

ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ПРОПИТАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

©В.Н. Ермолин, Т.В. Ермолина, К.А. Кенжебаев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», Красноярск, Россия

В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке технологии камерной сушки пиломатериалов после автоклавной пропитки. Особенности сушки пропитанной древесины обусловлены тем, что влажность у наружных, пропитанных слоев выше, а парциальное давление пара ниже, чем у центральных, непропитанных слоев. Это существенно изменяет технологию сушки. Начальный прогрев следует проводить при психрометрической разности $\leq 9^{\circ}$ С. Для перераспределения защитного препарата в пиломатериале продолжительность прогрева должна быть не менее 12 ч. Начальный этап сушки допустимо проводить при более жестких параметрах режима.

При сушке у пропитанных пиломатериалов появляются внутренние трещины. В результате исследований установлено, что они обусловлены уменьшением усушки и увеличением гигроскопичности пропитанных слоев пиломатериалов. Предотвратить их появление можно за счет увеличения конечной влажности пиломатериалов.

The results of theoretical and experimental researches on development of technology of chamber drying of saw-timbers after autoclave impregnation are presented in the article. Peculiarities of impregnated wood drying are conditioned by the fact that humidity at external, impregnated layers is higher, and partial pressure of vapour is lower, than those at central, not impregnated layers. This considerably modifies the technology of drying. The initial heating should be carried out at wet-bulb depression not exceeding 9° C. In order to redistribute the protective preparation in saw-timber, the duration of heating should be not less than 12 h. The Initial stage of drying is admissible to be carried out at more rigid parameters of the mode.

At drying, internal cracks emerge at impregnated saw-timbers. As a result of the researches it has been ascertained that the cracks are caused by reduction of shrinkage and increase of hygroscopticity of the impregnated layers of saw-timbers. It is possible to prevent their occurrence at the expense of increase of final humidity of saw-timbers.

Высокая горючесть и низкая стойкость к биологическим разрушителям являются главными недостатками древесины, ограничивающими ее использование. Для устранения этих недостатков, и повышения эксплуатационной надежности, древесину пропитывают водными растворами огне- и биозащитных препаратов. Эффективность такой обработки зависит от свойств используемого защитного препарата и, особенно, от качества пропитки, которое оценивается глубиной его проникновения и поглощением. Качество в значительной степени обеспечивается способом пропитки. Самые высокие показатели достигаются при автоклавной пропитке. Древесина, прошедшая обработку таким способом, имеет большие перспективы использования. Она переходит в группу трудногораемых материалов (группа Г1 по ГОСТ 30244-94). Биостойкость такой древесины обеспечивает длительную эксплуатацию в наиболее неблагоприятных

условиях (18 класс условий службы по ГОСТ 20022.2 -80).

Пиломатериалы, прошедшие автоклавную пропитку, имеют специфику, что, в частности, проявляется в процессе последующей камерной сушки. Литературные данные [1] и опыт ООО «ФиБ» (г. Красноярск) говорят о том, что при сушке пропитанных пиломатериалов есть ряд проблем, решение которых не возможно, основываясь на существующих научных положениях, разработанных применительно к непропитанным пиломатериалам. Это предопределило необходимость проведения теоретического анализа процессов, происходящих при сушке такой древесины.

Особенности пиломатериалов пропитанных автоклавным способом огне- и биозащитными препаратами заключаются в следующем:

1 Древесина имеет низкую проницаемость для жидкостей. Поэтому пропитывается не весь объем сортамента, а только его наружные слои.

Таким образом, в древесном сорimente после автоклавной пропитки можно выделить две зоны – пропитанную и непропитанную. Толщина пропитанной зоны составляет (2-5)мм для ели, пихты, лиственницы и (5-10) мм для сосны [2].

