

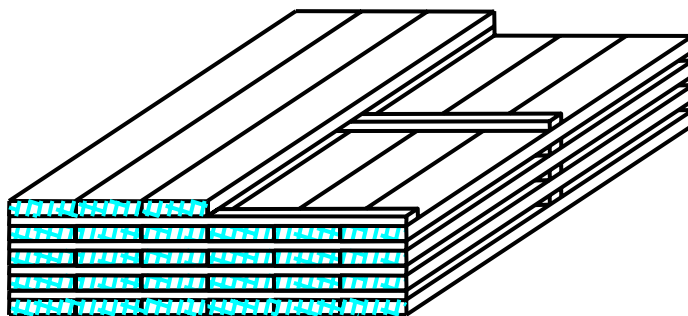
Сушка древесины

Общие положения тепловой сушки древесины

Методические рекомендации

Журнал контроля режимов сушки

specmontash@online.tver.ru



Сушка древесины

Общие положения тепловой сушки древесины

specmontash@online.tver.ru

Тверь, 2002 г.

Общие положения тепловой сушки древесины

Оглавление

1. Общие положения тепловой сушки древесины.	3
2. Закономерности движения влаги в древесине, характеристика основных процессов.	4
3. Ход процесса сушки пиломатериалов.	5
4. Напряжения в древесине при сушке. Влаготеплообработка.	7
5. Основные принципы построения рациональных режимов сушки древесины.	9

1. Общие положения тепловой сушки древесины.

Древесина является важным и ценным производственным сырьем. **Во многих отраслях промышленности и строительства широко используется древесина в виде пиломатериалов, фанеры, древесных плит и пр.**

Растущее дерево, как и всякий живой организм, содержит в себе большое количество влаги. В срубленном дереве влага играет отрицательную роль, ухудшая технические свойства древесного материала. Влажная древесина подвержена загниванию, вызываемому разными грибами, разрушающими ее структуру.

При изготовлении большого количества изделий влага является серьезной помехой и должна быть удалена из древесины предварительно, до употребления ее в дело. С этой целью древесину сушат до определенной влажности, соответствующей условиям эксплуатации сооружения или изделия. Так, например, древесина для изготовления мебели должна высушиваться до низкой влажности (6÷10%), а доски для обшивки дома достаточно сушить до 16÷18%.

Сушка является обязательной и при этом самой длительной и дорогой операцией в технологическом процессе каждого деревообрабатывающего производства. **Хорошо проведенная сушка служит базой отличного качества изделий из древесины.**

Процесс сушки заключается в удалении влаги из материала испарением. Содержащаяся в нем влага переходит в парообразное состояние и удаляется в окружающую среду. Сушка древесины, (в т.ч. пиломатериалов), может происходить двумя путями: естественным – на открытом воздухе и искусственным – в специальных сушильных установках.

В сушильной технике среда, служащая для поглощения и отвода пара, образовавшегося в процессе сушки материала, называется **сушильным агентом**. Подвод тепла к объекту сушки осуществляется рабочим телом сушильного процесса, называемым **теплоносителем**. Теплоносителем служит среда, воспринимающая необходимую для сушки тепловую энергию от внешнего источника и передающая ее сушимому материалу или агенту сушки.

В качестве теплоносителей в воздушных лесосушильных камерах используют воду, пар и электроэнергию. Выбор теплоносителя определяется в первую очередь стоимостью, а также потерями теплоносителя при подаче к сушильной установке и побочными расходами.

Стоимость тепловой энергии, поставляемой потребителю в виде горячей воды или пара (в расчете на 1Гкал), при наличии крупных ТЭЦ, почти одинакова. Транспортные потери энергии также примерно равны и не превышают 4÷5% на 1 км трубопроводов. Однако при паровом снабжении возникают дополнительные потери, связанные с вторичным вскипанием конденсата, величина которых определяется рабочим давлением пара. Их величина составляет примерно 8% от начального теплосодержания рабочего пара.

Таким образом, водяное теплоснабжение с точки зрения потерь при транспортировке, более экономично. Однако мощность привода насосного оборудования водяных систем больше, чем паровых. Очевидно, **следует выбирать систему подачи теплоносителя в зависимости от конкретных условий** с учетом мощности сушильных установок, расстояния подачи воды (пара), технологии и режимов сушки, а также влаготеплообработки конечной продукции.

В качестве сушильного агента для лесосушильных камер используется атмосферный или нагретый воздух, перегретый пар и топочные газы в смеси с воздухом. Расход тепла на сушку зависит от температуры сушильного агента и снижается по мере ее повышения. Снижение расхода обусловлено не столько пониженным расходом тепла на испарение, сколько уменьшением продолжительности сушки, и, следовательно, снижением затрат энергии на подогрев свежего воздуха, потери через ограждения и привод вентиляторов.

При прочих равных условиях соотношение удельных затрат теплоты на сушку пиломатериалов по мягким, нормальным, форсированным и высокотемпературным режимам

достаточно точно характеризуется отношением 1,00:0,90:0,85:0,80. С точки зрения термодинамики, особенно выгодна сушка в перегретом паре, так как не тратится энергия на подогрев свежего воздуха. Однако **при выборе температурного уровня режима необходимо исходить из требуемого качества высушиваемых материалов и не допускать их коробления и растрескивания. В связи с этим использование повышенных температур для сушки пиломатериалов ограничено.**

2. Закономерности движения влаги в древесине, характеристика основных процессов.

При сушке в первую очередь наиболее быстро испаряется влага с поверхности и из наружных слоев древесины. Из внутренних зон к наружным влага поступает медленнее и требует определенных условий.

Явление испарения влаги с поверхности древесины в окружающую среду называется **лагоотдачей**. Основными причинами движения влаги в древесине являются:

- неравномерное распределение влаги по объему материала, которое вызывает ее перемещение в направлении пониженной влажности, такой характер движения носит название **лагопроводности**;

- неодинаковая температура по объему материала, что приводит к движению влаги в направлении пониженной температуры, это явление называется **термовлагопроводностью**;

- наличие во внутренних слоях древесины избыточного по сравнению с внешней средой давления, под действием которого влага в виде направленного потока пара движется в сторону более низкого давления, такое движение называется **молярным лагопереносом**.

Отметим возможности интенсификации указанных процессов.

Интенсивность лагопереноса при лагопроводности возрастает с повышением температуры и увеличением перепада влажности между наружными и внутренними слоями древесины. Причем плотность потока влаги пропорциональна перепаду влажности. Следует отметить, что лагопроводность наблюдается при влажности древесины ниже предела гигроскопичности.

Интенсивность переноса влаги при термовлагопроводности и молярном лагопереносе возрастает с увеличением разности температуры и давления (соответственно видам переноса) между внутренними и наружными слоями материала.

На практике сушку нужно вести так, чтобы поток влаги из внутренних слоев древесины к наружным не отставал по интенсивности лагоотдачи (испарения с поверхности). В противном случае наружные слои пиломатериалов пересохнут и вследствие большой усадки по сравнению с внутренними могут растрескаться.

Интенсивность лагоотдачи зависит от разности парциальных давлений в слое влажного воздуха над поверхностью древесины и в объеме окружающего воздуха, а также от скорости агента сушки. Чем больше разность парциальных давлений и скорость воздуха, тем сильнее испаряется влага с поверхности древесины и тем выше лагоотдача.

Парциальное давление водяного пара над поверхностью древесины будет тем больше, чем влажнее или более нагрета древесина, которая подвергается сушке. Парциальное давление воздуха в пространстве, окружающем древесину, зависит в свою очередь от его температуры и относительной влажности.

Только при сушке очень тонких древесных материалов, например шпона и фанеры, интенсивность сушки может определяться лагоотдачей. **При сушке любых пиломатериалов решающую роль будет играть лагопроводность.**

На этот процесс оказывают существенное влияние следующие факторы:

- а) перепад влажности (градиент влажности) – разница во влажности между внутренними более влажными и наружными высыхающими слоями древесины;

б) температура древесины (известно, что чем сильнее прогрета древесина, тем выше ее теплопроводность за счет снижения вязкости влаги в капиллярах).

На практике сушки пиломатериалов под действием перепада температур возникает интенсивный поток влаги от более горячих зон к более холодным даже в тех случаях, когда холодная зона оказывается более влажной.

При нагреве древесины выше 100°C свободная влага внутри клеток и в межклеточных пространствах вскипает. При этом давление пара во внутренних зонах станет выше атмосферного и образуется перепад давлений, который погонит влагу изнутри к поверхности.

3. Ход процесса сушки пиломатериалов.

Древесные материалы сушат, преимущественно, конвективным (газопаровым) способом сушки. Применительно к пиломатериалам, высушиваемых в специальных камерах, этот способ получил название *камерной сушки*. Основным признаком, характеризующим условия ее протекания – температура среды. В практике принято разделять *процессы сушки* на *низкотемпературные* (температура сушильного агента менее 100°C) и *высокотемпературные* (температура более 100°C), что обусловлено особенностями парообразования при разных уровнях температуры, а именно – испарение в первом и кипение во втором случаях.

Процессы сушки принято анализировать по кривым изменения во времени средней влажности древесины (кривые сушки), изменения во времени отношений интервалов средней влажности и времени (кривые скорости сушки), ее температуры (температурные кривые) и кривым распределения влаги по толщине сортифта на различных этапах процесса (рис.1).

Процесс сушки пиломатериалов протекает неравномерно и может быть разделен на четыре этапа.

Первый этап – прогрев древесины, во время которого влага из нее не убывает. При этом влага, находящаяся в наружных зонах, нагревается сильнее, чем во внутренних, и это вызывает движение ее снаружи внутрь. Если при этом мы не замедлим влагоотдачу с поверхности, то наружные слои пересохнут и могут растрескаться. Поэтому прогревать штабель пиломатериалов нужно обязательно при высокой относительной влажности агента сушки, чтобы свести влагоотдачу к нулю.

Второй этап – сушка древесины от высокой начальной влажности W_n до так называемой критической $W_{кр}$, несколько превышающей значение влажности предела гигроскопичности (предела насыщения волокон). $W_{кр} \approx W_{п.г.} = 30\%$.

На этом этапе из древесины удаляется вся свободная влага и процесс сушки протекает наиболее интенсивно.

Третий этап – сушка от критической влажности до заданной конечной. На этом этапе из древесины удаляется связанная влага. Процесс идет более замедленно, чем на втором этапе.

Четвертый этап – остывание пиломатериалов. В некоторых случаях ему предшествует кондиционирование.

Рассмотрим *особенности низкотемпературного процесса сушки, который является основным способом сушки пиломатериалов.*

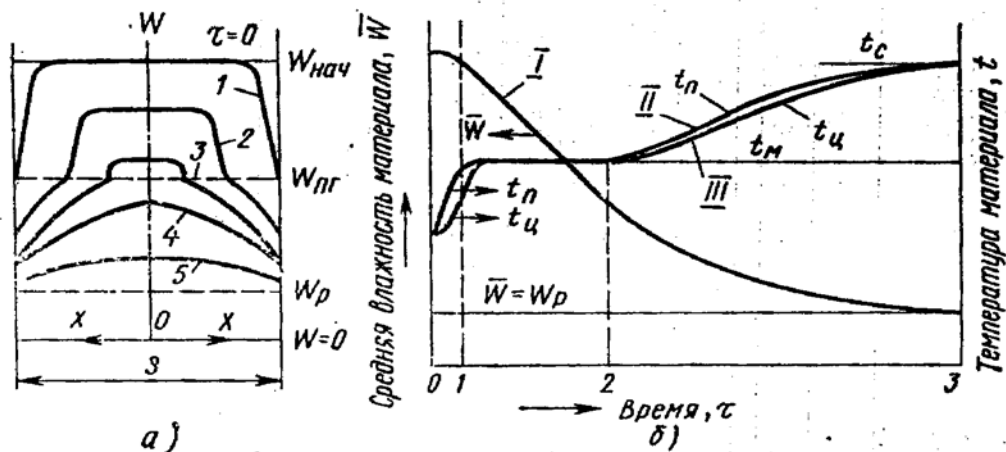


Рис. 1 Кривые распределения влажности по толщине пластины (а), кривая сушки и температурные кривые (б) низкотемпературного процесса:

1,2,3,4,5 – кривые распределения влажности по толщине пластины на различных этапах процесса; I – кривая сушки, II – температурная кривая на поверхности пластины, III – температурная кривая в центре пластины.

