



А.И. РАСЕВ, А.А. КОСАРИН

# ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И КОНСЕРВИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

А.И. РАСЕВ, А.А. КОСАРИН

ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И КОНСЕРВИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ



ISBN 978-5-91134-439-9



9 785911 344399



*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии лесопиления и деревообработки ГОУ ВПО МГУЛ С. И. Рыкунин;  
Генеральный директор строительной компании «СтаПо-Н» В. П. Ермолин;  
преподаватель ГОУ СПО Московский колледж  
мебельной промышленности И. Д. Иванова

Расев А. И., Косарин А. А.

P24 Гидротермическая обработка и консервирование древесины : учебное пособие / А. И. Расев, А. А. Косарин. — М. : ФОРУМ, 2010. — 416 с. : ил. — (Профессиональное образование).

ISBN 978-5-91134-439-9

В учебном пособии приведены свойства агентов гидротермической обработки древесины, рассмотрены некоторые свойства древесины. Даны физические основы процессов сушки, тепловой обработки и пропитки древесины. Рассмотрены современные устройства для гидротермической обработки. Значительное внимание уделено рассмотрению современной технологии камерной сушки пиломатериалов, организации транспортных работ в сушильных цехах. Приведены новые данные по системам автоматического регулирования процессов гидротермической обработки древесины. Кратко рассмотрены оборудование и технология сушки шпона и измельченной древесины. Даны основы проектирования установок. Рассмотрены вопросы защиты древесины, технологии и оборудования защитной обработки древесины.

УДК 674(075.32)  
ББК 37.13я723



ISBN 978-5-91134-439-9

© Расев А. И., Косарин А. А., 2010  
© Издательство «ФОРУМ», 2010

## Предисловие

Последнее издание учебника для средних технических учебных заведений «Сушка и защита древесины», написанного И. В. Кречетовым, вышло в 1987 г. Его содержание полностью соответствовало образовательным программам того времени. Однако с 2001 г. действует новый Государственный образовательный стандарт (ГОС) подготовки техников по специальности «Технология деревообработки», примерным учебным планом которого предусмотрено изучение дисциплины «Гидротермическая обработка и консервирование древесины». Ряд разделов этой дисциплины не рассматривается в названном выше учебнике. Кроме того, за прошедшие годы коренным образом изменилась структура деревообрабатывающей промышленности. Значительная часть ранее действовавших комбинатов, фабрик прекратила свое существование. Возникло большое количество новых предприятий, которые по своей форме собственности, структуре, организации производства, по энергоснабжению существенно отличаются от ранее действовавших. В технике гидротермической обработки древесины также произошли существенные изменения. Появились новые способы сушки и пропитки. Разработаны и получили широкое признание новые технологии сушки. Созданы новые образцы сушильного оборудования. По ряду причин утратили силу Руководящие технические материалы (РТМ) по технологии камерной сушки древесины и ГОСТы на режимы сушки пиломатериалов. Потребовалась корректировка режимов сушки применительно к новым условиям. Сделан заметный шаг вперед в области автоматизации процессов гидротермической обработки древесины.

Перечисленные выше обстоятельства определили целесообразность создания нового учебника «Гидротермическая обработка и консервирование древесины» для системы среднего профессионального образования, содержание которого полностью бы

соответствовало действующему ГОСу. Содержание многих разделов базируется на результатах научных и технических разработок авторов учебного пособия.

В учебном пособии автором глав 2, 3, 4, 10, 11, 13, 14 является А. А. Косарин, ст. преподаватель кафедры сушки и защиты древесины Московского государственного университета леса (МГУЛ). Остальные главы написаны и редактирование книги в целом выполнено проф. А. И. Расевым, зав. кафедрой сушки и защиты древесины МГУЛа.

## Введение

Гидротермическая обработка охватывает группу технологических процессов воздействия на древесину тепла, газов и жидкостей, направленных на изменение ее физико-механических и эксплуатационных свойств в нужном направлении.

Эти процессы базируются на физических явлениях обмена тепла и влаги между древесиной и окружающей средой. По своему назначению они могут быть подразделены на три группы: процессы тепловой обработки, процессы сушки и процессы пропитки древесины.

Рассмотрим кратко особенности, цели и задачи этих процессов.

**Тепловая обработка древесины.** При повышении температуры древесины происходит изменение некоторых физико-механических свойств. В частности, снижается твердость древесины, особенно при ее оттаивании. При этом уменьшаются усилия, и повышается качество резания при ее механической обработке. На этом основаны *технологические процессы оттаивания и нагревания* круглых сортиментов перед их распиловкой (бревна) в лесопильном производстве, перед их лущением или строганием (кряжи, чураки) в фанерном производстве.

При повышении температуры древесина становится более пластичной (податливой), что дает возможность изменять форму деталей или заготовок под действием механических усилий. Это обстоятельство используется в *технологических процессах нагревания перед операциями гнутья или прессования*.

Нагретая древесина способствует интенсификации отверждения и высыхания клеев или лаков, нанесенных на поверхность древесины, что является основой *технологических процессов нагревания в операциях склеивания и отделки*.

Тепловая обработка является, таким образом, обязательной неотъемлемой частью технологических процессов лесопиления,

фанерного и мебельного производств. Ее значение достаточно велико: от того, каким образом она проведена, в конечном итоге, зависит и качество полученного продукта.

**Сушка древесины.** Сушкой называются процессы удаления воды из древесины путем ее испарения или выпаривания. В процессе сушки уменьшается количество содержащейся в ней воды, или иными словами, происходит снижение ее *влажности*. При этом существенно улучшаются ее физико-механические и эксплуатационные свойства.

Из курса древесиноведения известно, что размеры и форма древесных сортиментов могут изменяться со снижением или повышением влажности древесины. В тех случаях когда для изделий из древесины требуется стабильность формы и размеров, влажность должна быть доведена до уровня, который соответствует условиям их эксплуатации, т. е. до *эксплуатационной влажности*, а они сами должны быть защищены от повторных увлажнений.

Древесина, которая содержит большое количество воды, легко поражается грибами, в результате чего она загнивает. Сухая же древесина отличается большой стойкостью. Понижение влажности древесины ведет к снижению ее массы и одновременному повышению прочности. Сухая древесина в отличие от сырой легко склеивается, хорошо подвергается отделке.

Таким образом, в результате сушки обеспечивается стабильность размеров и формы изделий из древесины, повышается ее стойкость к биологическим разрушителям, увеличивается удельная прочность, повышается качество отделки и склеивания.

Сушке подвергаются пиломатериалы (доски, брусья, заготовки), строганный или лущеный шпон, щепка, стружка и древесные волокна. В настоящее время распространение получает сушка круглых лесоматериалов, особенно в деревянном домостроении.

Сушка древесины является обязательной операцией практически во всех технологических процессах деревообработки. Ее значение трудно переоценить. Некачественная или несвоевременная сушка приводит к резкому сокращению сроков службы деревянных изделий и конструкций, значительным потерям материала при транспортировании, а в целом — к неэффективному использованию древесины, являющейся дорогим сырьем.

В целом сушка древесины имеет и существенное экологическое значение, поскольку способствуют более полному и рациональному использованию лесных ресурсов нашей страны.

**Пропитка древесины.** При пропитке в древесину вводят различные вещества, которые направленно изменяют ее свойства. Эти вещества могут повышать стойкость древесины к биологическим разрушителям, снижать ее способность к горению и гниению, повышать прочность, или наоборот, снижать ее, окрашивать древесину, повышать ее электрическое сопротивление, придавать ей гидрофобные свойства и многое другое.

Наибольшее распространение в промышленности имеет пропитка древесины веществами, повышающими ее стойкость к поражению дереворазрушающими грибами и насекомыми. Такая обработка называется *консервированием*, которое в отличие от *сушки* защищает древесину в изделиях и сооружениях, которые эксплуатируются на открытом воздухе или в грунте, т. е. в условиях повторных увлажнений.

Основным потребителем консервированной древесины являются энергетическое и железнодорожное строительство (детали опор линий электропередачи и связи, шпалы и переводные брусья), жилищное, промышленное, сельскохозяйственное и другие виды строительства.

Большое значение имеет пропитка древесины огнезащитными составами, называемая *огнезащитой*. Этот вид обработки предохраняет деревянные сооружения от разрушения их огнем. Огнезащита применяется в основном для древесины, используемой при строительстве зданий и сооружений различного назначения.

Некоторое применение в промышленности имеет *модифицирование* древесины, т. е. ее обработка различными веществами, которые изменяют те или иные свойства древесины в желательном направлении. Из модифицированной древесины изготавливаются детали машиностроения, мебели, паркет, элементы музыкальных инструментов, карандаши и пр.

Роль пропитки древесины в производстве достаточно велика. Это можно показать, в частности, на примере энергетического и железнодорожного строительства. Сроки службы непропитанных шпал составляют от 3 до 7 лет, а деталей опор ЛЭП от 5 до 10 лет. Надлежащим образом пропитанные шпалы служат до 25 лет, а детали опор до 50 лет. Сроки эксплуатации возрастают в 3—5 раз. Соответственно снижаются издержки производства и эксплуатации, сокращается потребность в древесине для замены этих сортиментов, измеряемая миллионами кубических метров.

Технологические процессы гидротермической обработки древесины, а также применяемое оборудование специфичны и достаточно сложны. Правильная организация этих процессов,

рациональная эксплуатация оборудования невозможны без специальных знаний и высокой квалификации обслуживающего персонала.

Предметом настоящего курса является изучение технологии процессов тепловой обработки, сушки и пропитки древесины, оборудования, применяемого для проведения этих процессов. Такое изучение базируется на знании основ теории тепловой обработки, сушки и пропитки, термодинамики агентов обработки древесины.

## Глава 1

# ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ СРЕДА И ЕЕ СВОЙСТВА

### § 1. Понятие об агентах обработки. Водяной пар

В процессах гидротермической обработки на древесину воздействует жидкая или газообразная среда, которая носит название **обрабатывающего агента** или **агента обработки**.

Агентами в процессах тепловой обработки являются, в основном, вода и водяной насыщенный пар, назначение которых — передать тепловую энергию обрабатываемому материалу. В некоторых случаях этой цели служит нагретый влажный воздух или смесь его с топочными газами.

При сушке древесины основными агентами обработки (агентами сушки) являются нагретый влажный воздух, его смесь с топочными газами или перегретый водяной пар. Сушильный агент передает тепло высушиваемой древесине и воспринимает испаренную из нее воду. Принципиально возможно использование водных растворов солей. Однако в некоторых случаях ими могут быть гидрофобные (не смешивающиеся с водой) жидкости, которые осуществляют только передачу тепла, но не поглощают водяные пары.

При пропитке древесина обрабатывается водными и органическими растворами веществ, маслянистыми жидкостями.

Основные сведения о свойствах жидкостей, газов и водяного пара даны в курсах физики, гидравлики и теплотехники, которые предшествуют изучению этой дисциплины. Вместе с тем, некоторые сведения, касающиеся свойств водяного пара, воздуха и топочных газов, должны быть дополнены.