2 Ощутимые результаты, в первую очередь при пропитке антипиренами, достигаются только при введении в древесину большого количества препарата. Как правило, поглощение должно составлять от 65 до 85 кг сухого препарата на 1 м³ древесины. Ввиду ограниченности растворимости это предопределяет необходимость введения в древесину большого количества раствора. Поглощение раствора может составлять до 350 л/м³. Из-за низкой проницаемости весь этот раствор концентрируется в пропитанной зоне. Поэтому в поверхностных слоях соримента после автоклавной пропитки имеет место высокая концентрация не только защитного препарата, но и растворителя, т.е. значительно более высокая влажность.

В состоянии равновесия величина давления водяного пара в древесине P_g равна парциальному давлению пара в окружающем воздухе P_n [3]. При влажности древесины равной и более предела насыщения волокон $W_{пн}$ (т.е. $\geq 30\%$) давление пара в древесине P_g равно давлению насыщения над водой P_n такой же температуры. При влажности древесины меньше $W_{пн}$ величина P_g меньше P_n и является функцией ее влажности и температуры.

В соответствии с законом Рауля парциальное давление компонента раствора прямо пропорционально его мольной доле в жидкой фазе. Применительно к водным растворам из этого закона следует, что давление водяного пара над ними меньше, чем давление над чистой водой P_n . Чем больше концентрация раствора, тем на большую величину снижается упругость пара над ним. Величина снижения упругости паров (депрессия) над растворами некоторых защитных препаратов определена С.В. Добрыниным [4]. Так, например, величина депрессии над раствором огне- и биозащитного препарата СД-11 составляет 39 %, ДМ-11 – 27,5 %, ХМХЦ – 11%.

Учитывая все выше сказанное, распределение влажности и парциального давления пара по толщине пиломатериалов, прошедших автоклавную пропитку можно представить как на рисунке 1. Влажность центральных слоев (непропитанная зона) принята равной $W_{пн}$. У наружных слоев

(пропитанная зона) влажность значительно выше. Парциальное давление пара в древесине P_g наружных слоев, ввиду наличия там раствора защитного препарата, ниже, чем центральных. P_g в центральных слоях равно давлению насыщения P_n . Не линейный характер распределения P_g обусловлен неравномерностью концентрации препарата по толщине пропитанной зоны.

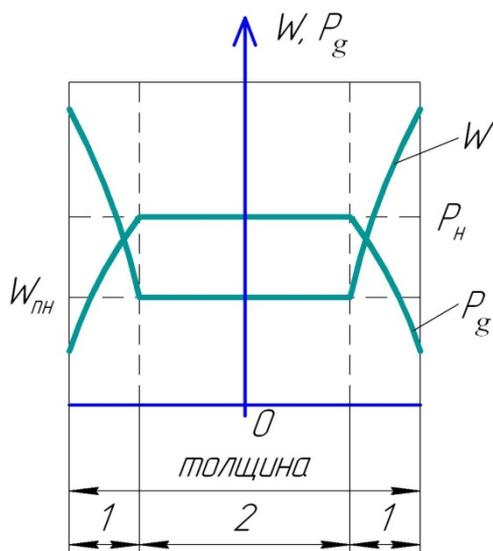
Отмеченные особенности пропитанных пиломатериалов существенно влияют на характер процессов массопереноса и поэтому их необходимо учитывать на разных этапах сушки.

Начальный прогрев. Целью данной технологической операции является доведение температуры древесины до требуемого уровня. При этом необходимо исключить испарение влаги с поверхности, т. к. это может привести к появлению пластевых трещин.

Испарение влаги с поверхности влажного тела может происходить в случае, если парциальное давление пара в материале будет выше, чем в окружающем воздухе. Это является обязательным условием испарения [3]. У непропитанной древесины, начальная влажность которой, как правило, выше $W_{пн}$, давление паров в ней P_g равно давлению насыщения P_n . Поэтому в процессе прогрева, для исключения испарения, необходимо поддерживать высокую влажность воздуха близкую к 100 %. РТМ по камерной сушке [5] рекомендует в процессе прогрева поддерживать психрометрическую разность Δt от 0,5 до 1,5 °С за счет подачи в камеру пара через увлажнительные трубы или распылением воды.