Предположим, что образец древесины в виде пластины толщиной S с начальной влажностью $W_{нач}$, превышающей $W_{пл.}$, помещен в нагретый воздух. Влага по толщине пластины распределена равномерно. Состояние воздуха характеризуется его температурой t_c («сухого») и температурой «смоченного» термометра t_m . Сразу же с поверхности пластины начнется испарение влаги, которое понизит влажность поверхностных слоев. **Пока влажность на поверхности будет выше $W_{пл.}$, влага в древесине перемещаться не будет.** Ее движение начнется, когда вся свободная влага будет удалена с поверхности. С этого момента между внутренними слоями древесины, где влага находится в полостях клеток, и поверхностью, где влага содержится только в клеточных стенках, появится разность капиллярных давлений. **Разность давлений обеспечивает подачу свободной влаги к поверхности по мере ее испарения** (рис. 1, а; кривая 1). Сначала свободная влага удаляется из наружных слоев древесины. Влажность поверхности остается при этом постоянной и соответствует приблизительно пределу гигроскопичности. **Скорость сушки в этот период постоянна и определяется интенсивностью испарения влаги с поверхности пластины.**

По мере удлинения пути движения свободной влаги скорость ее подвода к поверхности уменьшается. Наступает момент, начиная с которого эта скорость становится ниже возможной скорости испарения. Вследствие этого влажность поверхности становится ниже $W_{пл.}$. По толщине пластины образуются две зоны: наружная, с влажностью ниже предела гигроскопичности, и внутренняя, имеющая влажность выше предела гигроскопичности.

В наружной зоне плотность потока влаги пропорциональна перепаду влажности. Эта зона называется *зоной влагопроводности*. Во внутренней зоне по-прежнему движение свободной влаги идет за счет разности капиллярных давлений, но только к внутренней границе зоны влагопроводности. По мере заглубления зоны влагопроводности (рис. 1, а; кривые 2, 3) средняя влажность, древесины и скорость сушки уменьшаются. В дальнейшем после удаления свободной влаги (кривая 4) по всей толщине пластины основной причиной движения влаги будет влагопроводность.

К концу процесса влажность сортимента стремится к равновесной (кривая 5). Практически же процесс сушки заканчивают значительно раньше, при достижении древесиной заданной конечной влажности $W_{кон}$.

Кривая сушки I (рис. 1, б) состоит из трех участков, соответствующих трем периодам процесса: *периоду начального прогрева* (отрезок 0—1), *периоду постоянной скорости сушки* (отрезок 1—2) и *периоду падающей скорости сушки* (отрезок 2—3).

При камерной сушке пиломатериалов продолжительность периода постоянной скорости ничтожна и процесс практически полностью протекает в периоде падающей скорости сушки. При сушке тонких сортиментов (например, шпона) продолжительность периода постоянной скорости сушки весьма значительна по сравнению с общей продолжительностью процесса.

Температура поверхности пластины t_n в период прогрева быстро повышается (рис. 1, б). В период постоянной скорости сушки она неизменна и равна температуре смоченного термометра t_m , а в период падающей скорости постепенно возрастает, стремясь к температуре среды t_c . В центре материала температура $t_{ц}$ при прогреве ниже температуры t_n , в периоде постоянной скорости равна ей, а в периоде падающей скорости сушки отличается от нее незначительно.

Рассмотренный процесс наблюдается и при сушке сырого шпона с температурой среды, значительно превышающей 100°C . При этом основной причиной перемещения влаги в этом процессе является влажопроводность. Термовлажопроводность наблюдается лишь в период прогрева материала.

4. Напряжения в древесине при сушке. Влаготеплообработка.

Процесс сушки древесины, как установлено, сопровождается неравномерным распределением влаги по толщине сортимента. Это вызывает неравномерную сушку древесины и приводит к образованию в ней внутренних напряжений.

Рассмотрим как возникают и развиваются внутренние напряжения в древесине при ее сушке. Пока влажность наружных слоев выше или равна влажности предела насыщения клеточных стенок $W_{п.н.}$ (рис. 2, а, кривая 1), усушки нет и напряжения в материале отсутствуют.

После снижения влажности ниже $W_{п.н.}$ (кривая 2) поверхностные слои стремятся к усушке. Однако этому будут препятствовать внутренние слои, влажность которых еще пока выше $W_{п.н.}$. Начавшуюся усушку можно выявить, если из высушиваемого сортимента выпилить по всему поперечному сечению пластинку (секцию) и распилить на ряд слоев по толщине (рис. 2, б). Обнаружим, что внутренние слои сохранили первоначальный размер по ширине сортимента l_0 , а поверхностные слои усохли на величину U_p . Их размер теперь составляет l_n . Целая, неразрезанная пластина имеет фактический размер $l_{ф}$, меньший, чем l_0 , и больший, чем l_n . Поскольку размер поверхностных слоев стал меньше фактического, то эти слои испытывают *растягивающие напряжения*, а внутренние слои, размер которых стал больше фактического, испытывают *напряжения сжатия*.

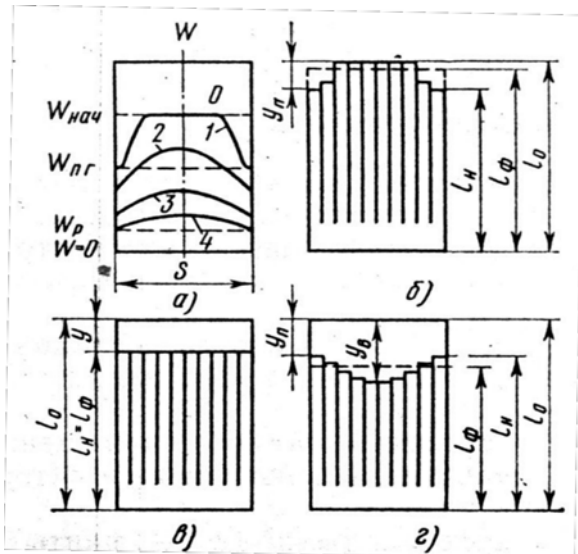


Рис. 2. Схемы к развитию деформаций и напряжений при сушке древесины: а – кривые распределения влажности по толщине пластины в различные моменты процесса сушки, б, в, г – виды слоев секции в моменты времени процесса, соответствующие кривым 2,3 и 4 распределения влажности.

Если бы древесина была упругим телом, то внутренние напряжения уменьшались бы по мере снижения перепада влажности и окончательно исчезали при выравнивании влажности в конце сушки. Однако в начальный период процесса влажная нагретая древесина обладает повышенной податливостью к нагрузкам. В результате под действием напряжений в ней развиваются *остаточные деформации*: деформации удлинения в поверхностных слоях (под действием растягивающих напряжений) и деформации укорочения во внутренних слоях (под действием сжимающих напряжений).

По мере снижения влажности древесина становится менее податливой и в большей мере проявляет свойства упругого тела. Поэтому возникшие в начале процесса остаточные деформации сохраняются в материале до конца сушки.

В результате этого к концу процесса (рис. 2, а, кривая 4) усадка на поверхности $У_n$ окажется меньше, чем усадка внутренних слоев $У_v$ (рис. 2, г), или, другими словами, размер поверхностных слоев секции после ее раскроя будет больше, а внутренних слоев меньше фактического размера l_ϕ . В древесине появятся сжимающие напряжения на поверхности и растягивающие напряжения во внутренних слоях материала. Таким образом, **в процессе сушки происходит смена напряжений**. В этот момент, который наступает на некотором промежуточном этапе процесса (кривая 3), напряжения в древесине отсутствуют (рис. 2, в).

Возникающие в древесине напряжения уравниваются в пределах данного образца. Чтобы их обнаружить, надо нарушить это равновесие, разделив образец или секцию на части. Каждая часть будет стремиться к новому равновесному состоянию путем деформаций. В секции, разрезанной на тонкие слои, деформации проявляются в виде удлинения или укорочения. В производстве для установления характера внутренних напряжений из пиломатериалов выпиливают секции в виде двузубой гребенки. Деформации в этом случае будут проявляться изгибом зубцов этой гребенки.

Если внутренние напряжения в какой-либо точке сортименга достигнут предела прочности, то произойдет его разрушение. Разрушение проявится в виде трещины в зоне действия растягивающих напряжений, т. е. в первой стадии сушки на поверхности, а на конечной стадии — внутри сортименга.

Избежать напряжений в древесине при конвективной сушке невозможно. Однако **при правильном проведении процесса возникающие напряжения не превышают предела прочности**. Кроме того, внутренние напряжения могут быть уменьшены и даже ликвидированы путем влаготеплообработки древесины.

Влаготеплообработка состоит в том, что **древесину обрабатывают воздухом повышенной температуры с высокой степенью насыщения**. Она проводится при окончании процесса сушки

или раньше, в момент смены напряжений. Увлажнение поверхностных слоев при влаготеплообработке вызывает их разбухание и, как следствие этого, возникновение дополнительных сжимающих напряжений на поверхности. При повышенной податливости древесины (влажной и нагретой) в поверхностном слое развиваются остаточные деформации укорочения, которые компенсируют ранее появившиеся остаточные деформации удлинения. Тем самым устраняется причина напряжений, возникающих в древесине к концу сушки.

В пиломатериалах (брусках, досках) помимо напряжений, вызванных перепадом влажности, зарождаются дополнительные напряжения, причиной которых является **неодинаковая усушка древесины в различных направлениях**.

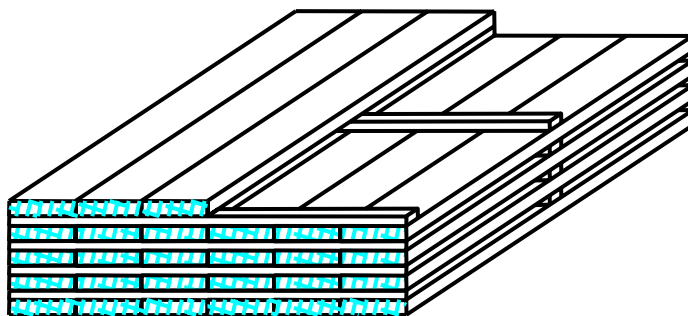
Так, например, в досках тангенциальной распиловки пластъ, более отдаленная от сердцевины и направление волокон которой приближается к тангенциальному, усыхает больше противоположной пласти. От этого появляется изгибающий момент и доска изменяет свою форму (коробится).

5. Основные принципы построения рациональных режимов сушки древесины.

Древесину необходимо сушить таким образом, чтобы было обеспечено **требуемое качество высушенного материала** при **минимальных сроках сушки**. Для этого в процессе сушки того или иного древесного материала по особому расписанию изменяют состояние сушильного агента (его температуру и степень насыщения) или, иными словами, ведут сушку по режиму. Следовательно, **режимом сушки** называется **расписание состояния сушильного агента в процессе сушки**.

При сушке пиломатериалов необходимо создать такие условия, при которых возникающие напряжения не превышали бы предела прочности. В начальной стадии процесса для этого требуется поддерживать малую величину перепада влажности по толщине ($W_{п.н.} - W_{п.}$), что достигается выдержкой в сушильном агенте с высокой степенью насыщения (ϕ). По мере высыхания древесины величину ϕ целесообразно понижать, чтобы довести материал до заданной конечной влажности. Температуру среды к концу сушки следует повышать. При снижении влажности повышение температуры не вызовет снижения прочности, но в то же время существенно ускорит процесс.

Таким образом, пиломатериалы рационально сушить режимами, которые характеризуются понижающейся степенью насыщения и повышающейся температурой в ходе сушки.



Сушка древесины

Методические рекомендации

specmontash@online.tver.ru

Тверь, 2002 г.

Методические рекомендации.

Оглавление.

1. Порода древесины и замер усредненной исходной влажности.....	3
1.1. Определение начальной и текущей влажности древесины при сушке весовым методом.....	3
2. Формирование штабеля.....	4
2.1. Типы и размеры штабелей.....	4
2.2. Способы укладки.....	5
3. Закладка образцов.....	7
4. Использование прижимов, пригрузов, затяжка пакетов лентами.....	8
5. Проверка скорости циркуляции сушильного агента, устранение вредных перетоков, использование бленд, экранов.....	8
6. Нормы требований к качеству сушки.....	9
6.1. Категории качества сушки.....	9
6.2. Показатели качества сушки.....	9
7. Характеристика режимов сушки.....	10
8. Коррекция режима сушки в зависимости от скорости движения сушильного агента и других факторов.....	18
9. Загрузка камеры, начальный прогрев древесины.....	18
10. Первый этап сушки, максимальная суточная влагопотеря.....	20
11. Второй этап сушки, проверка внутренних напряжений, проведение промежуточной влаготеплообработки.....	21
12. Третий этап сушки, проверка внутренних напряжений, перепада влажности по толщине.....	23
13. Конечная влаготеплообработка, снятие внутренних напряжений, подсушка после влаготеплообработки.....	24
14. Проверка разброса влажности по длине и высоте штабеля, сравнение с допустимым для заданной категории качества, проведение кондиционирования древесины.....	25
15. Охлаждение древесины и разгрузка камеры.....	26
16. Анализ и оценка результатов сушки.....	26
(типы и причины деградации при сушке, - по материалам американских специалистов штат Виржиния, штат Пенсильвания).....	26
16.1. Причины деградации.....	26

1. Порода древесины и замер усредненной исходной влажности.

При выборе режима сушки определяющими параметрами являются порода древесины, ее толщина, категория качества. Замер исходной влажности древесины позволяет оценить разброс влажности по партии, а величина исходной влажности позволяет ориентировочно определить продолжительность сушки.