**Водяной пар.** Рассмотрим его наиболее важные свойства, имеющие значение при тепловой обработке и сушке древесины.

Проведем небольшой опыт. Герметичный сосуд, имеющий постоянную в процессе опыта температуру, частично заполним водой, а из оставшегося пространства полностью удалим воздух. Вследствие испарения влаги в этом пространстве будет собираться водяной пар. Его давление будет постепенно повышаться и достигнет некоторой величины, после чего испарение влаги и рост давления прекратятся. С этого момента вода и пар будут находиться в состоянии фазового равновесия. Пар, находящийся в равновесии с образующей его жидкостью, будет насыщенным. Его давление в этом состоянии называется давлением насыщения  $p_n$ .

Давление насыщения водяного пара зависит от температуры. При комнатной температуре оно невелико и составляет 0,002—0,003 МПа. С повышением температуры  $p_n$  значительно возрастает и при температуре 100 °С равно 0,1 МПа. Каждой заданной температуре соответствует определенное давление насыщения, и наоборот, каждому давлению — соответствующая температура насыщения пара. Графическая зависимость между температурой и давлением насыщения представлена на рис. 1.1.

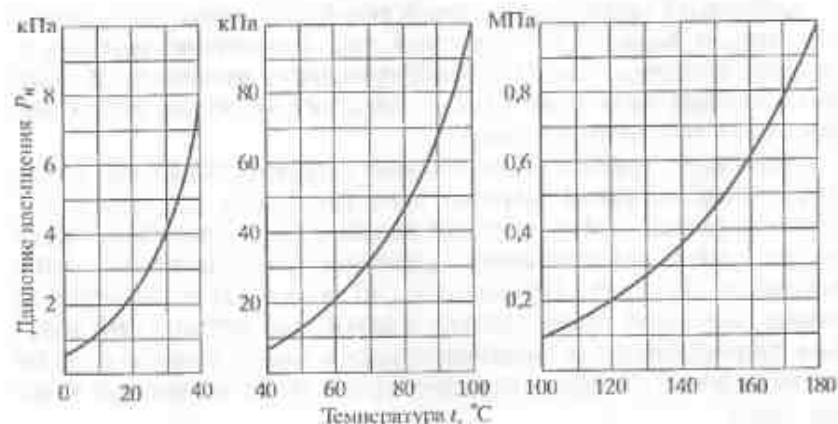


Рис. 1.1. График зависимости давления насыщения водяного пара от температуры

Следует отметить, что температура насыщения равна температуре точки кипения воды при данном давлении.

Состояние пара определяют следующие параметры: температура  $T$  (К) или  $t$  (°С), давление  $p_n$  (Па), удельный объем  $v_n$  (м<sup>3</sup>/кг), плотность  $\rho_n$  (кг/м<sup>3</sup>), энтальпия (теплосодержание)  $i_n$  (кДж/кг), энтропия  $s$  (кДж/(кг К)).

Нагревание насыщенного пара при постоянном давлении приводит к образованию перегретого или ненасыщенного пара. Давление этого пара будет меньше давления насыщения, соответствующего новой, более высокой температуре. Такой пар может поглощать испаряющуюся влагу до тех пор, пока не станет опять насыщенным.

Отношение давления пара определенной температуры  $p_n$  к давлению насыщения, соответствующему этой температуре, называется степенью насыщенности пара и обозначается

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n} \quad (1.1)$$

Насыщенный пар имеет  $p_n = p_n$ , и, следовательно,  $\varphi = 1,0$ . Он широко используется в процессах нагревания древесины, поскольку интенсивно передает тепловую энергию обрабатываемому материалу, но не может быть сушильным агентом, так как не способен испарять влагу из материала. Поэтому в процессах сушки применяется перегретый пар.

В процессах гидротермической обработки древесины в большинстве случаев агентом являются насыщенный и перегретый пар, как в чистом виде, так и в смеси с воздухом или топочным газом при давлении близком к атмосферному. Состояние агента обработки с достаточной для приближенных расчетов точностью определяется из уравнения Менделеева — Клапейрона

$$p_n v_n = R_n T, \quad (1.2)$$

где  $R_n$  — газовая постоянная водяного пара, равная 461,58 Дж/(кг · К).

**Пример.** Водяной пар имеет температуру  $t = 70$  °С и давление  $p_n = 20$  кПа. Определить степень насыщенности  $\varphi$  водяного пара и его плотность  $\rho$ .

Заданной температуре соответствует давление насыщения  $p_n = 32$  кПа (см. рис. 1.1). Пар перегретый, поскольку  $p_n > p_n$ . Степень насыщенности  $\varphi = p_n/p_n = 20/32 = 0,625$ . Плотность  $\rho_n$  определяем из уравнения (1.2) как величину, обратную удельному объему  $v_n$ :

$$\begin{aligned} \rho_n &= 1/v_n = p_n/(R_n T) = 20\,000/[461,58(70 + 273)] = \\ &= 0,126 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

## § 2. Влажный воздух и его параметры

Атмосферный воздух представляет собой механическую смесь газов, из которых основными являются азот, кислород, аргон, углекислый газ. Воздух обязательно содержит в себе некоторое количество водяного пара, поэтому он является влажным.

Атмосферный воздух, следовательно, можно рассматривать как смесь сухого воздуха и водяного пара, имеющего постоянное давление, равное  $10^5$  Па ( $\approx 1$  атм). Погодные колебания атмосферного давления практически незначительны и при расчетах не учитываются.

Атмосферное давление  $p_a$  влажного воздуха, согласно уравнению Дальтона, равно сумме парциального давления  $p_{sc}$  сухого воздуха и парциального давления  $p_n$  водяного пара. Парциальным давлением называют давление одной составляющей смеси газов, при удалении из объема, занимаемого смесью других компонентов.

$$p_a = p_n + p_{sc} \quad (1.3)$$

Сухой атмосферный воздух отличается постоянством своего состава, и его можно рассматривать как идеальный газ, который подчиняется уравнению Менделеева — Клапейрона

$$p_{sc} v_{sc} = R_{sc} T, \quad (1.4)$$

где  $R_{sc}$  — газовая постоянная воздуха, равная 287,14 Дж/(кг · К);  $v_{sc}$  — удельный объем сухого воздуха, м<sup>3</sup>/кг.

Содержание в воздухе водяного пара не постоянно. Поэтому состояние влажного воздуха определяется системой уравнений состояния (1.2), (1.4), уравнением Дальтона (1.3) и зависимостью  $p_n = f(t)$  (см. рис. 1.1).

К основным параметрам влажного воздуха относят его температуру, степень насыщения, влагосодержание, теплосодержание, плотность и приведенный удельный объем.

Водяной пар в воздухе обладает такими же свойствами, как и в свободном от воздуха пространстве. Пар в воздухе может быть как перегретым, так и насыщенным.

Степень насыщения воздуха водяным паром определяется отношением парциального давления пара к давлению его насыщения при данной температуре

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n} \quad (1.5)$$

Отношение (1.5) называют **степенью насыщенности воздуха паром** или **степенью насыщения**. Вполне допустимо называть это отношение **относительной влажностью** воздуха. Если  $p_n = p_n$  ( $\varphi = 1,0$ ), то воздух содержит максимально возможное при данной температуре количество пара. Такой воздух насыщен водяным паром. Сушильным же агентом может быть лишь воздух, содержащий перегретый пар.

В сушильной технике массу водяного пара и количество тепла, содержащегося в воздухе, принято исчислять по отношению к массе сухой части (т. е. без водяного пара). Соответствующими параметрами воздуха являются его влагосодержание и теплосодержание.

**Влагосодержанием**  $d$  называют массу водяного пара (в граммах), приходящуюся на 1 кг сухой части воздуха. Оно имеет размерность г/кг сухого воздуха. Так как пар и сухой воздух занимают один и тот же объем, в соответствии с определением и на основании уравнений (1.2) и (1.4) влагосодержание характеризуется выражением

$$d = 1000 \frac{p_n}{p_{sc}} = 622 \frac{p_n}{(p_a - p_n)} \quad (1.6)$$

Из уравнения следует, что при постоянном атмосферном давлении влагосодержание зависит только от величины парциального давления водяного пара в воздухе.

**Теплосодержанием**  $I$  воздуха называют общее количество тепла, содержащегося в воздухе, отнесенное к 1 кг сухой его части. Оно складывается из теплосодержания сухого воздуха  $i_a$  и энтальпии содержащегося в воздухе пара  $i_n$ , включая его скрытую теплоту парообразования  $r_0$ . Так как на 1 кг сухой части приходится 0,001  $d$  кг влаги, теплосодержание выразится суммой

$$I = i_a + 0,001d \cdot i_n = c_a t + 0,001d(c_n t + r_0) \quad (1.7)$$

Расчетное уравнение теплосодержания воздуха, в кДж/кг сухого воздуха, получаем после подстановки значений удельной теплоемкости воздуха и пара ( $c_a$  и  $c_n$ ), также скрытой теплоты парообразования  $r_0$  в уравнение (1.7)

$$I = 1,01t + 0,001d(1,93t + 2490) \quad (1.8)$$

### Примеры.

1. Температура  $t$  воздуха равна 90 °С, а относительная влажность  $\varphi = 0,5$ . Рассчитать величину парциального давления пара в воздухе, а также его влагосодержание, теплосодержание.

Давление насыщения водяного пара в воздухе находим по заданной температуре (см. рис. 1.1). Оно равно 67 кПа. Рассчитываем величину его парциального давления (1.5):

$$p_p = p_n \cdot \varphi = 67 \cdot 0,5 = 33,5 \text{ кПа.}$$

Определяем влагосодержание (уравнение 1.6)

$$d = 622 \cdot 33,5 / (100 - 33,5) = 313 \text{ г/кг}$$

и теплосодержание (уравнение 1.7)

$$I = 1 \cdot 90 + 0,001 \cdot 313 \cdot (1,93 \cdot 90 + 2490) = 1043 \text{ кДж/кг.}$$

2. Теплосодержание влажного воздуха равно 400 кДж/кг, а влагосодержание 125 г/кг. Определить температуру и относительную влажность воздуха.

Из уравнения (1.8) температура воздуха:

$$\begin{aligned} t &= (I - 0,001 \cdot d \cdot 2490) / (1 + 0,001 \cdot d \cdot 1,93) = \\ &= (400 - 0,125 \cdot 2490) / (1 + 0,125 \cdot 1,93) = 71,5 \text{ }^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

Этой температуре соответствует давление насыщения  $p_n = 33,5$  кПа. Из уравнения (1.6) величина парциального давления:

$$p_p = p_n d / (622 + d) = 100 \cdot 125 / (622 + 125) = 16,78 \text{ кПа.}$$

Относительная влажность воздуха (степень насыщения):

$$\varphi = 16,78 / 33,5 = 0,5.$$

### § 3. *Id*-диаграмма влажного воздуха

Рассмотренные выше параметры влажного воздуха могут быть легко определены с помощью *Id*-диаграммы влажного воздуха. Диаграмма построена в координатах «теплосодержание—влагосодержание» (рис. 1.2).