У пропитанных пиломатериалов давление паров в поверхностных слоях ниже, чем P_n (рисунок 1). Из этого следует, что при прогреве такой древесины нет необходимости в поддержании высокой влажности воздуха. Психрометрическая разность, которую следует поддерживать при прогреве, будет определяться депрессией. Расчеты, проведенные с использованием Id - диаграммы влажного воздуха и данных [4] показали, что допустима $\Delta t \leq 9$ °С.

Таким образом, при прогреве пропитанных пиломатериалов агент сушки может быть значительно суше, чем у непропитанных.



1 – пропитанная зона; 2 – непропитанная зона

Рисунок 1 – Схема распределения влажности (W) и парциального давления (P_g) по толщине пропитанных пиломатериалов

Это упростит проведение данной технологической операции и снизит требования к герметичности камер. Кроме того, снизит затраты теплоты, т.к. увлажнение агента сушки требует энергозатрат.

Собственно сушка. Сушка пиломатериалов производится по специальным режимам [5]. Они основаны на учете динамики развития влажностных напряжений и обеспечивают минимальную продолжительность сушки при сохранении целостности пиломатериалов. Пиломатериалы после автоклавной пропитки, как было отмечено выше, имеют ряд особенностей. Поэтому стандартные режимы для них не будут оптимальными.

Движущей силой переноса влаги в древесине при конвективной сушке является градиент парциального давления пара, что убедительно доказано Б.С. Чудиновым [6]. Перенос влаги происходит в сторону понижения парциального давления пара. У пропитанных пиломатериалов, несмотря на то, что влажность наружных слоев выше, чем центральных, градиент парциального давления направлен от центра к поверхности (рисунок 1). Вода из центральных слоев будет перемещаться к пропитанной зоне. Для испарения влаги из древесины, как уже отмечалось, необходимо чтобы парциальное давление пара в древесине было больше, чем в окружающем воздухе.

При пропитке растворитель проникает в древесину на большую глубину, чем защитный препарат [2]. Кроме того, препарат неравномерно распределен по толщине пропитанной зоны, что обусловлено закономерностями фильтрации через капиллярную структуру древесины. В поверхностных слоях сортамента концентрация избыточна, а в более удаленных она не достаточна. Поэтому при прогреве желательно выровнять концентрацию и увеличить глубину проникновения защитного препарата в древесину.

Перераспределение препарата может произойти за счет диффузии. Условием для осуществления процесса диффузии является наличие в древесине свободной влаги, т.е. ее влажность должна быть более $W_{пн}$. По всей глубине пропитанной зоны это условие обеспечивается. Неизотермические условия при нагревании обуславливают появление термодиффузии, направление которой совпадает с диффузией, что будет интенсифицировать перераспределение препарата.

Таким образом, при прогреве пропитанных пиломатериалов существует возможность повышения качества защитной обработки.

В стандартных режимах сушки, для исключения появления пластевых трещин, в начале (1 ступень режима) поддерживают высокую влажность воздуха [5]. У пропитанных пиломатериалов давление пара в поверхностных слоях ниже, чем у непропитанных. При использовании стандартных режимов испарение будет либо мало интенсивным, либо вообще отсутствовать. Поэтому для их сушки нужны более жесткие режимы. Но повышение жесткости может привести к появлению пластевых трещин. Это обстоятельство требует специального рассмотрения.