Порода древесины, толщина и начальная влажность – первые данные, которые должны быть записаны в журнал сушки (форма журнала сушки прилагается).

Влажность древесины измеряют влагомерами различных конструкций. Игольчатый влагомер позволяет проводить точечные замеры, а индукционный – среднюю влажность по толщине. Инструкции по пользованию поставляются с приборами. Но для их тарировки необходимо выполнить измерение влажности весовым методом – абсолютно точным для любой породы древесины.

1.1. Определение начальной и текущей влажности древесине при сушке весовым методом.

Начальную влажность древесины определяют по секциям, а текущую – по контрольным образцам, выпиленным из досок. Схема отбора секций влажности и контрольного образца показана на рис. 1.

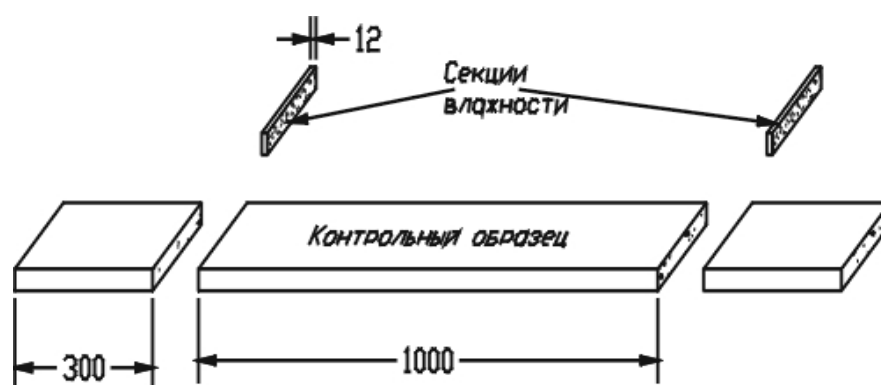


Рисунок 1. Схема отбора секций влажности и контрольного образца.

Выпиленные из досок, характерные для данной партии по строению, плотности и влажности, без гнили, засмолок, сучков и трещин, секции очищают от заусенцев и сразу же взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Если непосредственно после выпилки взвесить невозможно, то секции завертывают в пленку и вынимают для взвешивания по одной секции. Вес (массу) записывают прямо на секции и в журнале. Все секции маркируют.

Взвешенные секции укладывают в сушильный шкаф так, чтобы они не соприкасались со внутренней поверхностью обшивки и высушивают при температуре 100-105°C.

Первое взвешивание производят через 5-6 часов после начала сушки, последующие – через каждые два часа. Если последний вес совпадает с предыдущим или отличается от него не более чем на 0,02 г, то его принимают за вес абсолютно сухой секции и записывают в журнал, а сушку заканчивают.

Перед взвешиванием секции охлаждают без доступа атмосферной влаги.

Влажность подсчитывают с точностью до 1 % по формуле

$$W_{(нач)} = (G_{(нач)} - G_{(сух)}) / G_{(сух)} * 100\%$$

где $G_{(нач)}$ - начальный вес секции, г;
 $G_{(сух)}$ - вес абсолютно сухой секции, г.

Среднее значение влажности, вычисленное по двум секциям, принимается за начальную влажность ($W_{(нач)}$) контрольного образца (см. рис. 1), по которому определяют текущую влажность в процессе сушки.

Контрольные образцы нумеруют, торцы их очищают и покрывают густотертой масляной краской. После этого их взвешивают на торговых весах с точностью до 5 г. Вес записывают на образце и в журнале.

В каждый сушильный штабель укладывают по два контрольных образца в места интенсивной и замедленной сушки, устанавливаемые из опыта эксплуатации камер. При опытных сушках нового материала число контрольных образцов увеличивают до 4 – 6.

Образцы укладывают заподлицо с торцом штабеля или несколько глубже так, чтобы их легко можно было вынуть. Они должны лежать на прокладках, не соприкасаясь с пластью досок. Над образцами укладывают специальные прокладки с вырезами (рис.6). В процессе сушки через определенные промежутки времени образцы вынимают из штабеля и взвешивают. Влажность образцов находят по формуле

$$W_{(т)} = (G_{(т)} / G_{(сух)} - 1) * 100\%,$$

где $G_{(т)}$ – вес образца в момент определения текущей влажности, г;
 $G_{(сух)}$ – вес контрольного образца в абсолютно сухом состоянии, г.

$$G_{(сух)} = G_{(нач)} * 100 / (100 + W_{(нач)}) \text{ г},$$

где $G_{(нач)}$ – начальный вес контрольного образца, г;
 $W_{(нач)}$ – начальная влажность образца, %.

2. Формирование штабеля.

Одно из важнейших условий оптимальной эксплуатации сушильных камер и высокого качества сушки – правильная укладка пиломатериала. При укладке должны обеспечиваться: механическая прочность штабеля, стабильность его формы и уложенных в него пиломатериалов, обдув всех досок в штабеле циркулирующим сушильным агентом. При правильной укладке значительно снижается брак от коробления и растрескивания и улучшается равномерность просыхания пиломатериалов в штабеле. Правила укладки регламентируются руководящими техническими материалами по технологии камерной сушки древесины.

Штабель должен состоять из пиломатериалов одной породы древесины и одной толщины. Подштабельное основание должно быть прочным, жестким, а верх его – горизонтальным. Отклонения по горизонтали не должны превышать 5 мм. Длина основания должна равняться длине штабеля. При формировании штабеля на трековых тележках, они должны быть установлены так, чтобы крайние брусья совпадали с концами досок.

2.1. Типы и размеры штабелей.

При камерной сушке используют штабеля двух типов: **пакетный**, формируемый с помощью подъемно-транспортных средств из двух или четырех пакетов, предварительно уложенных вручную; **беспакетный**, формируемый вручную. Беспакетный, как правило, обеспечивает

лучшее качество древесины. Форма поперечного сечения пакетов и штабелей – прямоугольная, торцы досок выравниваются по вертикали.

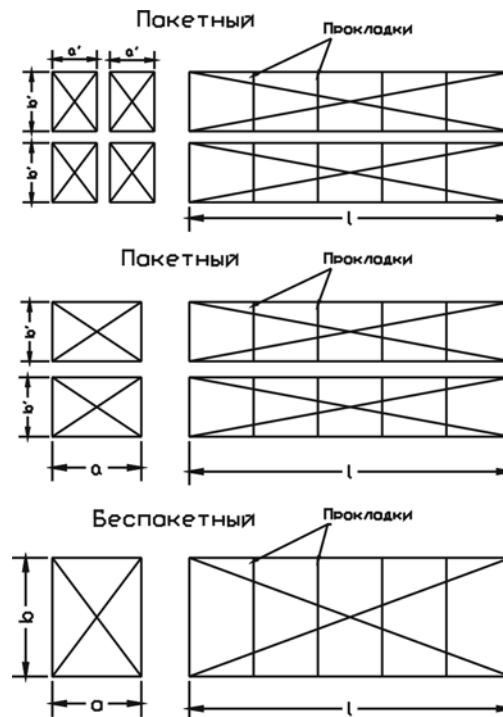


Рисунок 2. Тип и размер штабелей.

Размеры пакетов и штабелей желательно выдерживать в соответствии с прилагаемой табл.1, если это позволяют размеры камеры, длина их определяется максимальной длиной пиломатериала.

Таблица 1. Размеры пакетов и штабелей.

Размеры пакетов, штабелей, м							
a	b	a'	b'	L			
1.80	2.6	0.85	1.25	2.25	3.35	4.50	6.50
2.40	3.0	1.15	1.45	2.25	3.25	4.50	6.50

Рекомендуемые размеры штабелей и пакетов – *предельные по высоте* при сушке без специальных устройств для предотвращения падения штабеля (пакета) от неравномерной усадки при сушке. При применении устройств, предотвращающих падения штабеля, ограничением предельной высоты штабеля являются максимально допустимые напряжения сжатия в нижних слоях пиломатериала.

2.2. Способы укладки.

В зависимости от циркуляции агента сушки через штабель применяют два способа укладки: а) сплошными рядами без промежутков (шпаций) между досками (рис. 3) – для камер с горизонтальной циркуляцией поперек штабелей;

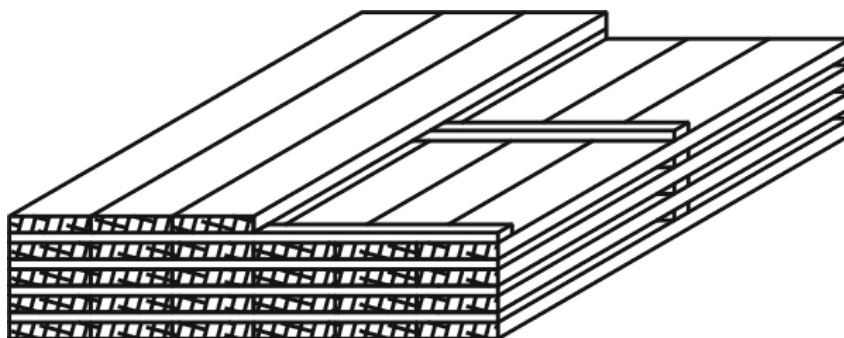


Рис. 3. Способ укладки без шпаций.

в) с промежутками (шпациями) между досками (рис. 4) – для камер с горизонтальной циркуляцией вдоль штабелей и с вертикальной, в том числе естественной циркуляцией.

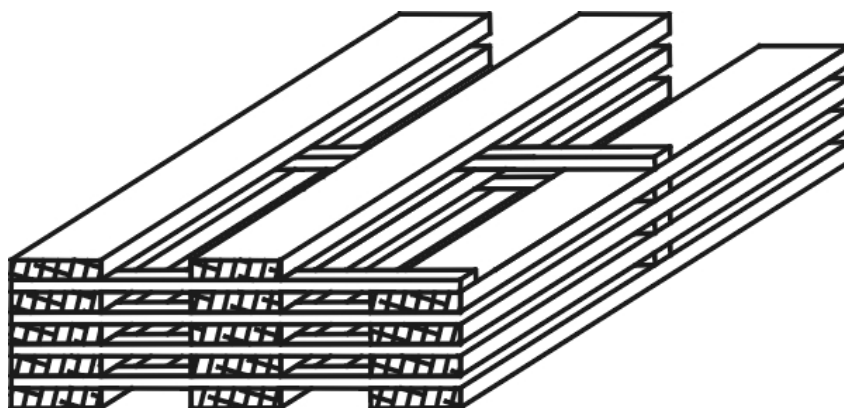


Рис. 4. Способ укладки со шпациями.

В один горизонтальный ряд укладываются доски одной толщины.

Необрезные доски укладываются комлями в разные стороны (рис.5).

Если доски имеют разную ширину, то узкие укладывают в середину, а широкие – по краям пакета или штабеля. Если по ширине пакета или штабеля целое число досок не размещается, то оставляют зазор в середине.

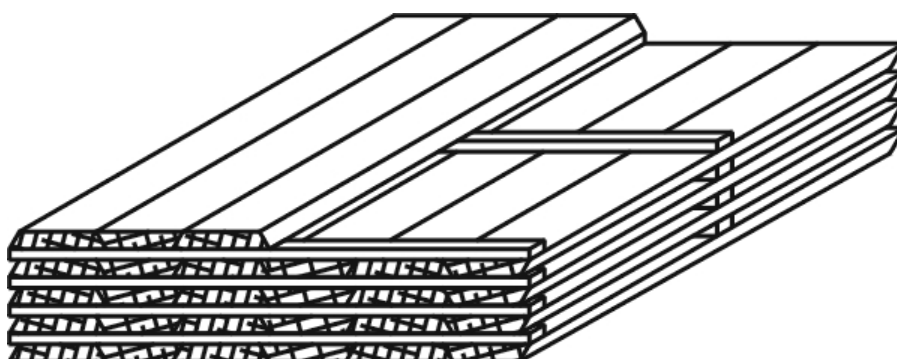


Рис. 5. Способ укладки необрезной доски.

Горизонтальные ряды в пакетах и штабелях должны разделяться межрядовыми прокладками, а пакеты по высоте штабеля – межпакетными. Для закладки контрольных образцов в пакетах или

штабелях оставляют свободные места. Число межрядовых прокладок по длине пакета или штабеля устанавливают в зависимости от породы, толщины пиломатериалов и длины штабеля. Рекомендуемое число прокладок в горизонтальном ряду дано в табл. 2.

Таблица 2. Рекомендуемое число прокладок в горизонтальном ряду.

Длина пакета или штабеля, м (хвойные породы/лиственные породы)	Толщина пиломатериалов, мм			
	16...19	22...25	32...40	50 и более
2,5	5/7	5/6	4/5	3/4
4,0.....4,5	8/10	7/9	5/7	4/5
6,5.....6,8	12/14	10/12	7/9	6/7

По высоте штабеля прокладки следует укладывать вертикально одна над другой. Крайние прокладки рекомендуется укладывать на расстоянии не более 25 мм от торцов пиломатериалов. Концы прокладок не должны выступать за боковые поверхности пакета или штабеля более чем на 25 мм.