На диаграмму нанесены следующие семейства линий: влагосодержания  $d$  — прямые вертикальные линии; теплосодержания  $I$  — наклонные прямые, проходящие под углом  $\sim 171^\circ$  по отношению к линиям  $d$ ; температуры  $t$  — прямые, проходящие под небольшим углом к горизонтали; степени насыщения  $\varphi$  — пучок расходящихся кривых. Кривая  $\varphi = 1,0$  делит диаграмму на две области: верхнюю, которая характеризует состояние воздуха, содержащего перегретый

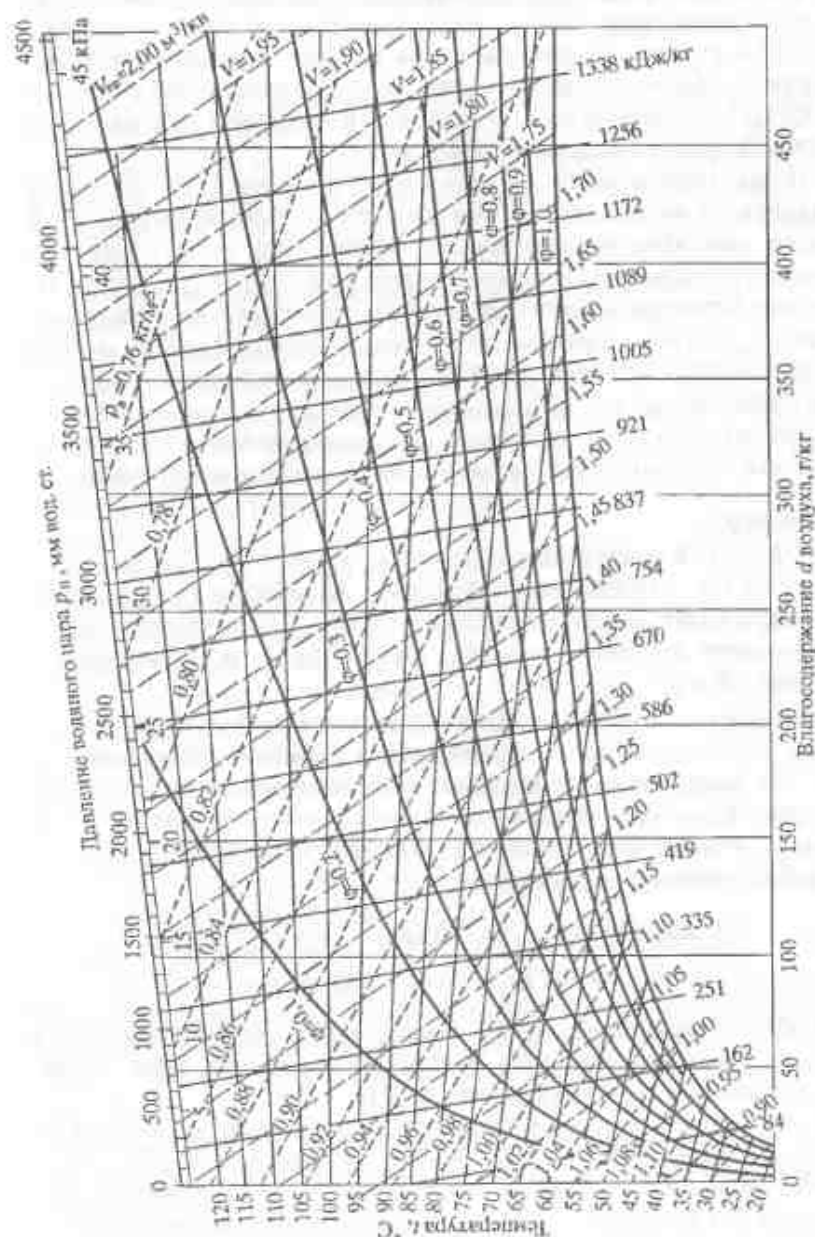


Рис. 1.2. *Id*-диаграмма влажного воздуха (И. В. Кречетов)

пар, и нижнюю область, определяющую состояние воздуха, содержащего мокрый пар. Сама кривая характеризует состояние сухого насыщенного пара. Состояние смеси воздуха с мокрым паром неустойчиво. Поэтому в дальнейшем воздух, содержащий сухой насыщенный пар, будем рассматривать как имеющий максимальное влагосодержание при данном давлении.

Линии парциального давления водяного пара  $p_n$  на диаграмму не наносят, а используют линии  $d = \text{const}$ , поскольку между  $d$  и  $p_n$  имеется однозначная зависимость. Кроме того, на  $Id$ -диаграмме нанесены два семейства прямых: плотности воздуха  $\rho_a = \text{const}$  (наклонные короткие штриховые линии) и приведенного удельного объема  $v_{пр} = \text{const}$  (длинные штриховые линии). Имеется угловая шкала, которая характеризует теплосодержание водяного пара  $i_n$ .

Каждая точка на  $Id$ -диаграмме однозначно определяет состояние воздуха. С ее помощью по двум заданным параметрам (если они не однозначны) можно найти остальные параметры.

#### Примеры.

1. Влажный воздух имеет температуру  $86^\circ\text{C}$  и степень насыщенности  $0,4$ . Определить с помощью  $Id$ -диаграммы остальные параметры этого воздуха: теплосодержание  $I$ , влагосодержание  $d$ , парциальное давление пара  $p_n$ , плотность  $\rho_a$  и приведенный удельный объем  $v_{пр}$ .

Находим на диаграмме точку пересечения линий  $t = 86^\circ\text{C}$  и  $\phi = 0,4$ . Полученная точка характеризует заданное состояние воздуха. По положению этой точки относительно линии теплосодержания  $I$ , влагосодержания  $d$ , парциального давления  $p_n$ , плотности  $\rho_a$  и удельного объема  $v_{пр}$ , соответствующим шкалам и масштабу делений, определяем:

$$I = 636 \text{ кДж/кг}; \quad d = 205 \text{ г/кг}; \quad p_n = 25250 \text{ Па};$$

$$\rho_a = 0,873 \text{ кг/м}^3; \quad v_{пр} = 1,38 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

2. По  $Id$ -диаграмме найти температуру, теплосодержание  $I$  и влагосодержание  $d$  воздуха, насыщенного влагой, если парциальное давление пара составляет  $30 \text{ кПа}$ .

Если воздух насыщен влагой, то его состояние на диаграмме изображается линией  $\phi = 1,0$ . Точка, которая характеризует состояние воздуха по условию задачи, лежит на пересечении линий  $\phi = 1,0$  и  $p_n = 30 \text{ кПа}$ . По положению этой точки находим:

$$t = 68^\circ\text{C}; \quad I = 745 \text{ кДж/кг}; \quad d = 260 \text{ г/кг}.$$

## § 4. Основные процессы изменения состояния воздуха

В сушильной технике наиболее характерными процессами изменения состояния воздуха являются: нагревание или охлаждение воздуха в теплообменниках, испарение влаги в воздухе, смешение воздуха различных состояний, обработка воздуха паром или водой. Эти процессы очень удобно изображать и анализировать, используя диаграммы влажного воздуха.

Нагревание или охлаждение воздуха в теплообменниках происходит в результате его соприкосновения с горячей или холодной сухой поверхностью.

При нагревании воздуха повышается его температура, увеличивается теплосодержание, снижается степень насыщенности. Количество влаги в воздухе остается неизменным, а следовательно, влагосодержание постоянным. На  $Id$ -диаграмме нагревание воздуха, первоначальное состояние которого характеризуется точкой  $a$  (рис. 1.3), изображается вертикальной прямой  $a-b$ , параллельной линии  $d = \text{const}$ .

Охлаждение воздуха связано с понижением его температуры, теплосодержания и повышением степени насыщенности (линия  $a-v$ ).

В определенных условиях при охлаждении воздух может достигнуть состояния насыщения (точка  $г$ ).

Дальнейшее его охлаждение будет сопровождаться конденсацией водяного пара (отрезок  $г-d$ ) и уменьшением влагосодержания. Состояние, при котором воздух, охлаждаясь о сухую поверхность, достигает насыщения, называется *точкой росы*, а соответствующая этому состоянию температура — температурой росы  $t_p$ .

При соприкосновении воздуха, содержащего перегретый пар, с поверхностью воды или влажного тела будет проходить процесс *испарения влаги* в воздух.

При этом температура воздуха понижается, а степень насыщенности и влагосодержание увеличиваются. Теплосодержание же

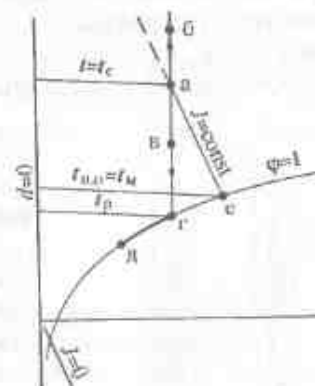


Рис. 1.3. Схема процессов нагревания, охлаждения воздуха и испарения влаги на  $Id$ -диаграмме

остается постоянным ( $I = \text{const}$ ), так как тепло, затрачиваемое на испарение, передается образовавшемуся пару и остается в воздухе в виде скрытой теплоты парообразования (адиабатический процесс). Если исходное состояние воздуха характеризуется точкой  $a$  на  $Id$ -диаграмме (см. рис. 1.3), то процесс испарения влаги изобразится прямой  $a-e$ , параллельной линии постоянного теплосодержания  $I = \text{const}$ .

В процессе испарения воздух может оказаться насыщенным водяным паром (точка  $e$ ). При этом наступит равновесие между паром в воздухе и жидкостью. Температура воздуха и количество содержащейся в нем влаги будут оставаться при последующей выдержке постоянными. Точка  $e$  характеризует состояние воздуха, называемое **пределом охлаждения при испарении**, или проще, **пределом охлаждения**. Температура, при которой воздух, испаряя влагу, достигает состояния насыщения, называется температурой предела охлаждения  $t_{n.o.}$

Мокрое тело, омываемое воздухом, при достаточной длительности процесса приобретает температуру, равную температуре предела охлаждения. Важно отметить, что  $t_{n.o.}$  при атмосферном давлении, а следовательно, и температура мокрого тела, окруженного воздухом, независимо от температуры последнего, всегда ниже  $100^\circ\text{C}$ . При атмосферном давлении  $t_{n.o.} = 100^\circ\text{C}$  имеет только чистый перегретый пар.

Температура предела охлаждения может быть измерена смоченным термометром, т. е. термометром, у которого чувствительный элемент — шарик обернут тканевым чехлом, который смачивается водой. Смоченный термометр в паре с обычным, сухим термометром образует прибор, называемый **психрометром** (рис. 1.4).