Причиной пластевых трещин в начальный период сушки является пересыхание поверхностных слоев пиломатериалов, в результате чего в них возникают растягивающие напряжения [7]. Для предотвращения этого в камере поддерживают параметры агента сушки, соответствующие определенной равновесной влажности древесины. В исследованиях Н.А. Максименко [8] отмечено, что пропитка древесины защитными препаратами существенно увеличивает равновесную влажность. В проведенных нами исследованиях, пропитанную препаратами древесину

высушивали до 0 %, а затем выдерживали в эксикаторе над насыщенным раствором соды течение 30 суток. В результате влажность древесины, пропитанной препаратом «ТП» составила 37,8 %, «ХМББ-1128» - 27,5 %, «ВАНН-1» - 32,7 %, «Вупротек» - 31,8 %. При этом контрольная (непропитанная) древесина приобрела влажность 25,2 %. Таким образом, пропитка увеличивает гигроскопичность древесины. Для создания одинаковой равновесной влажности у пропитанной древесины требуется меньшая влажность воздуха, чем непропитанной. Это говорит о том, что у пропитанной древесины, на начальной стадии процесса, вполне допустимо снижение влажности агента сушки, без появления трещин.

С целью проверки разработанных положений были проведены экспериментальные исследования.

Начальный прогрев пропитанных пиломатериалов проводился при разных величинах психрометрической разности воздуха в камере Δt : (3 - 5) °С, (6 - 9) °С, (10 - 13) °С. Величина Δt поддерживалась за счет распыления воды. В качестве критерия для определения величины Δt было принято изменение массы контрольных образцов в процессе нагрева. Как показали наблюдения, при поддержании в процессе нагрева $\Delta t \leq 9$ °С масса сортиментов не уменьшается, т.е. влажность не снижается. Соответственно поверхностные слои сортиментов не пересыхают. Поэтому такая величина Δt и должна поддерживаться при начальном прогреве пропитанных пиломатериалов при камерной сушке.

Для выяснения возможности перераспределения защитного препарата в древесине в процессе прогрева были проведены специальные исследования. В сушильный штабель закладывались парные образцы. Перед началом и в процессе прогрева, через каждые 4 ч с помощью индикатора, определяли глубину проникновения препарата. В результате было отмечено, что происходит увеличение глубины. Так, например, у сосновых пиломатериалов толщиной 50 мм средняя глубина проникновения увеличилась с 6,5 до 8,3 мм. При этом ощутимые изменения глубины наблюдаются в течение 12 часов. Дальнейшая выдержка не целесообразна.

Выше было отмечено, что при сушке пропитанных пиломатериалов, начальная стадия процесса может проводиться при более жестких режимных параметрах. Для этого

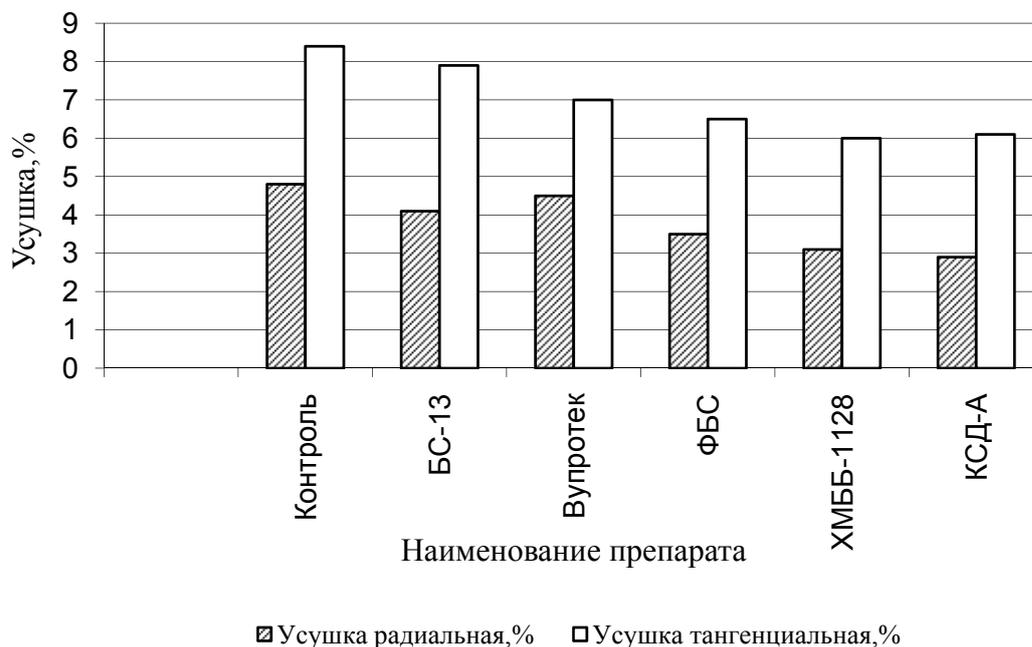
было принято при опытных сушках отказаться от первой ступени стандартного режима сушки. После начального прогрева начинали сушить сразу при параметрах второй ступени режима. Так при сушке сосновых пиломатериалов толщиной 50 мм поддерживали параметры: температура $t_c = 77$ °С, психрометрическая разность $\Delta t = 11$ °С. При сушке лиственных пиломатериалов толщиной 50 мм - $t_c = 65$ °С, $\Delta t = 10$ °С. В процессе сушки визуально контролировали состояние материала на предмет появления пластевых трещин. В результате отмечено появление трещин не более, чем у 5 % пиломатериалов. Поэтому исключение первой ступени режима сушки следует считать допустимым и целесообразным.

