годовичных слоев.

Для проведения опытов была установлена температура петролатума, равная  $129 \pm 1^{\circ}$ . Измерение температуры внутри брусков квадратного сечения производилось термометром сопротивления или термопарой, которые помещались на дно гнезда, просверленного через торец образца вдоль волокон древесины. Измерение ЭДС термопары производилось милливольтметром или потенциометрическим мостом. Специальными предварительными опытами было установлено, что для неискаженного определения температуры в толще древесины глубина отверстия должна быть в 5—6 раз больше расстояния от дна гнезда до пласти. Гнездо плотно заделывалось стержнем-пробкой, изготовленной из той же древесины. Проводники, идущие от термопары к измерительному прибору, располагались между древесиной и пробкой. Наиболее удобными для измерения температуры внутри древесины оказались термопары из неблагородных металлов (медь — константан) в эмалевой изоляции, а в качестве измерительного прибора, — потенциметр с точностью до  $0,001\text{ мВ}$ .

Для определения влияния влажности на прогрев древесины были взяты: 1) абсолютно сухие образцы, высушенные до постоянного веса в сушильном шкафу при  $t = 100^{\circ}$  и охлажденные в эксикаторе с обезвоженным хлористым кальцием; 2) образцы с влажностью ниже точки насыщения волокна, высушенные и выдержанные в комнатных условиях ( $W_{\text{нач}} = 11,7\%$ ); 3) образцы с влажностью выше точки насыщения волокна — свежесрубленная ядровая древесина с  $W_{\text{нач}} = 33\%$ .

Опытами установлено, что древесина с различной влажностью прогревается по-разному:

1) При прогреве абсолютно сухой древесины температура в середине бруска повышается равномерно, до тех пор, пока не достигает  $100^{\circ}\text{C}$ , а в дальнейшем возрастание температуры отклоняется от прямолинейной зависимости и, наконец, выравнивается с температурой среды.

2) При прогреве древесины, влажность которой ниже точки насыщения волокна, возрастание температуры до  $t = 100^{\circ}$  равномерно, а после достижения  $100^{\circ}$  скорость прогрева резко убывает, но изменение также следует закону прямой.

3) При прогреве древесины, влажность которой выше точки насыщения волокна, возрастание температуры до  $100^{\circ}$  происходит пропорционально времени, то есть аналогично двум первым случаям. После достижения  $100^{\circ}$  температура длительное время остается постоянной. В это время наблюдается бурное пенообразование, указывающее на

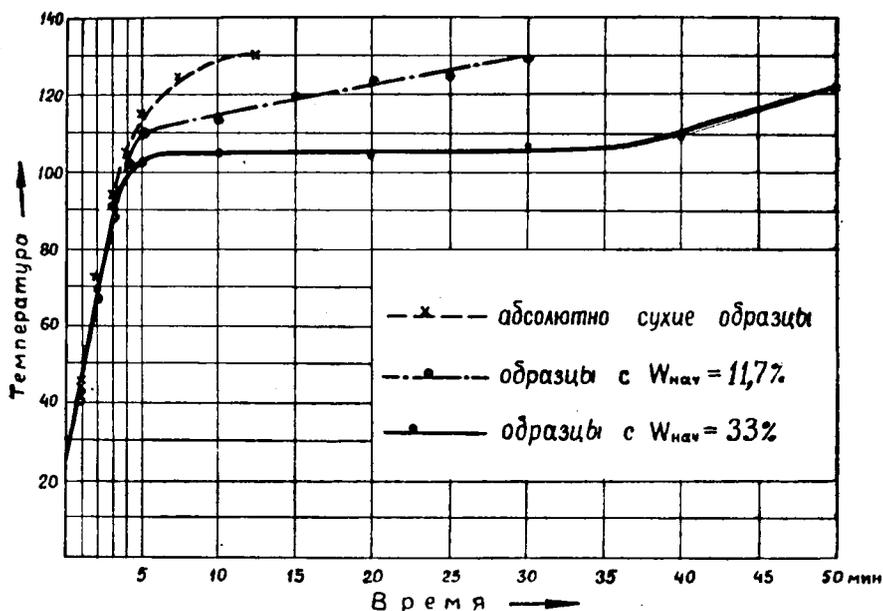


Рис. 1. Изменение температуры в середине брусков (20×20 мм) с различной начальной влажностью при выдержке их в петролатуме с температурой  $129 \pm 1^\circ\text{C}$ .

интенсивное испарение влаги. По прошествии некоторого времени температура снова начинает возрастать, достигая в конечном итоге значения температуры среды.

Для выяснения причины остановки в повышении температуры были поставлены многочисленные опыты с образцами различных сечений и при различных температурных режимах. В этих опытах определялась послойная влажность в разные периоды изменения температуры. В результате наблюдений было установлено, что остановка в изменении температуры связана с наличием в древесине свободной влаги. Температура поднимается до  $t = 104\text{—}112^\circ\text{C}$  (при более высокой температуре среды) и остается на этом уровне до тех пор, пока влажность не уменьшится до 21—22%.