По показаниям сухого  $t_c$  и смоченного  $t_w$  термометров с помощью  $Id$ -диаграммы определяются все параметры воздуха. Для этого на диаграмме нужно найти точку пересечения прямой  $t_w = \text{const}$  с кривой  $\varphi = 1,0$  (рис. 1.3, точка  $e$ ). Через эту точку проводят линию  $I = \text{const}$  до пересечения

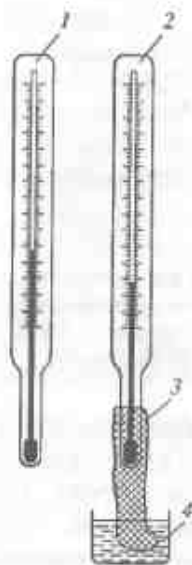


Рис. 1.4. Общий вид психрометра:  
1 — сухой термометр;  
2 — смоченный термометр; 3 — тканевый чехол; 4 — сосуд с дистиллированной водой

ее с линией  $t_c = \text{const}$ . Полученная точка  $a$  будет характеризовать состояние воздуха. Кроме того, степень насыщенности  $\varphi$  может быть определена по психрометрическим диаграммам или таблицам. При этом следует иметь в виду, что  $t_w$  практически равна  $t_{n.o.}$ , если скорость движения воздуха у чувствительного элемента более  $2 \text{ м/с}$  или при его температуре выше  $60^\circ\text{C}$ . В иных случаях в показания смоченного термометра необходимо вводить поправки. Более подробно конструкции психрометров будут рассмотрены в гл. 3 (§ 11).

**Процессы смешения** воздуха различных состояний применяются в сушильной технике для обеспечения нормальной работы сушильных установок, поскольку необходимо разбавлять находящийся в них воздух свежим.

Состояние смеси ( $I_c, d_c$ ) зависит от состояния ее компонентов и пропорции, в которой эти компоненты смешиваются. Пусть к  $M_1$  килограммам воздуха (здесь и в дальнейшем по его сухой части) состояния 1 ( $I_1, d_1$ ) подмешивается  $M_2$  килограмм воздуха состояния 2 ( $I_2, d_2$ ) в соотношении

$$n = \frac{M_1}{M_2}, \quad (1.9)$$

которое называется коэффициентом пропорции смеси. Уравнения баланса тепла и влаги, исходя из того, что на 1 кг воздуха состояния 2 приходится  $n$  кг воздуха состояния 1, будут иметь вид:

$$I_2 + nI_1 = (1 + n)I_c; \quad (1.10)$$

$$d_2 + nd_1 = (1 + n)d_c. \quad (1.11)$$

Из этих уравнений определяем параметры смеси:

$$I_c = \frac{I_2 + nI_1}{1 + n}; \quad (1.12)$$

$$d_c = \frac{d_2 + nd_1}{1 + n}. \quad (1.13)$$

На  $Id$ -диаграмме точка (рис. 1.5), характеризующая состояние смеси, лежит на отрезке прямой, которая соединяет точки, определяющие состояния воздуха 1 и 2. Точка  $c$  делит отрезок прямой 1—2 на части, отношение которых равно коэффициенту

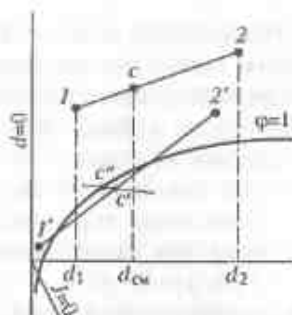


Рис. 1.5. Схема процессов смешения воздуха с воздухом на  $Id$ -диаграмме

пропорции смеси. Она лежит ближе к той точке, которая характеризует состояние преобладающего компонента (при  $n > 1$ , ближе к точке 1).

Этот отрезок может пересечь линию  $\varphi = 1,0$ . При этом точка состояния смеси будет лежать в области мокрого пара (точка  $c'$ ). Это означает, что при смешении произошла частичная конденсация водяного пара. Фактическое состояние смеси определится точкой  $c''$ , расположенной на пересечении кривой  $\varphi = 1,0$  и прямой  $t = \text{const}$ , проходящей через точку  $c'$ .

#### Примеры.

1. Воздух температурой  $t = 50^\circ\text{C}$  и степенью насыщенности  $\varphi = 0,7$  нагревают в теплообменнике до температуры  $90^\circ\text{C}$ . Найти теплосодержание  $I$  и степень насыщенности  $\varphi$  нагретого воздуха.

Находим на  $Id$ -диаграмме точку пересечения линий  $t = 50^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,7$ . Из этой точки проводим прямую, параллельную линии  $d = \text{const}$  (вертикально вверх) до пересечения с линией температуры  $t = 90^\circ\text{C}$ . Полученная точка характеризует состояние нагретого воздуха. Далее находим искомое:  $I = 250$  кДж/кг,  $\varphi = 0,13$ .

2. Воздух, имеющий  $t_1 = 90^\circ\text{C}$  и  $\varphi_1 = 0,2$ , проходит через слой сырого материала и выходит из него при  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ . Определить степень насыщенности  $\varphi_2$  воздуха, прошедшего через материал.

Из точки, характеризующей исходное состояние воздуха ( $t = 90^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,2$ ), проводим линию, параллельную линиям  $I = \text{const}$ , до пересечения с линией  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ . По положению полученной точки находим, что степень насыщенности воздуха искомого состояния равна 0,5.

3. Найти температуру росы  $t_p$  и температуру предела охлаждения  $t_{\text{но}}$  воздуха, имеющего  $t = 94^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,3$ .

Выполнив на  $Id$ -диаграмме построения, аналогичные показанным на рис. 1.3, определяем  $t_p = 65^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{но}} = 66^\circ\text{C}$ .

4. По показаниям психрометра  $t_c = 75^\circ\text{C}$  и  $t_w = 60^\circ\text{C}$  определить с помощью  $Id$ -диаграммы следующие параметры влажного воздуха: степень насыщенности  $\varphi$ , влагосодержание  $d$  и теплосодержание  $I$ .

Находим точку пересечения линий  $t_w = 60^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 1,0$ ; через полученную точку проводим прямую, параллельную  $I = \text{const}$ , до пересечения с линией  $t_c = 75^\circ\text{C}$ . Точка пересечения характеризует параметры воздуха. Далее находим:  $\varphi = 0,5$ ,  $d = 153$  г/кг,  $I = 480$  кДж/кг.

5. Смешивают 60 кг воздуха при  $t_1 = 60^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_1 = 0,7$  и 20 кг воздуха при  $t_2 = 92^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_2 = 0,5$ . Определить температуру  $t_3$  и степень насыщенности  $\varphi_3$  полученной смеси.

На  $Id$ -диаграмме выполняем следующие построения: находим точки 1 и 2, характеризующие состояние воздуха, проводим отрезок прямой, соединяющий эти точки; рассчитываем коэффициент пропорции смеси  $n = 60/20 = 3$ ; делим отрезок 1—2 на  $n + 1$  часть, т. е. на 4; откладываем одну часть от точки 1 (точка 1 характеризует состояние преобладающего компонента); получаем точку 3, которая определяет состояние смеси. Таким образом,  $t_3 = 70^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_3 = 0,68$ .

## § 5. Топочные газы, $Id\alpha$ -диаграмма

На подавляющем большинстве деревообрабатывающих предприятий топочные газы получают в результате бездымного сжигания древесных отходов. Очень редко используют для этой цели природный газ и мазут. Состояние топочных газов зависит от вида и состава топлива, его влажности и условий горения. В смеси с влажным воздухом топочные газы используют для сушки измельченной древесины, шпона и пиломатериалов.

Физические свойства газов мало отличаются от свойств атмосферного воздуха. Они характеризуется теми же параметрами, что и состояние воздуха. Поэтому для определения состояния топочного газа можно применить  $Id$ -диаграмму с расширенной температурной шкалой.

Чтобы установить взаимосвязь параметров газа с составом и влажностью топлива, а также условиями его горения, на диаграм-

му наносят дополнительные линии постоянной влажности топлива  $W_0 = \text{const}$  и коэффициента избытка воздуха  $\alpha = \text{const}$ . Такая диаграмма получила название *Idα*-диаграммы топочных газов.

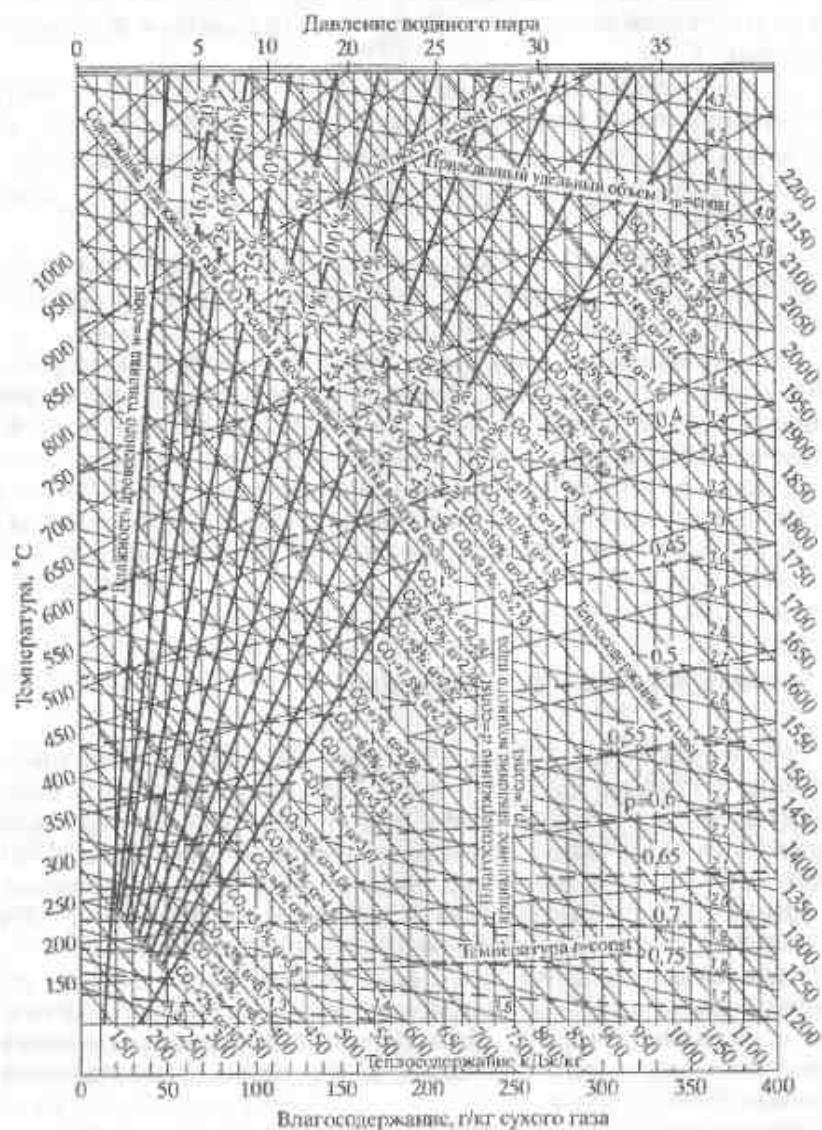


Рис. 1.6. *Idα*-диаграмма топочных газов

На рис. 1.6 приведена *Idα*-диаграмма топочных газов для древесного топлива, предложенная профессором И. В. Кречетовым.