Число межпакетных прокладок по длине пакетного штабеля должно быть равным числу межрядовых прокладок. При формировании штабеля межпакетные прокладки размещаются в одном вертикальном ряду с межрядовыми прокладками пакетов.

Таблица 3. Размеры прокладок.

Размеры, мм	Прокладки	
	Межрядовые	Межпакетные
Толщина	25	75: 100
Ширина	40	75: 100
Длина	1800: 2000	1800: 1000

Допустимые отклонения от установленных размеров, мм, не более:
по толщине ± 1 ; по ширине ± 2 ; по длине ± 10 .

Прокладки изготавливаются из древесины хвойных и лиственных пород, не имеющей синевы и гнили. Влажность древесины для изготовления прокладок при сушке пиломатериалов до транспортной влажности не должна превышать 22%, при сушке до эксплуатационной влажности – 10%. Размеры прокладок – табл. 3.

3. Закладка образцов.

Для закладки контрольных образцов в пакетах или штабелях оставляют свободные места. Контрольный образец должен располагаться не менее чем на двух прокладках. Чтобы прокладки легко вынимались, над ними укладываются прокладки с вырезами (рис.6).

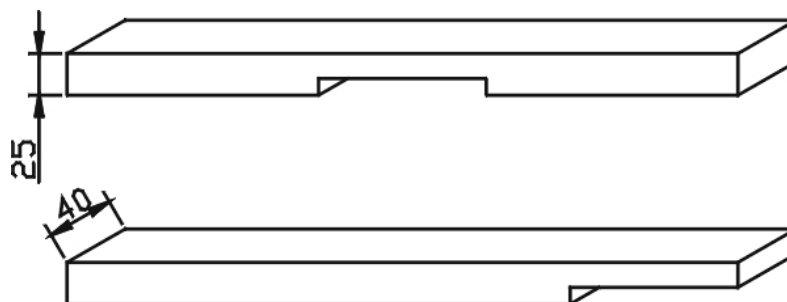


Рис. 6. Прокладки для образцов в середину и на край штабеля (пакета).

Контрольные образцы (2 шт. на штабель) закладываются в штабель в места с наибольшей и наименьшей скоростью циркуляции воздуха. При опытных сушках нового материала число контрольных образцов желательно увеличить до 4 – 6.

Образцы закладываются заподлицо с торцом штабеля или несколько глубже так, чтобы их легко можно было вынуть.

В зону с наибольшей скоростью желательно заложить 1 – 2 силовых образца (аналогичные контрольным). Торцы силовых образцов покрывают густой масляной краской, от них на расстоянии 10 см от конца в нужные моменты отпиливают торцевые срезы, из которых вырезают на ленточнопильном станке силовую секцию (рис. 8). Свежие пропилы силовых образцов после отпиловки каждого торцевого среза вновь покрывают масляной краской.

4. Использование прижимов, пригрузов, затяжка пакетов лентами.

При проведении процесса сушки, для предотвращения коробления пиломатериала, он (пиломатериал) должен быть зажат с определенным усилием между прокладками. Считается достаточным усилие прижима, эквивалентное 5 – 10 слоев высушиваемого пиломатериала, что составляет 1 – 2,5 т на нормальный штабель (большее значение – для твердых пород и толстых сортиментов). Наиболее актуально прижатие низких штабелей нетолстых пиломатериалов с малой конечной влажностью.

В качестве временных мероприятий для прижатия штабеля рекомендуется укладывать на его верх 2-3 ряда бракованных толстых досок. Можно по прокладкам укладывать на штабель 1-3 съемные плиты (желательно составные, гибкие), что удобно делать с помощью приспособлений в виде электролебедки, электротали и др.

В зависимости от конструкции камеры возможно применение прижимов с приводом пневмоцилиндрами, пружинных затяжек.

Частично уменьшить покоробленность при пакетном формировании штабеля можно, затянув верхние пакеты эластичными лентами.

5. Проверка скорости циркуляции сушильного агента, устранение вредных перетоков, использование бленд, экранов.

Для выбора режима сушки и его коррекции необходимо знать скорость движения воздуха в штабеле. Замер проводится термоанемометром, крыльчатый или чашечным анемометром. При замере скорости термоанемометром его зонд помещается между рядами досок. При замере крыльчатый анемометром необходимо использование диффузора, вставляемого между кромками досок на выходе воздуха из штабеля. Чашечным анемометром замеряют среднюю

скорость между штабелями с последующим пересчетом скорости между рядами пиломатериала.

Кроме средней скорости воздуха в штабеле необходимо определить зоны с максимальной и минимальной скоростью. ***В зоны с максимальной скоростью закладывают силовые образцы. Контрольные образцы желателно закладывать в зоны максимальной и минимальной скорости.***

Помимо штабеля воздух может проходить под и над штабелем, а так же в зазоры между штабелем и торцевой стеной, штабелем и воротами. Это вредные перетоки, они снижают скорость в штабеле, увеличивая продолжительность сушки. Их предотвращают используя бленды, экраны. В некоторых случаях бывает необходимо снизить скорость движения воздуха в штабеле (см. п. 8 - коррекция режима сушки в зависимости от скорости движения сушильного агента). Для этого убирают часть или все экраны.

6. Нормы требований к качеству сушки.

6.1. Категории качества сушки.

В зависимости от назначения высушиваемых пиломатериалов устанавливается четыре категории качества камерной сушки пиломатериалов и заготовок:

Категория 0 – сушка до транспортной влажности пиломатериалов экспортных и отечественного потребления.

Категория I – сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449.1—82 «Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски и посадки» для высокоточных составных частей изделий, влияющих на эксплуатационные показатели изделий (соединения механики клавишных инструментов, точное машиностроение и приборостроение, деревянные клееные несущие конструкции, производство моделей, лыж и т. п.).

Категория II – сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую, обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449.1—82 для ответственных составных частей изделий, от которых зависит качество изделий (мебельное производство, футляры для радио- и телеаппаратуры, столярно-строительные изделия, деревянные строительные клееные ограждающие конструкции, пассажирское вагоно- и автостроение и т.п.).

Категория III – сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449.1—82 для менее ответственных составных частей изделий (производство погонажных столярно-строительных изделий, товарное вагоностроение, сельхозмашиностроение, рядовая тара и т. п.).

6.2. Показатели качества сушки.

К показателем качества сушки относятся: 1) средняя влажность высушенных пиломатериалов (заготовок) в штабеле; 2) величина отклонений влажности отдельных досок или заготовок от средней влажности пиломатериалов в штабеле; 3) перепад влажности по толщине пиломатериалов (заготовок); 4) остаточное напряжения в высушенных пиломатериалах (заготовках).

Нормы показателей качества сушки пиломатериалов и заготовок устанавливают в зависимости от условий эксплуатации изделий. Нормы для категорий качества I...III даны в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Показатели качества сушки пиломатериалов и заготовок.

Категория качества сушки	Средняя конечная влажность древесины в штабеле, %	Отклонение влажности отдельных досок от средней влажности штабеля, % не более	Допускаемый перепад влажности по толщине пиломатериалов, %, при толщине материала, мм			
			13-22	25-40	45-60	70-90
I	7; 10	± 2	1,5	2,0	2,5	3,0
II	7; 10; 15	± 3	2,0	3,0	3,5	4,0
III	10; 15	± 4	2,5	3,5	4,0	5,0

Таблица 5. Показатели качества сушки пиломатериалов и заготовок категории 0.

Толщина пиломатериалов, мм	Средняя конечная влажность древесины в штабеле, %	Допускаемый перепад влажности отдельных досок от средней влажности штабеля, %
до 32	16	± 6
38-50	18	± 4
более 50	20	± 2,5

7. Характеристика режимов сушки.

После выбора желаемой категории качества и назначения древесины выбираем необходимый режим сушки.

7.1. Режим сушки пиломатериалов устанавливает параметры сушильного агента в камере, изменяющиеся по ходу процесса.

7.2. Параметрами сушильного агента, характеризующими режимы сушки пиломатериалов, являются его температура t , степень насыщенности ϕ и психрометрическая разность $\Delta t = t - t_m$, где t_m – температура смоченного термометра психрометра. Значения параметров конкретных режимов устанавливаются в зависимости от породы, размеров, влажности и назначения пиломатериалов.

7.3. Режим сушки пиломатериалов в паровоздушной камере периодического действия характеризуется состоянием сушильного агента перед подачей его на высушиваемый материал. Это состояние изменяют периодически, по ступеням в зависимости от влажности древесины. Влажность, при которой переходят со ступени на ступень, называют переходной влажностью. Число ступеней и значения переходной влажности устанавливают по таблицам режимов. Процесс сушки прекращают при достижении древесиной в камере заданной средней конечной влажности.

7.4. В зависимости от назначения пиломатериалов и породы древесины применяют режимы низкотемпературного или высокотемпературного процесса.

7.5. Режимы низкотемпературного процесса предусматривают использование в качестве сушильного агента важного воздуха с температурой на первой ступени сушки ниже 100°C . В зависимости от требований, предъявляемых к пиломатериалам, устанавливают следующие категории режимов:

мягкие режимы (М), обеспечивающие бездефектную сушку пиломатериалов при полном сохранении природных физико-механических свойств древесины, в том числе ее прочности и цвета, а также состояния в ней смолы;

нормальные режимы (Н), обеспечивающие бездефектную сушку пиломатериалов при сохранении прочности древесины, но с возможным незначительным изменением ее цвета;

форсированные режимы (Ф), обеспечивающие сушку пиломатериалов при сохранении прочности на изгиб, растяжение и сжатие, но некотором (до 20 %) снижении прочности на скалывание и сопротивление раскалыванию с возможным потемнением древесины.

7.6. Режимы высокотемпературного процесса предусматривают использование в качестве сушильного агента перегретого пара атмосферного давления с температурой выше 100⁰С. Они обеспечивают высокоинтенсивную сушку пиломатериалов при возможном незначительном снижении прочности на изгиб, растяжение и сжатие, но существенном (до 30 %) снижении прочности на скалывание и сопротивление раскалыванию с потемнением древесины.

7.7. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, пихты и кедра приведены в табл. 6. обозначение конкретного режима состоит из номера, характеризующего группу толщин, и прописной буквы (М, Н или Ф), указывающей категорию режимов. Например, нормальный режим сушки досок или заготовок толщиной 50 мм обозначается 5–Н.

Таблица 6. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, пихты и кедра.

Номер		1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя влажность древесины пиломатериалов, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм							
		до 22	св 22 до 25	св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 75	св 75 до 100
Мягкие режимы (М)									
> 35	t, ⁰ С	57	57	57	55	55	55	52	52
	Δt, ⁰ С	6	5	4	4	4	4	3	2
	φ	0,73	0,77	0,81	0,81	0,81	0,81	0,84	0,90
35 – 20	t, ⁰ С	61	61	61	58	58	58	55	55
	Δt, ⁰ С	10	9	8	7	7	7	6	5
	φ	0,59	0,62	0,66	0,69	0,69	0,69	0,72	0,76
< 20	t, ⁰ С	77	77	77	75	75	75	70	70
	Δt, ⁰ С	26	25	24	24	24	24	21	20
	φ	0,27	0,29	0,31	0,30	0,30	0,30	0,33	0,35
Нормальные режимы (Н)									
> 35	t, ⁰ С	83	79	79	75	73	71	64	55
	Δt, ⁰ С	9	7	6	5	5	4	3	2
	φ	0,68	0,73	0,77	0,80	0,80	0,83	0,86	0,90
35 – 25	t, ⁰ С	88	84	84	80	77	75	68	58
	Δt, ⁰ С	14	12	11	10	9	8	7	5
	φ	0,55	0,59	0,62	0,64	0,66	0,70	0,71	0,77
< 25	t, ⁰ С	110	105	105	100	96	94	85	75
	Δt, ⁰ С	36	33	32	30	28	27	24	22
	φ	0,24	0,26	0,27	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34
Форсированные режимы (Ф)									
> 35	t, ⁰ С	94	92	92	90	87	83	73	–
	Δt, ⁰ С	11	10	8	7	6	5	4	–
	φ	0,65	0,67	0,73	0,75	0,78	0,80	0,84	–
35 – 25	t, ⁰ С	99	97	97	95	92	88	78	–
	Δt, ⁰ С	16	15	13	12	11	10	9	–
	φ	0,54	0,55	0,60	0,62	0,64	0,66	0,66	–
< 25	t, ⁰ С	125	123	123	120	115	110	98	–
	Δt, ⁰ С	42	41	39	37	36	32	29	–
	φ	0,21	0,22	0,24	0,25	0,25	0,29	0,30	–

7.8. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины лиственницы приведены в табл. 7. Обозначение конкретного режима состоит из индекса Л (лиственница) с номером, характеризующим группу толщин, и прописной буквы (Н или Ф), указывающей категорию режимов. Например, нормальный режим сушки досок или заготовок толщиной 40 мм обозначается Л4-Н.