Обследование пропитанных сосновых пиломатериалов, высушенных до конечной влажности 8 %, показало, что от 30 до 60 % сортиментов (в зависимости от партии) имеют внутренние трещины. О большом количестве внутренних трещин, при сушке пропитанной древесины, отмечалось в ранее проведенных исследованиях [1]. У непропитанных пиломатериалов такой дефект сушки встречается, как правило, у твердолиственных пород. Для хвойных пиломатериалов такой дефект не характерен. Причиной его появления являются большие остаточные деформации удлинения в поверхностных слоях [7]. Для предотвращения таких трещин проводят промежуточную термовлаго-обработку. Но, как показал наш опыт, проведение такой операции при сушке пропитанных пиломатериалов не дает результатов. Это свидетельствует о принципиально другом механизме появления трещин у таких пиломатериалов. Выявление этого механизма требует специального анализа.

В качестве исходного было принято утверждение о том, что внутренние трещины являются следствием растягивающих напряжений в центральных слоях сортиментов. Эти напряжения могут возникнуть при условии, что усушке центральных слоев (т.е. непропитанных) препятствуют поверхностные слои (пропитанные). Для этого необходимо, чтобы поверхностные слои имели «остаточное удлинение». С целью выяснения природы этих удлинений были проведены исследования влияния пропитки древесины на величину ее усушки. В результате было получено, что усушка поперек волокон у пропитанной древесины меньше, чем у непропитанной. В зависимости от вида препарата это различие составляет от 7 до 39,5 % (рисунок 2). Таким образом, при одинаковой влажности по

сечению пропитанных пиломатериалов, размеры древесины пропитанной зоны больше, чем непропитанной центральной. Это является одной из причин появления

растягивающих напряжений в центральных слоях сортиментов. Другая причина заключается в следующем.



Как уже отмечалось, гигроскопические свойства пропитанной и не пропитанной древесины значительно различаются. При выдерживании древесины в одинаковых условиях пропитанная древесина приобретает более высокую влажность, чем не пропитанная. Вследствие этого, на завершающем этапе сушки влажность пропитанных поверхностных слоев может быть выше, чем центральных. Такая ситуация принципиально не возможна для непропитанной древесины, т.к. в этом случае исчезает движущая сила переноса влаги (градиент парциального давления) и сушка прекратится. У пропитанных пиломатериалов, даже при большей влажности поверхностных слоев, парциальное давление пара ниже, чем у центральных (рисунок 1). Соответственно сушка будет происходить. Как показали исследования, у пропитанных препаратом «Вупротек» сосновых пиломатериалов толщиной 50 мм в процессе сушки, при средней по сечению влажности 9,8 %, влажность непропитанных слоев была 8,2 %, наружных 10,8 % (рисунок 3). Такой перепад влажности также является причиной появления растягивающих напряжений в центральных слоях сортиментов.