В энергетике влажность топлива принято рассчитывать как отношение массы влаги в составе топлива к первоначальной массе (относительная влажность)  $W_0$ , %, в отличие от технологии деревообработки, где принят метод расчета влажности по отношению к массе сухой части вещества (абсолютная влажность)  $W$ , что будет рассмотрено ниже (см. § 6).

$$W_0 = \frac{100(M - M_c)}{M}, \quad (1.14)$$

где  $M$  и  $M_c$  — общая масса образца влажной древесины и его масса в абсолютно сухом состоянии соответственно.

Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  является основной характеристикой условий горения топлива. Он показывает отношение количества воздуха, затрачиваемого на сжигание топлива, к минимально необходимому количеству воздуха для его полного сгорания. Для получения топочного газа, как агента сушки, сжигание топлива проводится при  $\alpha > 1$ .

При полном сгорании топлива содержание углекислого газа зависит только от коэффициента  $\alpha$ , %. Каждой величине  $\alpha$  соответствует вполне определенное содержание  $\text{CO}_2$ . Поэтому на линиях  $\alpha = \text{const}$  дано двойное обозначение ( $\alpha$  и  $\text{CO}_2$ ). Содержание углекислого газа в топочных газах определяют газоанализаторами.

Линии постоянной влажности топлива на диаграмме также имеют двойное обозначение, соответствующее относительной  $W_0$  и абсолютной  $W$  влажности.

*Idα*-диаграмма может быть использована для анализа состояния газов, получаемых при сжигании мазута и природного газа. Процесс горения мазута с достаточной степенью точности характеризуется на диаграмме линией постоянной влажности  $W = 0$ , а природного газа  $W = 20$  %.

#### Примеры.

1. При сжигании древесного топлива с помощью пирометра (прибора для измерения температуры) и газоанализатора установлено, что  $t = 700$  °C и содержание  $\text{CO}_2$  — 10 %. Требуется определить теплотворность  $I$ , влагосодержание  $d$ , плотность  $\rho_g$ , удельный объем  $v_0$ , коэффициент  $\alpha$  топочного газа и влажность сжигаемого топлива: абсолютную  $W$  или относительную  $W_0$ .

На  $I\alpha$ -диаграмме находим точку пересечения линий  $t = 700^\circ\text{C}$  и  $\text{CO}_2 = 10\%$ . Эта точка характеризует состояние топочного газа. Далее по положению точки определяем:

$$I = 1320 \text{ кДж/кг}; d = 155 \text{ г/кг}; \rho_r = 0,34 \text{ кг/м}^3;$$

$$v_n = 3,4 \text{ м}^3/\text{кг}; \alpha = 2,02; W = 125\% (W_0 = 55,5\%).$$

2. Температура газа, полученного при сжигании природного газа, равна  $900^\circ\text{C}$ . Определить теплосодержание  $I$ , влагосодержание  $d$ , коэффициент  $\alpha$ , удельный объем  $v_{np}$ , плотность  $\rho_r$  полученного газа.

Находим на  $I\alpha$ -диаграмме точку пересечения линий  $t = 900^\circ\text{C}$  и  $W = 20\%$ . По положению точки определяем:

$$I = 1210 \text{ кДж/кг}; d = 66 \text{ г/кг};$$

$$\alpha = 2,22; v_{np} = 3,65 \text{ м}^3/\text{кг}; \rho_r = 0,29 \text{ кг/м}^3.$$

### Контрольные вопросы

1. Что называется агентом обработки? Каково его назначение? Назовите агенты гидротермической обработки.
2. В чем отличие давления пара от его давления насыщения? Что произойдет с насыщенным паром, если его нагревать при постоянном давлении? Что называется степенью насыщенности водяного пара?
3. Какими параметрами характеризуется состояние атмосферного воздуха?
4. Дайте определение влагосодержания и теплосодержания влажного воздуха.
5. В каких координатах построена  $I\alpha$ -диаграмма?
6. Какие линии нанесены на этой диаграмме?
7. Назовите наиболее характерные процессы изменения состояния воздуха.
8. Дайте характеристику процессов охлаждения и нагревания воздуха о сухую поверхность.
9. Охарактеризуйте процесс испарения влаги в воздух. Как изображается этот процесс на  $I\alpha$ -диаграмме?
10. Как устроен психрометр? Каков принцип его действия?
11. Дайте характеристику процессов смешения воздуха различных состояний.
12. Как определяют параметры смеси с помощью  $I\alpha$ -диаграммы?
13. От чего зависит состояние топочных газов?
14. Чем отличаются  $I\alpha$ - и  $I\alpha_0$ -диаграммы?
15. Что такое коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ ?

## Глава 2

# СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ КАК ОБЪЕКТА ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### § 6. Вода в древесине. Плотность древесины

Древесина состоит из разнообразных растительных клеток, которые, как правило, имеют удлиненную форму. В древесине хвойных пород (рис. 2.1, а) водопроводящую функцию выполняют **трахеиды**, составляющие основную долю ее объема. Они представляют собой вытянутые, сужающиеся на концах клетки, расположенные вдоль оси ствола дерева. Условный диаметр полостей трахеид колеблется в ранней зоне годичного слоя от  $3 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-5}$  м, а в поздней зоне — от  $1,3 \cdot 10^{-5}$  до  $2,5 \cdot 10^{-5}$  м.

Трахеиды сообщаются **окаймленными порами**, перегородженными мембранами с отверстиями, диаметр которых оценивается

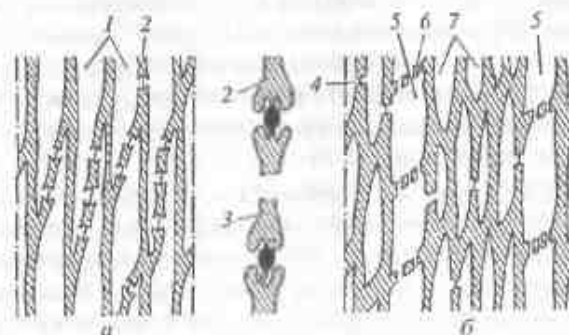


Рис. 2.1. Схема капиллярной структуры древесины:  
а — хвойных пород; б — лиственных пород; 1 — трахеиды; 2 — окаймленная пора; 3 — окаймленная пора с закрытой полостью; 4 — простая пора; 5 — сосулька; 6 — диафрагма; 7 — клетки либриформы

величиной  $2 \cdot 10^{-7} \dots 6 \cdot 10^{-7}$  м. Окаймленные поры расположены главным образом на концевых стенках суживающейся части трахеид. Поэтому сообщаются между собой преимущественно их цепочки, смежные в направлении вдоль ствола, вследствие чего проницаемость древесины вдоль волокон значительно выше, чем поперек.

Сравнительная капиллярная проницаемость древесины различных хвойных пород определяется числом окаймленных пор, а также диаметром и числом отверстий в их мембранах. При жизнедеятельности дерева в ядре и спелой древесине откладываются смолистые вещества. Они частично закупоривают отверстия в мембранах пор, в результате чего проницаемость этих частей ствола существенно уменьшается по сравнению с проницаемостью заболони. Определенную роль в этом играет и то обстоятельство, что в ядре и спелой древесине мембраны окаймленных пор имеют обычно сдвинутое расположение (рис. 2.1 а) и полости пор перекрыты торусами.

В древесине лиственных пород (рис. 2.1, б) основные водопроводящие элементы — сосуды. Они представляют собой длинные (до 3 м) трубки, образовавшиеся из ряда коротких клеток (члеников) растворением между ними перегородок, которые наблюдаются в виде поперечных диафрагм с одним круглым (простая перфорация) или несколькими щелевидными (лестничная перфорация) отверстиями. Диаметр сосудов  $3 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-4}$  м. Между сосудами расположены клетки либриформа и других тканей (сердцевинных лучей, древесной паренхимы). Эти клетки сообщаются между собой и с сосудами преимущественно простыми порами. При образовании в растущем дереве ядра сосуды в нем закупориваются особыми паренхимными выростами — тиллами. Проницаемость древесины лиственных пород, также как и хвойных, существенно больше вдоль волокон, чем поперек, а проницаемость ядра меньше заболони.

Стенки клеток имеют волокнистое строение. Они формируются из отдельных волоконцев — микрофибрилл, имеющих поперечные размеры от  $10^{-8}$  до  $3 \cdot 10^{-8}$  м. Они ориентированы вдоль оси клетки или под небольшим углом к ней. Микрофибриллы состоят из элементарных фибрилл, которые, в свою очередь, представляют пучок переплетенных между собой цепных молекул целлюлозы. Между микрофибриллами размещаются другие органические вещества — гемицеллюлозы, лигнин, а также вода. Последняя находится между фибриллами в виде прослоек, тол-

щина которых зависит от влажности. Микрофибриллы формируют слои клеточной стенки, образуя при этом более крупные образования, называемые макрофибриллами (поперечный размер от  $3 \cdot 10^{-7}$  до  $5 \cdot 10^{-7}$  м). Между ними имеются свободные сообщающиеся пространства, заполненные воздухом и влагой, количество которой непостоянно. Следовательно, в стенках клеток имеется своя капиллярная система, отличающаяся по размерам от капиллярной системы клеточных полостей.

Содержание влаги в древесине, как и других веществах, характеризуется величиной отношения массы влаги в древесине к массе древесины. Это отношение, выраженное в процентах, называют влажностью. В технологии деревообработки принято считать влажность как отношение массы влаги  $M_w$ , содержащейся в древесине, к ее массе в абсолютно сухом состоянии  $M_c$ . Влажность  $W$ , %, определяется по выражению

$$W = \frac{100M_w}{M_c} = \frac{100(M - M_c)}{M_c}, \quad (2.1)$$

где  $M$  — начальная масса древесины.

Влага в древесине может находиться как в полостях клеток, так и в их стенках. Влагу, находящуюся в полостях клеток и в пространствах между клетками, называют свободной, а в клеточных стенках — связанной или гигроскопической.

Содержание связанной влаги в древесине ограничено. Состояние, при котором стенки клеток имеют максимальную влажность при соприкосновении их с жидкой влагой, называется пределом их насыщения. В этом состоянии древесина имеет максимальный объем, который не изменяется и при более высокой влажности. Влажность предела насыщения  $W_{н.н.}$  зависит от плотности древесины, с увеличением которой он снижается. Так, например, для древесины бальзы он составляет около 50 %, а эбеновой древесины — 14...16 %.

Для большинства отечественных пород  $W_{н.н.}$  практически не зависит от породы и составляет в среднем 30 %.

Если влажность древесины более  $W_{н.н.}$ , т. е. выше 30 %, значит, в древесине содержится свободная влага. Максимальное содержание свободной влаги зависит от объема полостей клеток и колеблется для древесины различных пород от 60 до 250 %.