Таблица 7. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины лиственницы.

Номер и индекс		Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7
Средняя влажность пиломатериалов, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм						
		до 22	св 22 до 25	св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 75
Нормальные режимы (Н)								
> 35	t, °C	70	70	70	65	60	60	60
	Δt, °C	9	8	6	5	4	3	2
	φ	0,64	0,68	0,76	0,78	0,81	0,86	0,90
35 – 25	t, °C	75	75	75	70	65	65	65
	Δt, °C	15	15	15	10	9	7	5
	φ	0,49	0,49	0,49	0,61	0,63	0,71	0,78
< 25	t, °C	80	80	80	75	70	70	70
	Δt, °C	26	25	25	20	19	18	15
	φ	0,28	0,29	0,30	0,36	0,37	0,39	0,47
Форсированные режимы (Ф)								
> 35	t, °C	90	90	82	75	75	72	70
	Δt, °C	9	7	4	4	3	2	2
	φ	0,69	0,75	0,84	0,84	0,87	0,92	0,97
35 – 25	t, °C	98	96	87	80	80	78	76
	Δt, °C	12	11	8	8	6	5	4
	φ	0,63	0,65	0,72	0,70	0,77	0,80	0,84
< 25	t, °C	112	110	108	100	100	95	90
	Δt, °C	32	30	29	28	26	20	18
	φ	0,30	0,32	0,32	0,32	0,35	0,44	0,47

7.9. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов хвойных пород (табл. 6 и 7) предусматривают трехступенчатое изменение параметров сушильного агента со значениями переходной влажности древесины 35 и 25 %.

При начальной влажности древесины ниже 35 % первую ступень режима не используют. При сушке до транспортной влажности третью ступень режима не используют.

7.10. Режимы, регламентируемые табл. 6 и 7. предназначены для сушильных камер, обеспечивающих скорость циркуляции сушильного агента в штабеле от 1,0 до 2,5 м/с. При фактической скорости в штабеле ниже 1,0 м/с, психрометрическую разность на первой и второй ступенях процесса увеличивают по сравнению с табличной на 1 °C, а при фактической скорости выше 2,5 м/с – уменьшают на 1 °C.

7.11. В зависимости от назначения пиломатериалов сушку проводят:

до транспортной влажности — нормальными режимами в камерах с циркуляцией любой интенсивности, а в случаях, когда требуется сохранение естественного цвета древесины — мягкими режимами в камерах со скоростью циркуляции в штабеле не менее 1,0 м/с;

до эксплуатационной влажности — нормальными режимами в камерах с циркуляцией любой интенсивности; в случаях, когда предъявляются особо высокие требования к прочности древесины — мягкими режимами в камерах со скоростью циркуляции не менее 1,0 м/с. а в случаях, когда допустимо снижение прочности древесины — форсированными режимами в камерах со скоростью циркуляции в штабеле не менее 1,5 м/с.

7.12. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины березы приведены в табл. 8, из древесины осины — в табл. 8а; из древесины ольхи, липы, тополя — в табл. 9.

Обозначение конкретного режима состоит: из индекса (Б, Ос или О), характеризующего породу или группу пород; номера, соответствующего определенной группе толщин; прописной буквы (М, Н или Ф), указывающей категорию режима.

Пример условного обозначения нормального режима сушки березовых досок или заготовок толщиной 40 мм: БЗ-Н.

7.13. Режимы, приведенные в табл. 8-9, предусматривают трехступенчатое изменение параметров сушильного агента со значениями переходной влажности древесины 35 и 25 %. При начальной влажности древесины ниже 35 % первую ступень режима не используют.

7.14. На режимы сушки, регламентируемые табл. 8-9, распространяются рекомендации по условиям их применения, изложенные в пп. 7.10 и 7.11.

7.15. Режимы сушки пиломатериалов твердых лиственных пород (клен, бук, дуб, ильм, граб, ясень, орех) приведены в табл. 9а–9в. Для них установлена одна (нормальная) категория режимов. Обозначение конкретного режима состоит из индекса (К, Я или Д), характеризующего группу пород, и номера, соответствующего определенной группе толщин. Например, режим сушки ясеневых и ильмовых досок или заготовок толщиной 45 мм обозначается Я4.

7.16. Режимы сушки пиломатериалов твердых лиственных пород предусматривают:

при толщине до 32 мм – трехступенчатое изменение параметров сушильного агента со значениями переходной влажности древесины 35 и 25 %;

при толщине св. 32 до 50 мм – четырехступенчатое изменение параметров сушильного агента со значениями переходной влажности древесины 35, 25 и 15 %;

при толщине св. 50 мм – пятиступенчатое изменение параметров сушильного агента со значениями переходной влажности древесины 25, 20 и 15%. При начальной влажности древесины ниже 35 % первую ступень режима не используют.

7.17. Режимы, регламентируемые табл. 9а, 9б, 9в, предназначены для сушильных камер, обеспечивающих скорость циркуляции сушильного агента в штабеле от 0,8 до 2,0 м/с. При фактической скорости в штабеле ниже 0,8 м/с психрометрическую разность на всех ступенях режима, кроме последней, допускается увеличивать по сравнению с табличной на 1 °С, а при фактической скорости выше 2 м/с уменьшать на 1 °С.

Таблица 8. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины березы.

Средняя влажность пиломатериалов, %	Параметры режима	Индекс породы и номер группы толщин						
		Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7
		Толщина пиломатериалов, мм						
		до 22	св 22 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 75	св 75 до 100
Мягкие режимы (М)								
> 35	t, °С	60	60	60	58	54	48	–
	Δt, °С	8	7	6	6	5	4	–
	φ	0,65	0,69	0,73	0,73	0,76	0,79	–
35 – 25	t, °С	64	64	64	62	58	52	–
	Δt, °С	12	11	10	10	9	8	–
	φ	0,54	0,57	0,60	0,59	0,61	0,63	–
< 25	t, °С	80	80	80	78	72	64	–
	Δt, °С	28	27	26	26	23	20	–
	φ	0,25	0,27	0,28	0,27	0,30	0,32	–
Нормальные режимы (Н)								
> 35	t, °С	75	73	70	64	58	52	42
	Δt, °С	9	7	6	6	5	4	3
	φ	0,66	0,72	0,76	0,74	0,77	0,80	0,83
35 – 25	t, °С	80	77	75	68	62	54	45
	Δt, °С	14	12	11	10	9	8	6
	φ	0,53	0,58	0,61	0,61	0,62	0,64	0,69
< 25	t, °С	100	96	92	84	78	72	57
	Δt, °С	34	32	29	26	25	22	18
	φ	0,23	0,24	0,28	0,29	0,29	0,32	0,34
Форсированные режимы (Ф)								
> 35	t, °С	82	80	77	72	–	–	–
	Δt, °С	8	7	6	5	–	–	–
	φ	0,71	0,73	0,77	0,79	–	–	–
35 – 25	t, °С	86	84	80	74	–	–	–
	Δt, °С	12	11	8	7	–	–	–
	φ	0,60	0,62	0,70	0,72	–	–	–
< 25	t, °С	108	104	100	94	–	–	–
	Δt, °С	34	31	28	27	–	–	–
	φ	0,25	0,28	0,32	0,32	–	–	–

Таблица 8а. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины осины.

Средняя влажность пиломатериалов, %	Параметры режима	Индекс породы и номер группы толщин					
		Oc1	Oc2	Oc3	Oc4	Oc5	Oc6
		Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	св 22 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 75
Нормальные режимы (Н)							
> 35	t, °C	78	75	71	66	60	53
	Δt, °C	11	9	8	7	6	5
	φ	0,61	0,66	0,69	0,71	0,73	0,76
35 – 25	t, °C	82	79	75	70	65	57
	Δt, °C	16	14	11	10	9	7
	φ	0,49	0,53	0,60	0,61	0,63	0,69
< 25	t, °C	100	96	92	87	82	72
	Δt, °C	36	33	31	28	23	18
	φ	0,20	0,22	0,24	0,28	0,34	0,40
Форсированные режимы (Ф)							
> 35	t, °C	85	82	79	73	–	–
	Δt, °C	10	8	7	6	–	–
	φ	0,66	0,71	0,73	0,76	–	–
35 – 25	t, °C	88	85	82	77	–	–
	Δt, °C	14	12	10	9	–	–
	φ	0,55	0,60	0,65	0,66	–	–
< 25	t, °C	110	107	102	96	–	–
	Δt, °C	36	33	30	26	–	–
	φ	0,24	0,26	0,29	0,34	–	–

Таблица 9. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины ольхи, липы, тополя.

Средняя влажность пиломатериалов, %	Параметры режима	Индекс породы и номер группы толщин						
		O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7
		Толщина пиломатериалов, мм						
		до 22	св 22 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 75	св 75 до 100
Нормальные режимы (Н)								
> 35	t, °C	74	70	64	62	56	52	42
	Δt, °C	6	5	4	4	3	3	2
	φ	0,76	0,79	0,82	0,82	0,84	0,84	0,89
35 – 25	t, °C	80	75	68	66	59	55	45
	Δt, °C	11	10	8	7	6	5	4
	φ	0,61	0,64	0,68	0,71	0,73	0,76	0,79
< 25	t, °C	100	93	88	83	77	70	56
	Δt, °C	30	28	26	24	22	19	15
	φ	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,37	0,41
Форсированные режимы (Ф)								
> 35	t, °C	82	79	75	70	–	–	–
	Δt, °C	7	6	5	4	–	–	–
	φ	0,74	0,77	0,80	0,83	–	–	–
35 – 25	t, °C	87	84	80	73	–	–	–
	Δt, °C	11	10	8	7	–	–	–
	φ	0,63	0,65	0,70	0,72	–	–	–
< 25	t, °C	108	106	100	91	–	–	–
	Δt, °C	32	30	28	26	–	–	–
	φ	0,28	0,30	0,32	0,33	–	–	–

Таблица 9а. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины клена, бука.

Средняя влажность пиломатериалов, %	Параметры режима	Индекс породы и номер группы толщин					
		К1	К2	К3	К4	К5	К6
		Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	св 22 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 75
> 35	t, °C	74	70	64	62	56	52
	Δt, °C	6	5	4	4	3	2
	φ	0,76	0,79	0,82	0,82	0,84	0,90
35 – 25	t, °C	80	75	68	66	59	55
	Δt, °C	10	9	7	6	5	4
	φ	0,64	0,66	0,71	0,75	0,77	0,81
25 – 20	t, °C	100	93	74	72	63	58
	Δt, °C	29	26	11	10	6	5
	φ	0,31	0,33	0,60	0,62	0,74	0,77
25 – 15	t, °C	100	93	74	72	69	64
	Δt, °C	29	26	11	10	11	10
	φ	0,31	0,33	0,60	0,62	0,58	0,60
< 15	t, °C	100	93	88	78	78	70
	Δt, °C	29	26	24	23	21	19
	φ	0,31	0,33	0,34	0,34	0,36	0,37

Таблица 9б. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины ясеня и ильма.

Средняя влажность пиломатериалов, %	Параметры режима	Индекс породы и номер группы толщин					
		Я1	Я2	Я3	Я4	Я5	Я6
		Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	св 22 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 75
> 35	t, °C	60	57	53	50	45	41
	Δt, °C	4	4	3	3	2	2
	φ	0,81	0,81	0,84	0,84	0,89	0,89
35 – 25	t, °C	64	61	56	53	47	43
	Δt, °C	7	6	5	4	3	3
	φ	0,70	0,74	0,76	0,80	0,83	0,83
25 – 20	t, °C	83	77	60	56	51	47
	Δt, °C	23	22	9	8	5	4
	φ	0,34	0,34	0,61	0,64	0,75	0,79
20 – 15	t, °C	83	77	60	56	54	51
	Δt, °C	23	22	9	8	9	8
	φ	0,34	0,34	0,61	0,64	0,60	0,63
< 15	t, °C	83	77	70	66	65	60
	Δt, °C	23	22	20	19	18	17
	φ	0,34	0,34	0,35	0,35	0,37	0,37

Таблица 9в. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины дуба, граба и ореха.

Средняя влажность пиломатериалов, %	Параметры режима	Индекс породы и номер группы толщин					
		Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6
		Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	св 22 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 75
> 35	t, °C	57	53	50	47	43	38
	Δt, °C	4	3	3	2	2	2
	φ	0,81	0,84	0,84	0,89	0,89	0,89
35 – 25	t, °C	61	56	53	50	45	41
	Δt, °C	6	5	4	4	3	3
	φ	0,73	0,76	0,80	0,80	0,83	0,83
25 – 20	t, °C	77	70	57	55	49	45
	Δt, °C	22	20	8	7	4	4
	φ	0,34	0,35	0,65	0,68	0,79	0,79
20 – 15	t, °C	77	70	57	55	53	50
	Δt, °C	22	20	8	7	8	7
	φ	0,34	0,35	0,65	0,68	0,64	0,66
< 15	t, °C	77	70	66	62	61	56
	Δt, °C	22	20	18	17	17	16
	φ	0,34	0,35	0,38	0,38	0,38	0,38

7.18. Режимы высокотемпературного процесса сушки пиломатериалов перегретым паром приведены в табл. 10. Режим, применяемый для сушки пиломатериалов конкретной породы и размера, обозначается римской цифрой (от I до VII).