Таким образом, растягивающие напряжения в центральных слоях сортимента на завершающей стадии процесса сушки, приводящие к появлению внутренних трещин,

являются следствием меньшей усушки и большей влажности древесины пропитанной зоны. Чем ниже влажность пиломатериалов, тем выше вероятность появления внутренних трещин. Исключить появление этих трещин за счет, каких либо технологических операций, как нам представляется, не возможно. Одним из вариантов решения этой проблемы является отказ от сушки до низкой конечной влажности. Так, например, при средней влажности в штабеле 15 % внутренние трещины обнаружены у 4 % сортиментов. Таким образом, сушить до меньшей влажности не рекомендуется. Тем более, что в процессе дальнейшей эксплуатации, пропитанная древесина, из-за повышенной гигроскопичности, приобретет примерно такую влажность. Подводя итог теоретическим и экспериментальным исследованиям можно сделать следующие выводы:

1 Пиломатериалы, прошедшие автоклавную пропитку огне- и биозащитными препаратами, значительно отличаются от непропитанных, что проявляется в процессе последующей камерной сушки.

2 В процессе начального прогрева пропитанных пиломатериалов следует поддерживать психрометрическую разность $\Delta t \leq 9$ °С. Продолжительность прогрева должна быть не менее 12 ч, что обеспечивает

перераспределение защитного средства в пиломатериалах.

3 Сушить пропитанные пиломатериалы можно по более жестким режимам, для этого рекомендуется отказаться от первой ступени сушки, а начинать сразу со второй.

4 Причиной появления внутренних трещин при сушке пропитанных пиломатериалов является уменьшение усушки и увеличение гигроскопичности пропитанной зоны. Для предотвращения растрескивания их следует сушить до влажности не ниже 15 %.

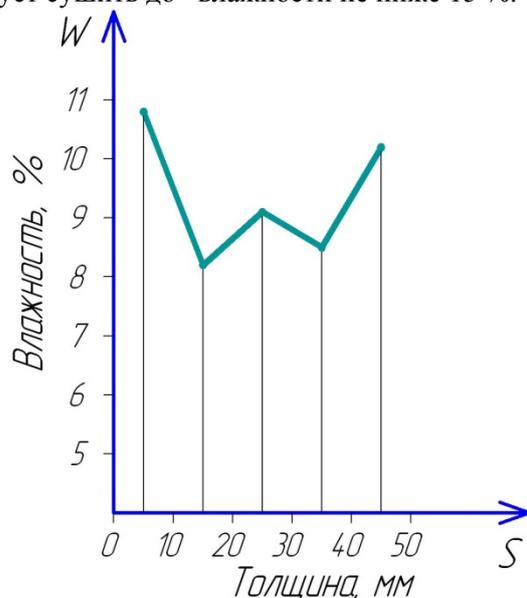


Рисунок 3 – Распределение влажности по толщине сосновых пиломатериалов сечением 50 x150 мм

Библиографический список

1 Клыков Ю.В. Сушка пропитанной древесины // Экспресс-информация МОД. Зарубежный опыт - М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986. – вып. 8. – С. 8 – 15.

2 Горшин С.Н. Консервирование древесины. – М.: Лесная промышленность, 1977. - 335 с.

3 Лыков А.В. Теория сушки. - М.: Энергия, 1968. – 472 с.

4 Добрынин С.В. Сушка пилопродукции, пропитанной гигроскопичными защитными препаратами // Рациональное использование энергетических ресурсов при сушке пиломатериалов : Тезисы докл. – Саласпилс, 1983.- С. 117 – 120.

5 Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. – 143 с.

6 Чудинов Б.С. Вода в древесине. – Новосибирск: Наука. – 1984. – 268 с.

7 Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 360 с.

8 Максименко Н.А. Равновесная влажность древесины в зависимости от характера и содержания в ней защитных средств // Науч.- техн. реф. сб. МОД. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1979. – вып. 1. – С. 4-5