Древесина растущего или свежесрубленного дерева всегда имеет влажность выше влажности предела насыщения, т. е. она является сырой.

Влажность свежесрубленной древесины зависит от породы, местоположения в стволе (ядро или заболонь) и времени года. Она колеблется в очень широких пределах. Средние значения влажности свежесрубленной древесины приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Средние значения влажности свежесрубленной древесины

Порода	Влажность, %		
	спелой древесины или ядра	заболони	средняя
Сосна, ель	30...40	100...120	60...100
Кедр	35...65	140...200	80...110
Лиственница	40...50	100...120	50...70
Береза	—	70...90	70...90
Ясень	35...40	35...40	35...40
Дуб	50...80	70...80	60...80

У хвойных пород влажность ядра и спелой древесины значительно ниже влажности заболони. У лиственных пород различие влажности по сечению ствола практически не наблюдается.

Важными характеристиками физических свойств древесины, которые широко используются при расчетах, являются ее фактическая и базисная плотность.

**Фактическая плотность**  $\rho$  выражается отношением полной массы образца древесины, включая воду, к его объему при данной влажности. Она зависит от влажности древесины и ее породы. При этом повышение содержания связанной воды вызывает одновременное увеличение объема образца. Изменение же содержания свободной воды отражается лишь на массе образца.

**Базисная плотность**  $\rho_b$  характеризует массу образца в абсолютно сухом состоянии в единице объема сырой (при влажности  $W \geq W_{пл}$ ) древесины. В отличие от фактической, базисная плотность зависит только от компактности древесины, которая в значительной степени определяется ее породой (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Средняя базисная плотность древесины основных пород

Порода	$\rho_b$ , кг/м <sup>3</sup>	Порода	$\rho_b$ , кг/м <sup>3</sup>	Порода	$\rho_b$ , кг/м <sup>3</sup>
Кедр	350	Ольха	420	Бук	530
Ель	360	Береза	500	Ясень	540
Сосна	400	Лиственница	520	Дуб	560

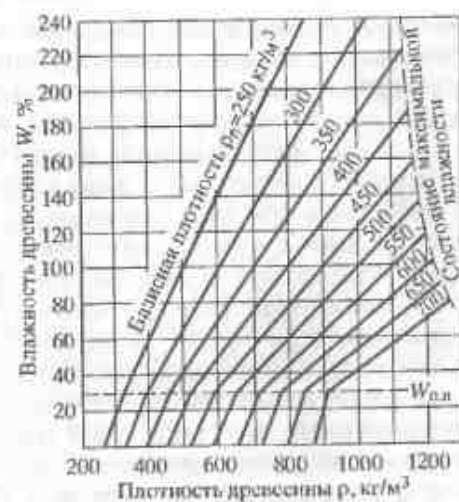


Рис. 2.2. Диаграмма плотности древесины

Плотность древесины может быть определена, при известной породе и влажности, по диаграмме, приведенной на рис. 2.2. По этой диаграмме, кроме того, для конкретной породы можно определить максимальные значения плотности и влажности.

**Пример.** Определить плотность древесины сосны при влажности 80 %, а также ее максимальные плотность и влажность.

Базисная плотность (см. табл. 2.2) сосны  $\rho_b = 400$  кг/м<sup>3</sup>. По диаграмме на рис. 2.2 находим точку пересечения линии базисной плотности 400 кг/м<sup>3</sup> с линией влажности 80 %. Из точки пересечения проводим вертикальную прямую вниз и по шкале плотности с учетом масштаба делений находим  $\rho = 700$  кг/м<sup>3</sup>. Далее доводим линию  $\rho_b = 400$  кг/м<sup>3</sup> до пересечения с кривой  $W_{max}$ . По положению точки пересечения на шкалах  $W$  и  $\rho$  находим:

$$W_{max} = 180 \% ; \rho_{max} = 1100 \text{ кг/м}^3.$$

## § 7. Гигроскопичность древесины. Равновесная влажность

Древесина относится к гигроскопическим материалам, т. е. таким, которые обладают свойством изменять свою влажность с изменением состояния окружающей их среды.

Если древесину длительное время выдерживать в воздухе неизменного состояния, то ее влажность будет стремиться к определенной величине, которая называется **устойчивой влажностью**. Устойчивой влажностью древесины может достигнуть, либо поглощая влагу из воздуха (сорбция), либо отдавая ее в воздух (десорбция).

Влагу из воздуха могут поглощать только клеточные стенки. Появление свободной влаги при этом невозможно, даже если воздух будет насыщен водяным паром. Устойчивая максимальная влажность, которую приобретает древесина при длительной выдержке в воздухе, насыщенном влагой, называется **влажностью предела гигроскопичности**  $W_{пг}$ . Предел гигроскопичности, следовательно, такое состояние, при котором древесина поглотила путем сорбции максимально возможное количество связанной влаги, но не содержит свободной. При комнатной температуре влажность предела гигроскопичности составляет около 30 %, т. е. численно равна  $W_{пг}$ . Но в отличие от последней  $W_{пг}$  снижается при повышении температуры (при температуре 100 °С она составляет около 19 %). Устойчивая влажность древесины определяется только температурой  $t$  и степенью насыщенности  $\varphi$  воздуха.

Процессы сорбции и десорбции не вполне обратимы. При одинаковом состоянии воздуха устойчивая влажность при сорбции  $W_{ус}$  меньше, чем устойчивая влажность при десорбции  $W_{уд}$  (рис. 2.3, кривые 1 и 2). Разность между ними  $\Delta W = W_{уд} - W_{ус}$  называется **показателем гистерезиса сорбции**. Его величина зависит в основном от размеров древесного образца. Древесные сортаменты крупных сечений — бруски, доски, заготовки имеют показатель гистерезиса, равный в среднем 2,5 %. Для мелких древесных частиц (опилки, стружки) гистерезис очень невелик (0,2...0,3 %) и в практических расчетах (рис. 2.3, кривые 3 и 4) не учитывается, считается, что  $W_{уд} = W_{ус}$ .

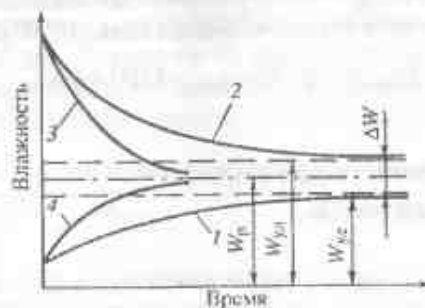


Рис. 2.3. Кривые сорбции (1,4) и десорбции (2,3) во времени

Например, если два отрезка доски — один влажностью около 30 %, а другой в абсолютно сухом состоянии, выдерживать в воздушной среде при  $t = 20$  °С и  $\varphi = 0,4$ , то через некоторое время масса образцов изменится: у первого уменьшится (в результате десорбции), а у второго увеличится (в результате сорбции). После достаточно длительной выдержки масса образцов изменяться не будет. При этом первый образец приобретет устойчивую влажность при десорбции, которая равна ~9,3 %, а второй образец — устойчивую влажность при сорбции, составляющую ~6,8 %. Разность между  $W_{уд}$  и  $W_{ус}$  равна в среднем 2,5 %. Древесные опилки с аналогичными исходными данными при выдержке в тех же условиях приобретут влажность около 8 %.

Устойчивую влажность измельченной древесины, практически одинаковую при сорбции и десорбции, называют **равновесной влажностью**  $W_r$ . Ее величину определяют по специальным диаграммам. На рис. 2.4 приведена диаграмма равновесной влажно-

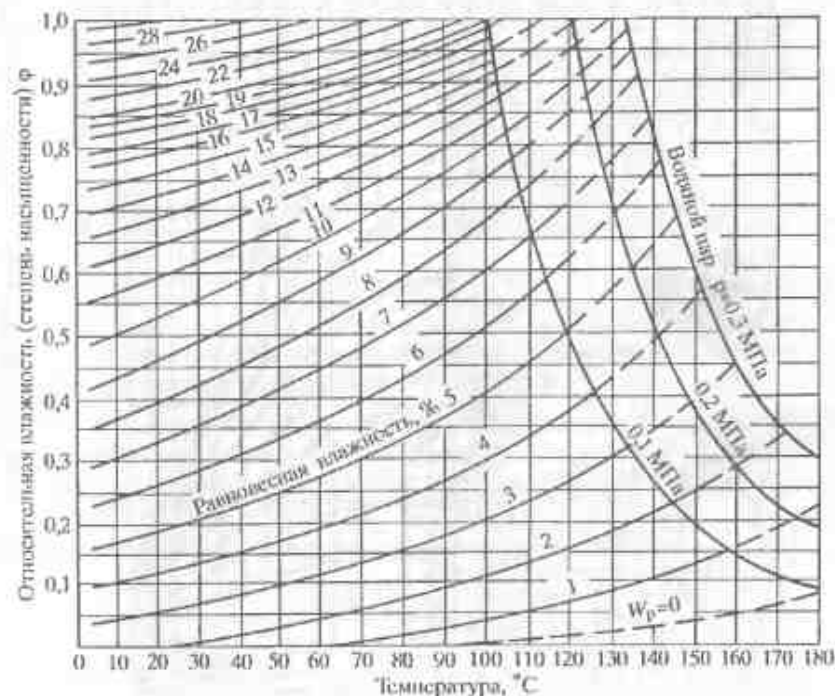


Рис. 2.4. Диаграмма равновесной влажности древесины (П. С. Сергеевский)