Таблица 10. Режимы высокотемпературного процесса сушки пиломатериалов.

Номер режима	Параметры сушильного агента (t, °C; Δt, °C; φ)					
	Первая ступень (W > 20%)			Вторая ступень (W < 20%)		
	t, °C	Δt, °C	φ	t, °C	Δt, °C	φ
I	130	30	0,35	130	30	0,35
II	120	20	0,50	130	30	0,35
III	115	15	0,58	125	25	0,42
IV	112	12	0,65	120	20	0,50
V	110	10	0,69	118	18	0,53
VI	108	8	0,75	115	15	0,58
VII	106	6	0,81	112	12	0,65

7.19. Начальную влажность пиломатериалов определяют по ГОСТ 16588-79. Влажность в процессе сушки проверяют взвешиванием закладываемых в штабель контрольных образцов или дистанционными приборами.

7.20. Состояние сушильного агента в камере поддерживают системами автоматического регулирования и контролируют дистанционными психрометрами. При их отсутствии допускается контроль ртутными психрометрами. Показания психрометров записываются через 1-2 ч.

7.21. Датчики или чувствительные элементы психрометра устанавливают в потоке сушильного агента в зоне, где его параметры соответствуют средним при входе в штабель величинам. Если конструкция камеры не позволяет этого, допускается установка датчиков в другой доступной зоне потока. В том случае в показания психрометра должна вводиться поправка, устанавливаемая путем контрольных измерений.

7.22. Погрешность поддержания температуры не должна превышать ± 2 °C от заданной режимом. При этом погрешность измерения поддержания психрометрической разности не должна быть более ± 1 °C, для чего необходимо производить попарный подбор в психрометры термометров с одинаковыми показаниями.

7.23. Если регламентируемая таблицами режимов температура не может быть достигнута, по техническим причинам, допускается проведение сушки при более низкой температуре, но с обязательным поддержанием заданной степени насыщенности сушильного агента. Соответствующие фактической температуре и заданной степени насыщенности психрометрическую разность и температуру смоченного термометра устанавливают с помощью справочной табл. 11 (см. справочное приложение стр. 29).

7.24. Перед проведением сушки по заданному режиму производят начальный прогрев древесины в камере. Во время прогрева в камеру подают пар через увлажнительные трубы при включенных калориферах, работающих вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных каналах.

7.25. Температуру паровоздушной смеси в камере во время прогрева поддерживают выше температуры по начальной ступени режима сушки: для древесины лиственницы и твердых лиственных пород на 5 °C, а для древесины мягких хвойных и лиственных пород на 8 °C. Психрометрическую разность устанавливают 0,5–1,5 °C.

Допускается в целях интенсификации процесса при сушке пиломатериалов мягких хвойных пород толщиной до 50 мм нормальными режимами и до 75 мм форсированными режимами повышать температуру среды во время прогрева сверх указанной ранее на 5–7 °C. Во всех случаях не допускается температура среды выше 100 °C.

7.26. Заданное состояние паровоздушной смеси поддерживают в камере до тех пор, пока разность между ее температурой t_c и температурой древесины в центре доски или заготовки $t_{ц}$, измеренная с помощью термопары, не достигает 3°C . Разность $t_c - t_{ц}$ измеряют в зоне камеры, где интенсивность прогрева минимальна.

Если в конкретном сушильном хозяйстве с учетом местных условий (тип камеры, ее тепловая мощность, состояние ограждений, особенности пароснабжения) необходимая продолжительность прогрева пиломатериалов определенной характеристики установлена путем предварительных расчетов или экспериментов, допускается начальный прогрев этих пиломатериалов проводить без измерения температуры древесины.

7.27. Для снятия остаточных внутренних напряжений, возникающих в процессе сушки в древесине, ее подвергают конечной влаготеплообработке в две стадии. На первой стадии осуществляют увлажнение поверхности пиломатериала при повышенной температуре путем выпуска в камеру распыленной горячей воды при включенных калориферах, работающих вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных каналах. На второй стадии проводят подсушку пиломатериала при одновременном его охлаждении. Снижение температуры достигается путем открытия сначала приточно-вытяжных каналов, а затем дверей камеры.

7.28. Конечной влаготеплообработке подвергают пиломатериалы, высушиваемые до эксплуатационной влажности по первой и второй категориям качества сушки в соответствии с технологической документацией, утвержденной в установленном порядке. Конечную влаготеплообработку проводят при достижении заданной средней влажности материала.

На первой стадии конечной обработки поддерживают температуру среды на 8°C выше температуры последней ступени режима сушки, но не более 100°C , а психрометрическую разность устанавливают равной $1,0-2,0^{\circ}\text{C}$. На второй стадии постепенно снижают температуру в камере до 40°C : для пиломатериалов из древесины мягких хвойных пород со скоростью $5-13^{\circ}\text{C/ч}$; а для пиломатериалов и древесины других пород – $3-10^{\circ}\text{C/ч}$. При этом, чем толще пиломатериалы, тем меньше скорость их охлаждения. Продолжительность стадии увлажнения и подсушки устанавливается такой, чтобы у секции, выпиленной из контрольного образца по окончании обработки и выдержанной для выравнивания в ней влажности, зубцы силовой гребенки имели относительную деформацию изгиба не более 2% .

7.29. Для предотвращения появления в пиломатериалах внутренних трещин проводят промежуточную влаготеплообработку. Промежуточной влаготеплообработке подвергают пиломатериалы, толщина которых превышает:

- для сосны, ели, пихты, кедра – 60 мм ;
- для березы, осины, ольхи, липы, тополя – 50 мм ;
- для лиственницы – 40 мм ;
- для клена, бука, дуба, ильма, граба, ясеня, ореха – 22 мм .

7.30. Промежуточную влаготеплообработку проводят при переходе со второй ступени режима на третью (табл. 6–9в). Во время обработки температуру среды поддерживают на 8°C выше температуры предыдущей ступени, но не более 100°C , а психрометрическую разность устанавливают равной $1,0-2,0^{\circ}\text{C}$. Продолжительность обработки должна быть такой, чтобы зубцы силовой гребенки, выпиленной из контрольного образца, имели после выравнивания влажности деформацию изгиба $3-4\%$. Допускается уменьшать продолжительность обработки или не назначать ее, если контрольными опытными сушками устанавлено, что при этом не наблюдается появление внутренних трещин.

Таблица 11. для определения степени насыщенности (φ в %) сушильного агента при скорости его движения $1,5-2,5\text{ м/с}$ по показаниям ртутных и электрических психрометров (см. стр. 29)

8. Коррекция режима сушки в зависимости от скорости движения сушильного агента и других факторов.

Указания в табл. 6-9в (рекомендации) относятся к пиломатериалам средней и повышенной ширины при скоростях движения воздуха 0,8 – 2,5 м/с. Для узких пиломатериалов и заготовок (брусков) режим выбирается по меньшей ближайшей номинальной толщине.

При недостаточно мощной циркуляции: недостаточно мощной считается во всех случаях естественная циркуляция, а так же принудительная циркуляция со скоростью воздуха в штабеле равной и ниже:

0,5 м/с – для материала с продолжительностью сушки свыше 1000 часов;

0,75 м/с – для материала с продолжительностью сушки от 300 до 1000 часов;

1,0 м/с – для материала с продолжительностью сушки от 80 до 300 часов;

1,5 – для материала с продолжительностью сушки до 80 часов

– режим может корректироваться в сторону ужесточения:

при сушке свежесрубленных пиломатериалов и материалов влажностью выше 60 % - режим выбирается по меньшей ближайшей номинальной толщине.

При большей чем 2 м/с скорости движения воздуха рекомендуется смягчать режим, он выбирается по большей ближайшей номинальной толщине.

При превышении температуры в процессе сушки максимальной, для заданной категории качества - уменьшается номер режима до допустимых температур.

При недостаточной герметичности камеры (камера «не держит» равновесную влажность при закрытых клапанах) возможно ужесточение режима при соответствующем снижении скорости движения воздуха

Например, при сушке соснового пиломатериала толщиной 40 мм на нормальном режиме на первом этапе сушки при работающей системе увлажнения не удастся повысить влажность воздуха выше 62%. Рекомендуется уменьшить скорость воздуха до 1 м/с и перейти на режим по большей номинальной толщине. Продолжительность сушки при этом несколько увеличится.

При недостаточной тепловой мощности камеры (температура в камере ниже заданной) на первом этапе сушки необходимо поддерживать заданную психрометрическую разность, чтобы не «запереть» влагу внутри пиломатериала, на втором и третьем этапе сушки можно несколько ужесточить режим.

9. Загрузка камеры, начальный прогрев древесины.

В камеру загружают штабеля, уложенные в соответствии с правилами укладки. Не допускается загрузка в камеру неполногабаритных штабелей и работа камеры при неполном количестве штабелей.

Первой технологической операцией после загрузки камеры является начальная обработка материала – прогрев. Во время прогрева в камеру подают пар через увлажнительные трубы при включенных калориферах, работающих вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных каналах. Цель прогрева – повысить влажностепроводность древесины, чтобы влага интенсивно перемещалась из центральной зоны к поверхности. Поэтому сушка не должна начинаться до полного прогрева (сквозного по толщине). Это значит, что температура в центре сечения до начала сушки должна быть не ниже температуры по мокрому термометру психрометра для первой ступени процесса. Внутренняя поверхность стен камеры и ее оборудование при закатке влажного материала должны быть нагреты сухим воздухом, чтобы на них не конденсировалась влага. На холодном

материале также может конденсироваться влага, поэтому в начале его прогревают сравнительно сухим воздухом с постепенным увлажнением путем пуска увлажнительного пара в рабочее пространство камеры. Здесь необходимо достигать такого режима прогрева, чтобы на нагреваемом материале влага значительно не конденсировалась (т.е. не доувлажняла его) и не испарялась с его поверхности (не подсушивала).

Режим нагрева материала разных сортиментов в различные сезоны года устанавливают путем периодического взвешивания во время прогрева (через 1...3 часа) контрольного отрезка, сохраняя примерно постоянную его массу во время прогрева с отклонением не более 2%.

Температуру в камере повышают с максимальной интенсивностью – это безопасно для материала. Затем ее поддерживают постоянной, на 5...8 °С выше температуры, заданной для I ступени сушки. Психрометрическая разность постепенно уменьшается. Если масса контрольных отрезков возрастает, воздух несколько осушают, т. е. увеличивают психрометрическую разность, и наоборот.

Продолжительность прогрева материала.

Время окончания прогрева можно установить по показанию термометра или термопары, заделанной в центральную часть нагреваемого сортимента через кромку. Ориентировочно продолжительность прогрева составляет 1...1,5 ч летом и 1,5...2 ч зимой на каждый сантиметр толщины материала, считая, от момента достижения в камере заданной температуры для прогрева древесины.

По окончании прогрева в кирпичных камерах не рекомендуется принимать срочные меры по удалению из камеры избытка влаги, если психрометрическая разность постепенно увеличивается и без приоткрывания воздухообменных заслонок. С понижением температуры влажный материал будет интенсивно выделять влагу даже в полностью насыщенный пар в воздухе, поскольку давление пара у нагретой влажной древесины будет больше, чем давление пара в воздухе. Поэтому из-за усушки поверхностной, быстро охлаждаемой зоны доски материал может растрескиваться даже в воздухе при $\phi=1,0$.

При колебаниях температуры в камере опасными для растрескивания будут периоды не повышения, а понижения температуры, когда уменьшается давление пара в воздухе, но сохраняется еще повышенное давление пара на поверхности материала. Поэтому переход на режимные условия сушки после окончания прогрева материала должен быть постепенным и проводиться с большой осторожностью. Необходимо опасаться охлаждения еще влажного, толстого материала в I стадии сушки.

Опасность растрескивания древесины создают не температурные (очень малые), а влажностные (во много раз большие) деформации древесины, возникающие в I стадии процесса, при зональной (наружной, т. е. лицевой пласти доски) усушке.

Поддержание параметров воздуха.

Отклонения температуры воздуха от заданной не имеют большого значения. Они могут допускаться в пределах ± 2 и даже ± 3 °С, а при сушке материала с невысокими требованиями к качеству сушки $\pm 4...5$ °С.

К поддержанию же психрометрической разности предъявляются более строгие требования. Отклонение психрометрической разности от заданной допускается для трудносохнущих материалов в I стадии процесса $\pm 0,1$, а для среднесохнущих $\pm 0,2$ ее величины. Это значит, что при заданной величине психрометрической разности 5 °С в условиях сушки мебельных пиломатериалов (II категория) допускаются ее отклонения в диапазоне 4,5...5,5 °С. Вследствие принципиальной важности достаточно точного поддержания заданной величины психрометрической разности необходима периодическая тщательная сверка парности термометров в психрометре.