В дальнейшем температуру древесины, при которой происходит остановка в повышении температуры, будем называть «температурой древесины при испарении свободной влаги» и обозначать  $t_{и.с.в.}$

При сушке в петролатуме  $t_{и.с.в.}$  зависит от температуры петролатума, сечения материала, объемного веса и от того, из какой части ствола взят испытуемый образец. Установлено, что чем выше температура среды, тем выше  $t_{и.с.в.}$ . Аналогична зависимость  $t_{и.с.в.}$  от величины сечения и объемного веса. Температура древесины при испарении свободной влаги для заболони ниже, чем для ядра.

Отмечено, что  $t_{и.с.в.}$  всегда выше  $100^\circ\text{C}$ . Это указывает на наличие избыточного давления в элементах древесины, возникающего вследствие сопротивления движению влаги по древесине. Последнее предположение совпадает с мнением А. И. Фоломина [2].

При многократном сопоставлении температуры древесины в процессе сушки после испарения свободной влаги и влажности древесины на тех участках, где измерялась эта температура, было установлено, что температура древесины находится в некоторой зависимости от влажности

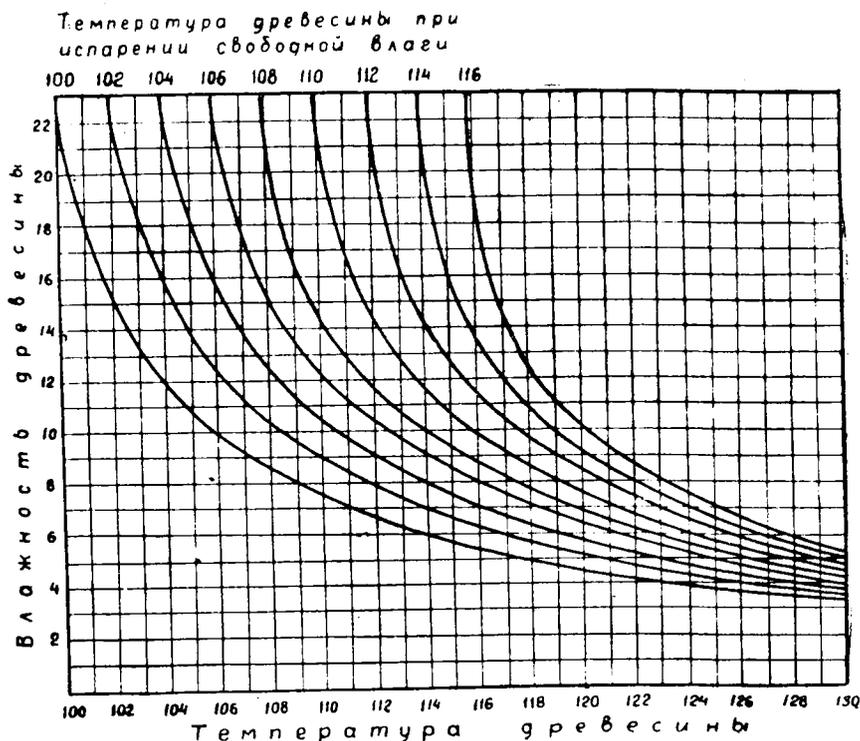


Рис. 2. Определение влажности по температуре древесины в данный момент и температуре ее в период испарения свободной влаги.

древесины и температуры ее в период испарения свободной влаги. Эта зависимость изображается графиком, представленным на рис. 2. Влажность образцов, определяемая по графику, отличается от значений влажности, определенной весовым способом, не более, чем на 1—1,5%.

#### Распределение влаги по сечению образца в различные периоды сушки древесины в петролатуме и дистанционный метод контроля за процессом сушки

Послойная влажность древесины определялась: а) перед сушкой; б) в момент достижения в центре бруска  $t_{и.с.в}$ ; в) в момент окончания периода испарения свободной влаги; г) после окончания сушки.

Влажность определялась весовым способом в сечениях, удаленных от торца на расстояние в четыре раза больше, чем толщина исследуемого образца. Сечение раскалывалось на четырех-шестимиллиметровые слои в зависимости от величины сечения).

Перед сушкой в большинстве случаев распределение влаги было равномерным.

К моменту, когда температура в центре бруска достигала значения  $t_{и.с.в}$ , распределение влаги по сечению имело явно выраженный параболический характер. При этом в центре бруска влажность равнялась  $W_{нач}$ , а влажность наружных волокон зависела от температуры среды. Значение влажности легко определить по графику (рис. 2), зная

температуру среды и принимая  $t_{и.с.в} = 100^\circ\text{С}$ . Например, при  $t_{и.с.в} = 120^\circ$  влажность наружных волокон равна 4,5%.

К моменту, когда после остановки температура снова начинает возрастать, влажность в том месте, где измерялась температура, соответствовала точке насыщения волокна ( $W = 21\text{—}22\%$ ) и зависела от  $t_{и.с.в}$ .