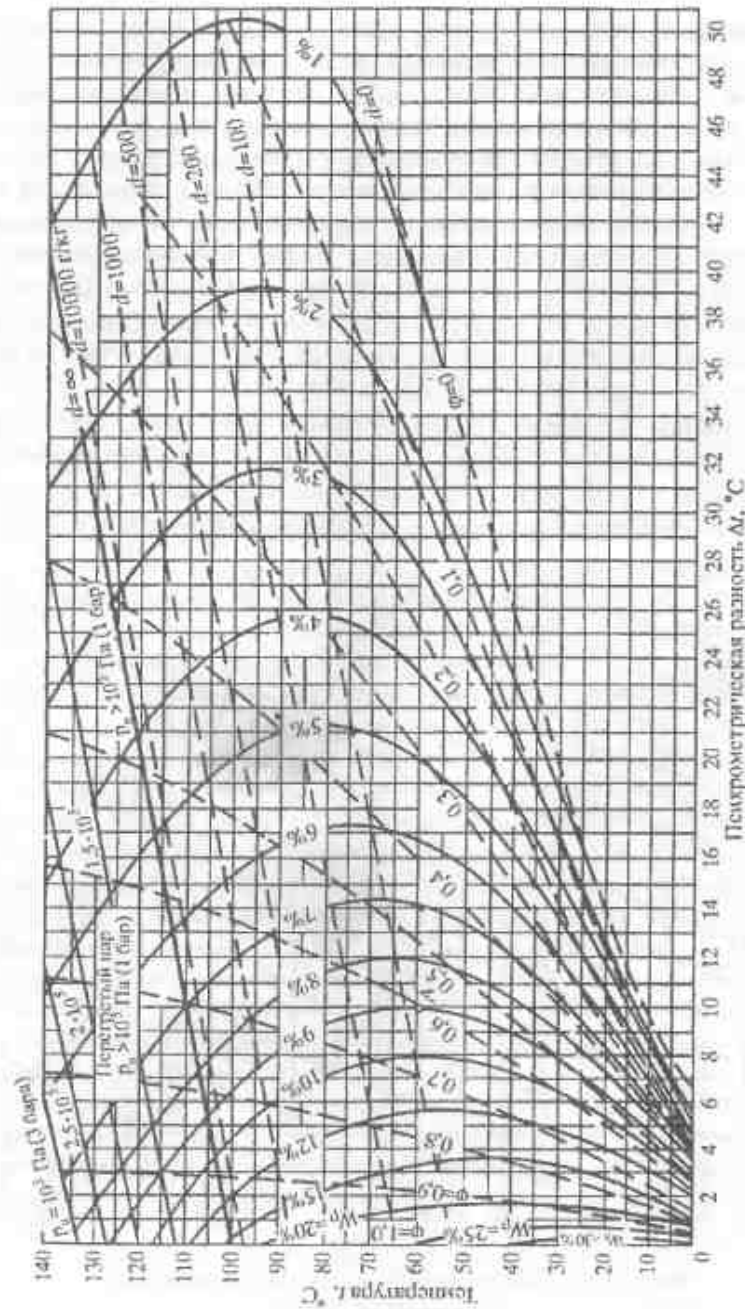


Рис. 2.5. Диаграмма равновесной влажности древесины (И. В. Кречетов)

сти, разработанная профессором П. С. Серговским. Она построена в координатах температура  $t$  и степень насыщенности  $\varphi$  воздуха с линиями постоянного значения равновесной влажности древесины  $W_p = \text{const}$ .

С помощью этой диаграммы достаточно просто определяется устойчивая влажность при сорбции и десорбции древесных сортов промышленных сечений. Если древесина не подвергалась воздействию высокой температуры (более  $50^\circ\text{C}$ ), то

$$W_{уд} = W_p + 1,25; \quad W_{ус} = W_p - 1,25. \quad (2.2)$$

Для древесины, которая испытывала воздействие высокой температуры, например, прошедшей камерную сушку, следует пользоваться другими выражениями:

$$W_{уд} = W_p; \quad W_{ус} = W_p - 2,5. \quad (2.3)$$

При анализе процессов сушки древесины более удобна диаграмма (рис. 2.5), построенная проф. И. В. Кречетовым в координатах температура  $t$  и психрометрическая разность  $\Delta t$  с линиями постоянного значения равновесной влажности древесины  $W_p = \text{const}$ , степени насыщенности  $\varphi$  и влагосодержания  $d$ .

#### Примеры.

1. Определить величину равновесной влажности древесины при  $t = 70^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,8$ .

По диаграмме на рис. 2.4 находим точку пересечения линий  $t = 70^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,8$ . Эта точка характеризует заданное состояние воздуха. По положению этой точки относительно линий равновесной влажности определяем  $W_p = 13\%$ .

2. Определить минимальную влажность, до которой могут высохнуть доски при  $t = 20^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,4$ .

Для заданного состояния воздуха по диаграмме равновесной влажности находим  $W_p = 8\%$ . По условию задачи требуется определить устойчивую влажность десорбции. Она составляет

$$W_{уд} = 8 + 1,25 = 9,25\%.$$

3. Установить максимальную влажность, до которой могут увлажниться доски, предварительно высушенные в камере до  $6\%$ , которые затем выдерживаются на складе при  $t = 15^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 0,8$ .

Находим для заданного состояния воздуха равновесную влажность  $W_p = 17\%$ . В соответствии с условием задачи требуется найти устойчивую влажность сорбции. Искомая влажность будет равна

$$W_{yc} = 17 - 2,5 = 14,5\%$$

## § 8. Усушка и разбухание древесины

Древесина относится к материалам, размеры которых меняются при изменении температуры и влажности.

Температурные деформации древесины существенно меньше ее влажностных деформаций. Они измеряются величинами такого же порядка, что и у металлов, однако отличаются от последних тем, что зависят от структурных направлений древесины. В практических расчетах их не учитывают.

При снижении влажности наблюдается уменьшение линейных размеров и объема древесины. Это явление называется **усушкой**. Она имеет место лишь при уменьшении количества связанной влаги и начинается для сырой древесины от предела насыщения, т. е. от 30%. Усушка прекращается при достижении древесиной абсолютно сухого состояния. Изменение содержания в древесине свободной влаги (§ 7) не вызывает изменения ее размеров.

Увеличение линейных размеров и объема при повышении влажности называется **разбуханием**. Разбухание происходит при повышении влажности от 0 до 30%.

Явления усушки и разбухания объясняются следующим. Поверхность элементарных фибрилл поглощает молекулы водяного пара, что ведет к утолщению слоя гигроскопической влаги и увеличивает размеры клеточных стенок, т. е. приводит к разбуханию. Обратный процесс — удаление связанной влаги вызывает усушку.

Усушка и разбухание — процессы обратимые. Поэтому в дальнейшем ограничимся рассмотрением только усушки.

Принято различать **абсолютную** и **относительную усушку**. Абсолютная усушка — это изменение размеров сортимента в единицах длины или объема. Относительная усушка определяется как отношение абсолютной усушки к размеру сортимента в сыром состоянии и исчисляется в процентах.

Величина усушки зависит от структурного направления, диапазона изменения влажности и породы древесины.

Влияние структурного направления на усушку связано с особенностями строения древесины. При удалении связанной влаги наиболее значительно изменяются размеры в поперечном направлении и незначительно в продольном (вдоль волокон). Усушка в тангенциальном направлении в 1,5...2 раза больше, чем в радиальном. Вдоль волокон она ничтожна и в расчетах не учитывается.

Усушка приблизительно прямо пропорциональна изменению влажности древесины. Снижение влажности от предела насыщения клеточных стенок до нуля дает наибольшую усушку, которая называется **полной**, обозначается  $Y_n$ . Полная усушка составляет: в тангенциальном направлении — 6...10%, в радиальном — 3...5%, а полная объемная усушка — 12...15%.

Частичная усушка  $Y_w$  или усушка древесного образца от предела насыщения до заданной влажности  $W$ , рассчитывается по выражению

$$Y_w = Y_n \left(1 - \frac{W}{30}\right). \quad (2.4)$$

Усушка существенно зависит от породы, а в пределах одной породы — от компактности строения древесины.

Полная объемная усушка  $Y_{n.o}$ , %, может быть приближенно определена по формуле

$$Y_{n.o} = 0,028 \rho_0, \quad (2.5)$$

а полная усушка в тангенциальном и радиальном направлениях, соответственно,

$$Y_{n.t} = 0,018 \rho_0; \quad Y_{n.p} = 0,01 \rho_0. \quad (2.6)$$

Величину ожидаемой усушки можно рассчитать, зная породу древесины и ее влажность. Для этого в табл. 2.2 находим значение базисной плотности, по формулам (2.5) и (2.6) рассчитываем полную усушку и далее применяем выражение (2.4).

Следует иметь в виду, что рассмотренные закономерности усушки справедливы при равномерном удалении влаги по объему сортимента. В процессах сушки древесины влага по объему распределена неравномерно, что вызывает развитие сушильных напряжений. Уменьшение размеров может начаться при средней

влажности сортимента выше 30 %. Величина этого изменения отличается от усушки при равномерном удалении влаги. Такое изменение размеров называется **усадкой**.

#### Примеры.

1. Найти усушку в радиальном направлении свежесрубленной буквой древесины при влажности 8 %.

Для древесины бука находим в табл. 2.2  $\rho_6 = 530 \text{ кг/м}^3$ . По формуле (2.6) полная усушка в радиальном направлении составляет  $Y_{\text{пр}} = 0,01 \cdot 530 = 5,3 \%$ . При влажности 8 % усушка по выражению (2.4) будет равна

$$Y_w = 5,3 \cdot \left(1 - \frac{8}{30}\right) = 3,89 \%$$

2. Найти величину абсолютной усушки в тангенциальном направлении листа шпона шириной 200 мм (в направлении усушки) от влажности 60 % до влажности 4 %.

Находим в табл. 2.2 для древесины березы  $\rho_6 = 500 \text{ кг/м}^3$ , далее полную усушку в тангенциальном направлении

$$Y_{\text{пт}} = 0,018 \cdot 500 = 9 \%$$

Усушка при влажности 4 % равна

$$Y_w = 9 \cdot \left(1 - \frac{4}{30}\right) = 7,79 \%$$

Абсолютная усушка составит

$$200 \cdot 7,79/100 = 15,6 \text{ мм.}$$

## § 9. Тепловые и электрические свойства древесины

Тепловые свойства древесины имеют большое значение при ее использовании в качестве конструкционного материала в строительстве. Кроме того, их необходимо знать для расчета ряда процессов тепловой обработки и сушки древесины.

Основными показателями тепловых свойств древесины, как и других материалов, являются удельная теплоемкость  $c$  и коэффициент теплопроводности  $\lambda$ .

Удельная теплоемкость определяет количество тепловой энергии, необходимой для нагревания единицы массы вещества

на  $1^\circ\text{C}$ . Удельная теплоемкость древесины зависит от ее температуры и влажности. На рис. 2.6, а приведена диаграмма удельной теплоемкости древесины (К. Р. Кантер), из анализа которой следует, что удельная теплоемкость возрастает при повышении температуры и влажности древесины. Она неодинакова в диапазонах положительной и отрицательной температуры, что объясняется различием в удельных теплоемкостях воды и льда. Порода древесины на удельную теплоемкость влияния не оказывает.

**Коэффициент теплопроводности** характеризует интенсивность перемещения тепла в материале. Он равен количеству тепловой энергии, проходящему в единицу времени через плоскую стенку площадью  $1 \text{ м}^2$  и толщиной  $1 \text{ м}$  при разности температур на противоположных сторонах стенки в  $1^\circ\text{C}$ .

Теплопроводность древесины зависит в основном от ее температуры, влажности, плотности и направления потока тепла относительно волокон.

На рис. 2.6, б дана диаграмма коэффициентов теплопроводности древесины (К. Р. Кантер), имеющей базисную плотность  $360 \text{ кг/м}^3$ , в тангенциальном направлении. Как следует из анализа диаграммы, теплопроводность древесины увеличивается с повышением влажности. Температура древесины оказывает на теплопроводность различное влияние в диапазонах  $t > 0^\circ\text{C}$  и  $t < 0^\circ\text{C}$ . При положительной температуре ее рост вызывает повышение теплопроводности, а при отрицательной температуре имеет место обратное явление.