Древесину с начальной влажностью ниже 25% прогревают в среде сушильного агента, степень насыщения которого по диаграмме равновесной влажности соответствует начальной влажности пиломатериала.

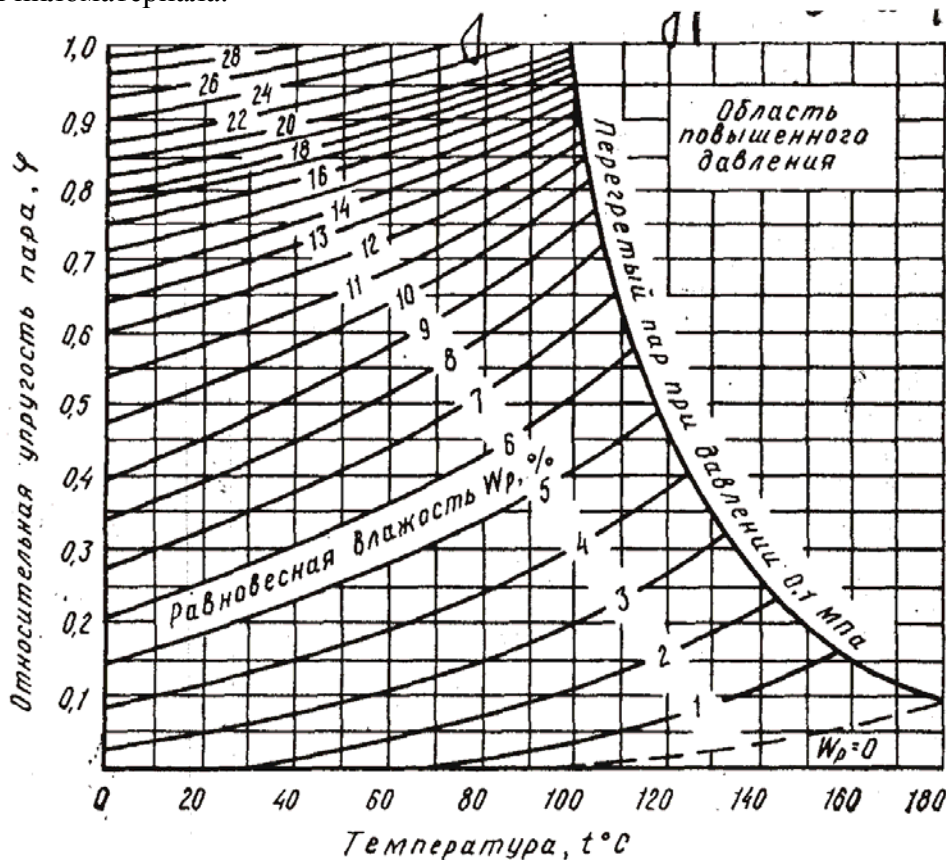


Рисунок 7. Диаграмма равновесной влажности.

Длительность прогрева обуславливается многими факторами и в каждом конкретном случае устанавливается в зависимости от местных условий. Ориентировочно она составляет для пиломатериалов мягких хвойных пород летом 1 – 1,5 часа, а зимой 1,5 – 2 часа на каждый сантиметр пиломатериала.

Для пиломатериалов мягких лиственных пород (береза, ольха и др.) время прогрева увеличивается на 25%, а для пиломатериалов твердых пород (дуб, бук, лиственница и др.) – на 50%.

Прогрев древесины сопровождается большим потреблением тепла и работой системы увлажнения, поэтому проводить начальную обработку одновременно в нескольких камерах сушильного блока не рекомендуется.

10. Первый этап сушки, максимальная суточная влагопотеря.

На первом этапе сушки удаляется межклеточная и внутриклеточная влага, а влажность пиломатериала снижается до 35%. Для того, чтобы наружные слои пиломатериала не подверглись усадке и не потрескались, поддерживают высокую влажность сушильного агента в соответствии с первой ступенью режима сушки. Как правило, на первом этапе периодически или непрерывно работает система увлажнения.

Показателем правильно подобранных параметров сушильного агента при данной его скорости является максимальная суточная влагопотеря (см. табл. 12).

Таблица 12. Максимальная суточная влагопотеря.

Древесные породы	Максимальная суточная влагопотеря, %	
	25 мм	50 мм
Бук	4,5	1,8
Береза	6,1	2,4
Вишня	5,8	2,3
Вяз	10,4	4,1
Мягкий клен	13,8	5,5
Твердый клен	6,5	5,5
Красный горный дуб	3,8	1,5
Белый горный дуб	2,5	1,0
Южный дуб	1-3	-
Орех	8,2	3,3
Тополь	25	10
Сосна, ель, кедр	30	15

При ее превышении скорость сушки излишне высока, что может привести к растрескиванию наружных слоев древесины, возникновению больших внутренних напряжений и микротрещин. Если суточная влагопотеря значительно ниже максимальной – неоправданно удлинится продолжительность сушки. Оптимально – 70-90% от максимальной.

Отклонение степени психрометрической разности Δt в камере от заданной по режиму опаснее, чем отклонение температуры. Поэтому, когда температура по независимым от оператора причинам колеблется, поддерживают стабильную заданную Δt . Во время сушки периодически контролируют текущую влажность древесины (обязательно) и внутренние напряжения в ней (по необходимости). Текущая влажность замеряется:

- при сушке тонких пиломатериалов хвойных пород через каждые 8 часов.
- при сушке пиломатериалов лиственных пород и толстых пиломатериалов хвойных пород через 12 часов.

По достижении влажности более сырого образца 35% переходят ко второму этапу сушки.

11. Второй этап сушки, проверка внутренних напряжений, проведение промежуточной влаготеплообработки.

На втором этапе сушки удаляется связанная влага стенок клеток наружных слоев пиломатериала и свободная влага внутренних слоев. На этом этапе наблюдается максимальная усадка древесины.

Текущая влажность образцов замеряется:

- при сушке тонких пиломатериалов хвойных пород через каждые 12 часов.
- при сушке пиломатериалов лиственных пород и толстых пиломатериалов хвойных пород через 24 часа

На этом этапе возникают наибольшие напряжения и соответственно наибольшие пластические деформации древесины. По достижению более влажным образцом влажности 20% необходимо переходить на третий этап сушки. В конце второго этапа для толстых сортментов необходимо провести промежуточную влаготеплообработку (стр 17 п. 7.29, п 7.30).

Промежуточная влаготеплообработка рекомендуется к применению для пиломатериалов, высушиваемых по I и II категориям качества сушки. Для материала III категории качества длительность влаготеплообработки составляет 50% от величины, установленной по этим рекомендациям.

Продолжительность промежуточной влаготеплообработки определяется по табл. 13.

Во время промежуточной влаготеплообработки температуру среды увеличивают на 5...8 градусов выше температуры последней ступени режима сушки. При этом она не должна превышать 100 °С. Психрометрическая разность составляет 1,5-2 °С.

Более точно момент начала проведения промежуточной обработки можно определить по силовому образцу (рис. 8). Это момент, когда растягивающие напряжения снаружи, а сжимающие внутри меняя знак, проходят через нулевые значения. Зубцы силовой секции при этом не отклоняются ($T = T_1$).

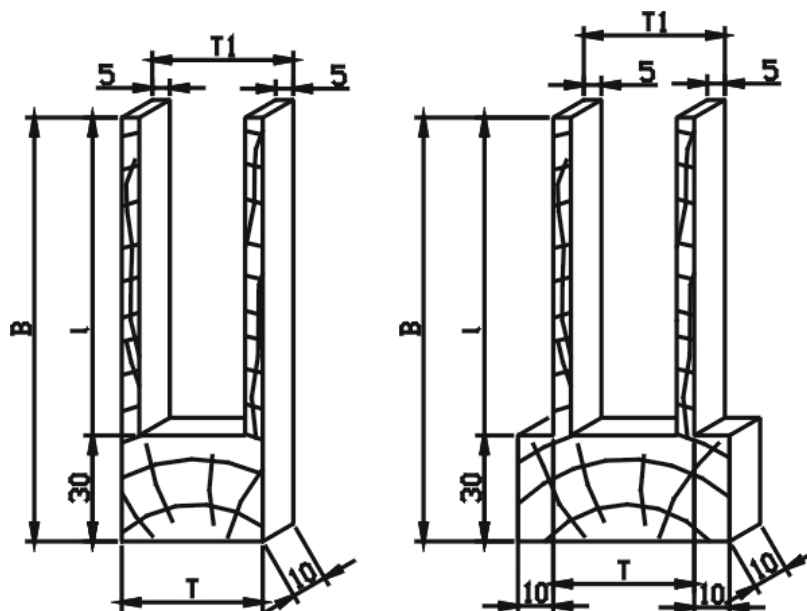


Рисунок 8. Силовой образец для пиломатериалов толщиной до 40 мм (слева) и больше 40 мм, В – ширина доски.

12. Третий этап сушки, проверка внутренних напряжений, перепада влажности по толщине.

На третьем этапе сушки удаляется связанная влага, и пиломатериал высушивается до требуемого значения. Этап характеризуется сравнительно низкой влажностью в камере.

Текущая влажность образцов замеряется:

- при сушке тонких пиломатериалов хвойных пород через каждые 12 часов.
- при сушке пиломатериалов лиственных пород и толстых пиломатериалов хвойных пород через 24 часа.

По достижению средней конечной влажности переходят к конечной влаготеплообработке.

По достижении заданной влажности по более влажному образцу (контрольные образцы сохнут, как правило, быстрее), рекомендуется выпилить из силового образца торцевой срез длиной 10 мм для силовой секции (рис.8) и секцию послойной влажности (см. рис 9).

После выравнивания в заготовках под силовую секцию влажности путем выдержки в сушильном шкафу при температуре 100⁰С в течении 2-3 часов срезы раскраивают на силовые секции. Отклонение зубцов секций, то есть размер T1 и T измеряется штангенциркулем.

Относительное отклонение $f = (T - T1) * 100 / 2l$ %

Если зубцы силовых секций не деформировались, отклонились наружу или внутрь не более чем на 1,5 – 2% длины зубцов, то в проведении конечной влаготеплообработке нет необходимости. Если перепад влажности по толщине секции послойной влажности и разница во влажностях контрольных образцов лежат при замере электровлагомером или весовым методом в пределах допуска для данной категории качества (п. 6 табл.4), то нет необходимости в кондиционировании (кроме пиломатериалов, высушиваемых по первой категории качества).

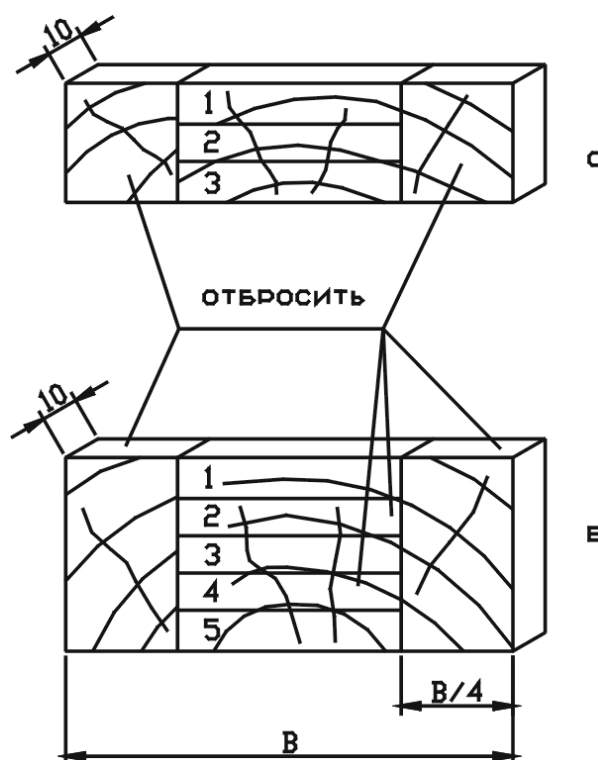


Рисунок 9. Образец послойной влажности для пиломатериалов толщиной до 32 мм (а) и свыше 32 мм (б), В – ширина доски.

13. Конечная влаготеплообработка, снятие внутренних напряжений, подсушка после влаготеплообработки.

Конечная влаготеплообработка рекомендуется к применению для пиломатериалов, высушиваемых по I и II категориям качества сушки. Для материала III категории качества длительность влаготеплообработки составляет 50% от величины, установленной по этим рекомендациям. **Если в конце третьего этапа сушки проводится выпиливание силовых секций и при этом деформация зубьев секций не превышает 2% то проведение конечной влаготеплообработки не обязательно (п. 12).** Для материала, высушиваемого по 0 и IV категориям качества, влаготеплообработка не обязательна.

Конечную влаготеплообработку проводят, когда достигнута средняя заданная конечная влажность древесины. Во время обработки температура среды должна быть увеличена на $5...8^{\circ}$ по сравнению с температурой последней ступени режима, но не более 100°C . Психрометрическая разность $\Delta t=0,5-1^{\circ}\text{C}$.