Следовательно, влажность древесины при выгрузке из петролатума и распределение влаги по сечению можно определить по температуре древесины в середине бруска и температуре петролатума.

Возможны три случая перепада влажности:

1. Температура в середине бруска (доски) соответствует  $t_{и.с.в}$  (она в течение 30 мин не изменяется, оставаясь ниже температуры петролатума).

В этом случае наружные волокна имеют влажность, соответствующую температуре среды, а внутренние от  $W_{нач}$  до  $W$  точки насыщения волокна. Перепад влажности очень велик, зависит от начальной влажности, температуры петролатума и времени, прошедшего с момента остановки возрастания температуры, и иногда достигает 20% и более.

2. Температура в середине высушиваемого бруска (доски) выше  $t_{и.с.в}$  и, постоянно увеличиваясь со временем, остается ниже температуры среды.

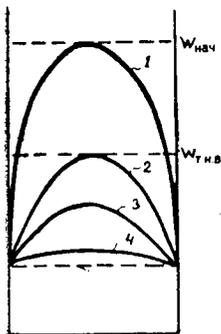
Здесь перепад влажности сильно уменьшился и его можно определить на графике (рис. 2) по температуре древесины на линии, соответствующей  $t_{и.с.в}$  для данного образца и по температуре среды по линии  $t_{и.с.в} = 100^\circ\text{С}$ .

3. Температура древесины в середине образца достигла температуры петролатума.

Перепад влажности меньше, чем в двух предыдущих случаях. Он зависит от способности древесины данного образца оказывать сопротивление движению влаги и равен разности значений влажности, определяемых линиями  $t_{и.с.в} = 100^\circ$  и  $t_{и.с.в}$  данного бруска на линии температуры древесины, равной температуре петролатума. Например, при температуре среды, равной  $120^\circ$  и  $t_{и.с.в} = 112^\circ$ , перепад составляет 3,5%, а при  $t_{и.с.в} = 106^\circ$  и той же температуре — 1,5%.

Рис. 3. Распределение влаги в древесине в различные периоды сушки.

1 — в момент достижения в середине бруска  $t_{и.с.в}$ ; 2 — конец испарения свободной влаги; 3 — при температуре древесины  $t_{и.с.в}$  и меньше температуры петролатума; 4 — в момент достижения в середине бруска температуры, равной температуре петролатума.



Последующее выдерживание древесины в петролатуме приводит к дальнейшему, довольно медленному ее высыханию, причем перепад влажности снижается до 1—2%. Это утверждение не совпадает с мнением П. В. Соколова [1], что при температуре петролатума  $100^\circ\text{С}$  невозможно высушить древесину, так чтобы ее влажность была ниже 22%, и с мнением А. И. Фоломина [2], что при температуре петролатума больше, чем  $100^\circ\text{С}$  нельзя добиться, чтобы влажность высушиваемой древесины стала ниже равновесной влажности, соответствующей температуре  $t = 105^\circ\text{С}$  и  $\varphi = 100\%$ . Нами за 20 часов были высушены бруски сосновой древесины, сечением  $20 \times 30\text{ мм}$ , при температуре петролатума  $t = 100^\circ\text{С}$ , от начальной влажности  $W_{нач} = 31,8\%$  до  $W = 13,6\%$ ; в брусках того же сечения за 12 часов влажность снизилась с 9,5 до 7,45%; а за 20 часов — до 5,88%. При температуре петролатума  $105^\circ\text{С}$  такие же бруски за 12 часов снизили влажность с 9,5 до 6,8%, за 24 часа до 5,25%. За те же сроки влажность других брусков снизилась с 33%

до 10,9% и 5,43%. Выравнивание температуры по сечению бруска наступило через 12 часов с момента загрузки. Равновесная влажность при  $t = 105^\circ$  и  $\varphi = 100\%$  по Фолломину равна 10,8%.

Таким образом, в работе показано, что при сушке сосновых пиломатериалов сечением до 65 мм в петролатуме с температурой не выше  $120^\circ\text{C}$  внутренних трещин не образуется. Внесены и некоторые другие уточнения в современные представления о режимах сушки пиломатериалов в петролатуме.

Выявленные в настоящем исследовании закономерности позволяют рекомендовать измерение температуры внутри древесины при помощи термопар, устанавливаемых в нескольких образцах, как дистанционный метод контроля за процессом высокотемпературной сушки древесины в неводной жидкости. Данный метод позволяет контролировать процесс сушки, определять непосредственно во время сушки, не извлекая древесину из жидкости, перепад влажности между наружными и средними слоями (определение конкретного численного перепада возможно лишь при влажности ниже точки насыщения волокна, то есть при влажности в середине бруска ниже 22%), устанавливать время окончания сушки и выгрузки древесины, не прибегая к другим известным способам.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. П. В. Соколов. Ускоренные способы сушки древесины. М.-Л., Гослесбумиздат, 1956. [2]. А. И. Фолломин. Физические основы тепловой сушки древесины и особенности сушки ее в неводных жидкостях. М., 1956.

Поступила в редакцию  
16 июня 1958 г.