Таблица 13. Продолжительность влаготеплообработок, ч, в зависимости от породы, и толщины пиломатериалов.

Толщина пиломатериалов, мм	Порода				
	Сосна, ель, пихта, кедр	Береза, ольха, осина, липа, тополь	Лиственница	Бук, клен	Дуб, ильм, орех, граб, ясень
До 22	1,5	2	3	3,5	4
Свыше 22 до 32	2	3	4	5	6
Свыше 32 до 40	3	6	8	10	12
Свыше 40 до 50	6	12	14	16	20
Свыше 50 до 60	9	18	21	24	30
Свыше 60 до 75	14	30	35	40	50
Свыше 75	24	60	65	70	80

Ориентировочная общая продолжительность влаготеплообработок в зависимости от породы и толщины пиломатериалов приведена в табл. 13.

При отсутствии промежуточной обработки данные табл. 13 характеризуют продолжительность конечной обработки. В случаях, когда проводят и промежуточную и конечную обработки, – на первую используют до 1/3, а на вторую – остальную часть указанного в таблице времени. При влаготеплообработке остывшего материала в специальных пропарочных камерах ее продолжительность по сравнению с указанной в табл. 13 сокращается в 2 раза.

Поскольку необходимая продолжительность влаготеплообработок определяется рядом переменных факторов (параметрами внешней среды, теплопроводностью и герметичностью ограждений, давлением пара, фактической температурой среды при обработке и др.), то приведенные в табл. 13 рекомендации могут корректироваться в зависимости от конкретных условий и в соответствии с результатами контроля остаточных напряжений.

Так как продолжительность влаготеплообработки может изменяться в зависимости от особенностей материала и камеры после ее окончания осуществляют контроль за остаточными напряжениями.

Для этого от силового образца отпиливают два торцевых среза размером вдоль волокон около 10 мм. После выравнивания в них влажности путем выдержки в сушильном шкафу при температуре 100°C в течении 2 – 3 часов срезы раскаивают на силовые секции (см. рис. 8)

Если зубцы силовых секций после раскроя не деформировались, отклонились наружу или внутрь не более чем на 1,5-2% длины зубцов, то продолжительность обработки была достаточна. Если деформация зубцов внутрь превышает 2% их длины, то проводят дополнительную обработку, продолжительность которой (в пределах 30-50% от продолжительности основной обработки) назначают в зависимости от величины изгиба зубцов. После конечной влаготеплообработки пиломатериалы выдерживают в камере при параметрах последней ступени режима сушки в течении 2-3 часов для подсушивания поверхностных слоев материала.

14. Проверка разброса влажности по длине и высоте штабеля, сравнение с допустимым для заданной категории качества, проведение кондиционирования древесины.

Разброс влажности по длине и высоте штабеля определяют замером влажности всех заложенных образцов (можно замерить электровлагомером непосредственно пиломатериал штабеля, но тогда необходимо вводить поправку на температуру).

В случае превышения разброса влажности образцов или послойной влажности для заданной категории качества (см. п. 6 табл. 4) проводят кондиционирующую обработку. С этой целью в камере поддерживают такие параметры среды, при которой недосушенные сортаменты подсыхают, а пересушенные увлажняются, (параметры среды выбирают по диаграмме равновесной влажности – рис. 7).

Для пиломатериалов I категории качества кондиционирующая обработка обязательна. продолжительность кондиционирования ориентировочно в 2 раза меньше продолжительности конечной влаготеплообработки.

Кондиционирующая обработка древесины.

Для выравнивания влажности древесины по объему штабеля и толщине пиломатериалов проводят кондиционирующую обработку. С этой целью в камере с помощью калориферов и увлажнительных устройств поддерживают такое состояние среды, при котором недосушенные сортаменты подсыхают, а пересушенные увлажняются.

При сушке низкотемпературными режимами температура среды во время кондиционирующей обработки поддерживается на уровне, соответствующем последней ступени режима сушки (но не выше 100 °С), а степень насыщенности должна соответствовать (по диаграмме равновесной влажности) средней заданной конечной влажности, увеличенной на 1 %.

Пример:

Определить состояние среды при кондиционирующей обработке, если температура на последней ступени режима $t_c = 85 \text{ }^\circ\text{C}$, а заданная конечная влажность $W_k = 7\%$. Устанавливаем необходимую при обработке равновесную влажность $W_p = 7 + 1 = 8\%$. Определяем по диаграмме (см. рис. 7) требуемую степень насыщенности. При $t_c = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ и $W_p = 8\%$ она равна 0,62.

Продолжительность кондиционирующей обработки зависит от многих факторов и назначается в соответствии с категорией качества сушки, а также особенностями камеры и материала.

Для пиломатериалов I категории качества кондиционирующая обработка обязательна. Ее продолжительность ориентировочно в 2 раза меньше продолжительности конечной влаготеплообработки.

При сушке пиломатериалов по II и III категории качества кондиционирующую обработку проводят, если требуемая равномерность влажности досок по объему штабеля в соответствии с результатами по предшествующим сушкам аналогичного материала не была достигнута.

15. Охлаждение древесины и разгрузка камеры.

Охлаждение камеры до 40⁰С ведут при отключенной подаче теплоносителя и открытых приточно-вытяжных клапанах, а затем дополнительно приоткрывают ворота. Выгрузка неостывших пиломатериалов может привести к образованию большого количества трещин.

16. Анализ и оценка результатов сушки

(типы и причины деградации при сушке, - по материалам американских специалистов штат Виржиния, штат Пенсильвания).

Дефекты, возникающие в процессе сушки (деградация древесины) приводят к снижению стоимости или качества пиломатериалов, что в любом случае приводит к финансовым потерям предприятия.

Лесная служба США подсчитала потери древесины при сушке в штате Пенсильвания. Эти потери варьируются в зависимости от породы, – наиболее твердые породы обнаруживают больший процент деградации.

Таблица 14. Потери при сушке.

Породы	Процент отходов
Липа	8
Береза	6
Твердый клен	14
Красный дуб	13
Белый дуб	15

Кроме того, исследования лесной службы США показывают, что отходы больше в случае высших сортов.

16.1. Причины деградации.

Выделяются пять основных причин деградации при сушке:

1. Слишком быстрая сушка.
2. Слишком медленная сушка.
3. Неправильное штабелевание.
4. Эксплуатационные ошибки.
5. Причины связанные со свойствами древесины.

Эти причины ведут к следующим видам деградации.

Слишком быстрая сушка приводит к поверхностному растрескиванию, торцевым расщепам, внутренним дефектам (пористости, микротрещины), сколам и изломам.

Слишком медленная сушка приводит к появлению грибковых пятен (таких как синие пятна), химических пятен, таких как пятна от прокладочных реек, бурых пятен и т.т., плесени, мучнистой росе, гнили и короблению, в особенности желобованию.

Неправильное штабелевание приводит к короблению, особенно к дуговому изгибу и кручению, а также неравномерной сушке.

Эксплуатационные ошибки приводят к чрезмерной влажности пиломатериалов (это обычно является серьезной проблемой) или, наоборот, к их пересушиванию, а также напряжениям, возникающим при сушке (поверхностному упрочнению), которые необратимы, к тому, что в древесине мягких пород остается незагустевшая смола, и потере аромата (в красном кедре).

Факторы, связанные со свойствами древесины приводят к сколам по годовым кольцам (или свилеватости), плохим запахам, растрескавшимся и ослабевшим сучкам, расколом древесины,

выпадению сучков и короблению, особенно скручиванию. Эти дефекты являются неизбежными и не поддаются контролю в процессе сушки.

В дополнение к вышеуказанным пяти категориям отметим производственные дефекты последующей обработки, которые напрямую связаны с процессами сушки и являются их следствиями. Эти производственные дефекты включают в себя проблемы, вызываемые оборудованием (включая поднятые волокна, разбитые волокна, неровные волокна, разорванные волокна, продольные расколы, наклон пилы, не прямые разрезы, вылет из токарного станка и следы отдачи); проблемы склеивания (включая расхождение связок и слабые связки) и другие проблемы, такие как перекося пластей, торцевые сколы и множество проблем отделки. Большая часть производственных дефектов связана с неадекватной влажностью древесины. Древесина должна быть высушена до процента, всего на 2% превышающего влажность древесины во время хранения, переработки и его использования. Влажность после сушки прямо связана с относительной влажностью воздуха.

Таблица 15. Сводка наиболее распространенных причин деградации древесины при сушке.

Дефект/порок	Слишком быстрая сушка, слишком низкая относительная влажность	Слишком медленная сушка, слишком высокая относительная влажность	Неправильное штабелевание	Эксплуатационные ошибки	Факторы, связанные со свойствами древесины.
1	2	3	4	5	6
Поверхностные трещины	X	X		X(1)	X(2)
Торцевые трещины	X				
Внутренние трещины	X			X(3)	X(2)
Сколы и расщепы	X				X(4)
Излом	X				X(5)
Синие грибковые пятна		X	X		
Плесень, мучнистая роса		X	X		
Гниль		X	X		
Кофейные или бурые грибковые пятна		X	X	X	X(2, 5)
1	2	3	4	5	6
Пятна от прокладочных реек			X	X(6)	
Высекание поверхности зубцами				X(7)	
Скручивание					X(8)
Желобование		X		X(9)	X(10, 11)
Дуговой изгиб			X		X(8)
Плоскостной изгиб					X(4)
Ромбовидность, овальность					X(11)
Коробление после сушки				X(12)	
Неравномерная сушка		X	X		X(13)
Избыточная влажность				X(14)	
Избыточная сухость				X(14)	
Поверхностное упрочнение				X(14)	

Не загустевшая смола				X(15)	
Сколы по годовым кольцам					X(2)
Потеря аромата				X(16)	
Ослабевшие сучки	X				X(17)
Растрескавшиеся сучки	X				
Растрескавшаяся сердцевина					X(11)
Поднятые волокна					X(18)
Разбитые и рваные волокна				X	X(19)
Строгальные задиры				X(9)	
Плохой запах					X(2)
Торцевые расщепы после сушки				X(11)	

Примечания:

1. Слишком высокая начальная температура – снова увлажните высохшую поверхность древесины.
2. Бактериальное заражение древесины.
3. Слишком высокая температура при влажности древесины >30% - увлажните сухую поверхность.
4. Напряжение в древесине, сжатие древесины, молодая древесина.
5. Реакции энзиматического окисления, под влиянием температуры, атмосферной влажности и влагосодержания древесины.
6. Влажные прокладочные рейки или слишком широкие прокладочные рейки.
7. Слишком высокая температура.
8. Распил под углом к волокнам.
9. Слишком сухая и поверхностно упрочненная древесина.
10. Пиломатериалы из тонкомерной древесины.
11. Разница между радиальной и тангенциальной (боковой) усушкой.
12. Изменение влагосодержания древесины после сушки, влагосодержание древесины тлится от РВС воздуха.
13. Смесь разных древесных пород, тонкомерной и крупномерной древесины, комлевых и отрубных кражей, разные скорости воздуха.
14. Плохие образцы, неправильный замер влагосодержания, неисправное оборудование, ошибки в таблицах или методики замеров.
15. Только мягкие древесные породы: применяйте температуры 52⁰С или выше.
16. Не допускайте превышения температуры 30⁰С.
17. Сучек в древесине держался на смоле.
18. Разность в плотности весенней и летней древесины и несоответствие настройкам оборудовани.
19. Влагосодержание слишком высокое или слишком низкое, настройка оборудования.

Таблица 17. Влагосодержание пиломатериалов после хранения их при определенной относительной влажности.

Относительная влажность, %	Влагосодержание пиломатериалов, %
0	0
30	6
55	10
77	15

Выводы:

Деградация при сушке приводит к значительным убыткам в этом технологическом звене. Вместе с тем, за редкими исключениями, она поддается контролю. Квалифицированный рабочий, следуя специальным (изложенным выше) рекомендациям, руководствуясь здравым смыслом и используя адекватное оборудование, может сократить деградацию до 2%.

Журнал контроля режимов сушки

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °C	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м ³								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °C	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м3								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °C	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м3								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °C	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м3								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °C	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м3								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °С	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м ³								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °С	Факт. t, Δt. °С	W, %	Задано , t Δt °С	Факт. t, Δt. °С	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °C	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м ³								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %	Задано , t Δt °C	Факт. t, Δt. °C	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °С	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м ³								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °С	Факт. t, Δt. °С	W, %	Задано , t Δt °С	Факт. t, Δt. °С	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Дата, часы	Сушилка N	1			2			Температура теплоносителя, °С	Примечание
	Порода древесины								
	Размеры пиломатериалов, мм								
	Загружено пиломатериалов, м ³								
	Исходная влажность, W _и %								
	Конечная влажность, W _к %								
	Проводимая ступень или операция	Задано , t Δt °С	Факт. t, Δt. °С	W, %	Задано , t Δt °С	Факт. t, Δt. °С	W, %		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									