На теплопроводность оказывает влияние компактность древесины, характеризуемая базисной плотностью. С увеличением последней теплопроводность древесины возрастает. Теплопроводность древесины вдоль волокон при прочих равных условиях в 1,0...2,5 раза больше, чем поперек волокон. Теплопроводность в радиальном направлении приблизительно на 15 % больше, чем в тангенциальном.

В практических расчетах для определения коэффициентов теплопроводности древесины других пород в разных структурных направлениях можно пользоваться той же диаграммой (рис. 2.6, б) и формулой

$$\lambda = \lambda_{\text{ном}} K_x K_p, \quad (2.7)$$

где  $\lambda$  — искомый коэффициент теплопроводности древесины, Вт/(м  $^\circ\text{C}$ );

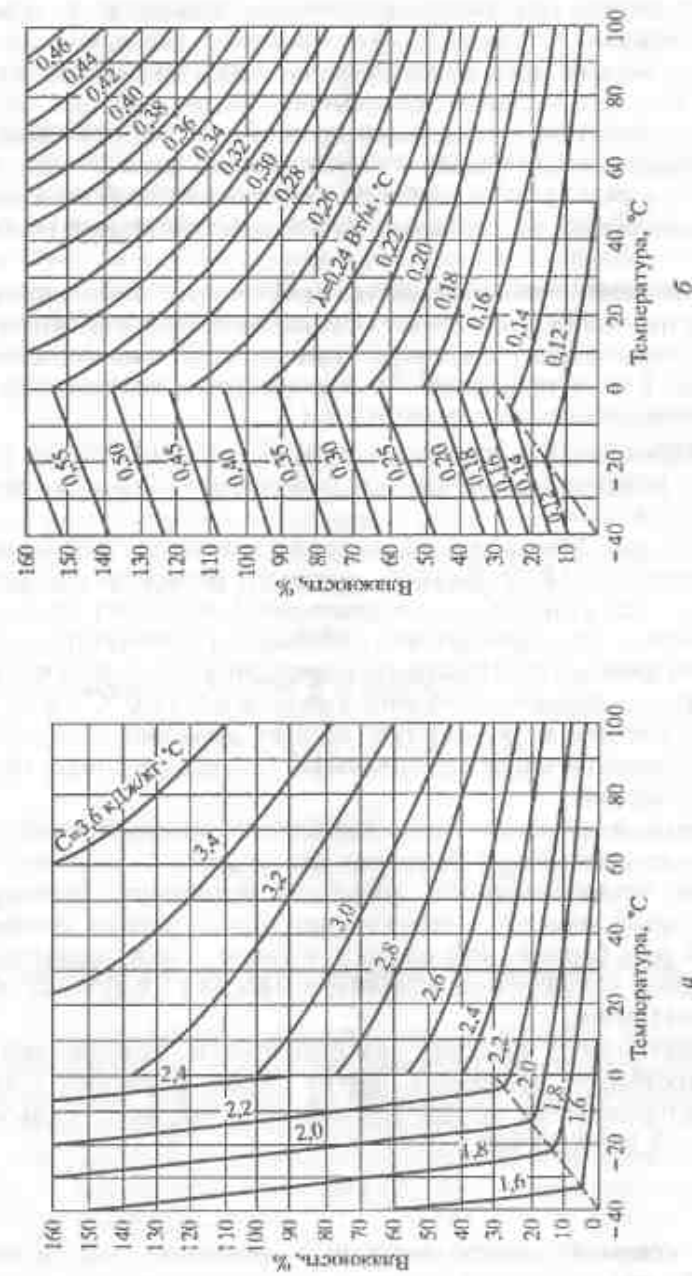


Рис. 2.6. Диаграммы удельной теплоемкости древесины (а) и коэффициента теплопроводности древесины ( $\rho_B = 360 \text{ кг/м}^3$ ) в тангенциальном направлении (б)

$\lambda_{\text{ном}}$  — номинальное значение коэффициента теплопроводности по диаграмме рис. 2.6, б;

$K_x$  и  $K_p$  — поправки на фактическое направление теплового потока и фактическую базисную плотность древесины.

Средние значения коэффициента  $K_x$  принимаются следующие: при радиальном направлении теплового потока  $K_x = 1,15$ ; при направлении теплового потока вдоль волокон для кольцесудинных лиственных пород  $K_x = 1,60$ , а для остальных пород  $K_x = 2,20$ . При тангенциальном направлении, очевидно,  $K_x = 1,0$ . Если требуется установить средний коэффициент теплопроводности поперек волокон, когда неизвестна точная ориентация граней сортимента относительно годовичных колец, можно принять  $K_x = 1,07$ .

Таблица 2.3. Коэффициент  $K_p$  в зависимости от базисной плотности древесины

$\rho_B \text{ кг/м}^3$	360	400	450	500	550	600	650
$K_p$	1,00	1,05	1,12	1,22	1,36	1,56	1,86

Электрические свойства древесины используются при проведении некоторых процессов нагревания, сушки и операций их контроля. К основным показателям электрических свойств древесины относятся электропроводность и диэлектрическая проницаемость.

Электропроводность, или электрическая проводимость, — это величина, обратная электрическому сопротивлению.

Электрическая проводимость древесины зависит от ее влажности, температуры, породы и направления тока относительно волокон, а при постоянном токе — и от напряжения. При этом влажность является определяющим фактором. Характер изменения проводимости от влажности различен в области выше и ниже предела гигроскопичности. В области выше предела гигроскопичности проводимость с уменьшением влажности снижается, но это снижение сравнительно невелико (рис. 2.7, а). В области ниже предела гигроскопичности уменьшение влажности вызывает интенсивное снижение проводимости и соответствующее повышение сопротивления. При изменении влажности от 30 % до нуля сопротивление повышается в сотни тысяч раз, и древесина с влажностью ниже 7...8 % практически становится изолятором.

В направлении поперек волокон электрическое сопротивление древесины в 3...4 раза больше, чем вдоль волокон. Повы-

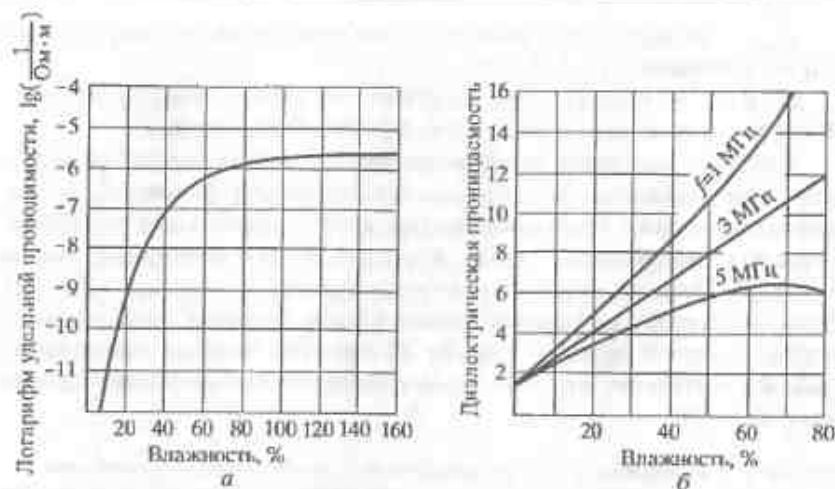


Рис. 2.7. Характер влияния влажности древесины на ее объемную удельную проводимость вдоль волокон (а) и диэлектрическую проницаемость поперек волокон (б)

шение температуры древесины вызывает снижение ее сопротивления.

**Диэлектрическая проницаемость** материала характеризует сравнительную емкость конденсатора при использовании этого материала в качестве диэлектрика.

Диэлектрическая проницаемость древесины зависит от ее влажности, частоты электрического поля и его направления относительно волокон. Влияние температуры и породы древесины на диэлектрическую проницаемость сравнительно невелико.

График, который иллюстрирует характер изменения диэлектрической проницаемости древесины в направлении поперек волокон, в зависимости от влажности при различной частоте поля, показан на диаграмме (рис. 2.7, б). Следует отметить, что диэлектрическая проницаемость плавно повышается при увеличении влажности от нуля до 80%. Диэлектрическая проницаемость, как и электропроводность, в радиальном и тангенциальном направлениях приблизительно одинакова. В направлении вдоль волокон диэлектрическая проницаемость на 30...50% больше, чем поперек волокон.

Полные данные об электрических свойствах древесины в связи с очень сложным и многообразным влиянием на них различных факторов пока отсутствуют, и этот вопрос еще нуждается в дополнительных исследованиях.

## § 10. Влияние температуры и влажности древесины на ее прочность

Прочность древесины зависит в основном от ее породы, температуры и влажности. При гидротермической обработке влажность и температура древесины изменяются, поэтому ее прочность также не остается постоянной. Изменчивость прочности древесины наблюдается лишь в диапазоне влажности ниже предела насыщения клеточных стенок, причем понижение влажности приводит к существенному увеличению прочности. Изменение влажности в диапазоне выше предела насыщения не влияет на прочность древесины.

Изменения прочности, связанные с влажностью, обратимы, т. е. при увлажнении сухой древесины ее прочность снижается, а при последующем высушивании — прежние прочностные показатели полностью восстанавливаются.

Повышение температуры приводит к снижению прочности древесины. Кратковременное воздействие не слишком высокой температуры даст обратимые изменения прочности. С повышением температуры и длительности ее воздействия в древесине происходят необратимые процессы, приводящие к изменению прочностных показателей при последующей эксплуатации.

Поэтому различают прочность древесины в процессе обработки при том или ином ее состоянии и эксплуатационную прочность, которую имеет древесина после доведения ее влажности и температуры до эксплуатационных норм.

Прочность древесины в процессе обработки, как отмечалось выше, повышается с понижением температуры и влажности. Это хорошо иллюстрирует диаграмма (рис. 2.8) предела прочности древесины березы при растяжении поперек волокон (тангенциальное направление).

Так, предел прочности холодной сухой древесины выше предела прочности горячей сырой древесины в 15...20 раз. Для других показателей механических свойств древесины и иных пород характер изменения прочности аналогичен, однако абсолютные значения предела прочности и их соотношения могут колебаться в широких пределах.

На эксплуатационную прочность древесины оказывают влияние ее порода, влажность и характер предшествующей сушки. В качестве эталона эксплуатационной прочности принято считать прочность древесины, которая не подвергалась воздействию по-

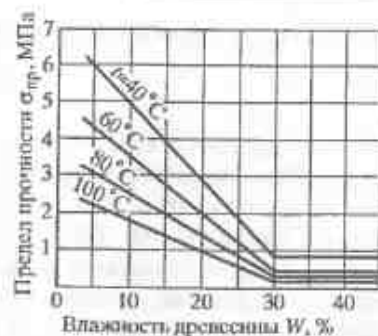


Рис. 2.8. Диаграмма предела прочности древесины сосны при растяжении поперек волокон

вышенной температуры (например, древесины, прошедшей атмосферную сушку). Исследованиями установлено, что воздействие на древесину температуры ниже 60 °C не снижает ее эксплуатационную прочность независимо от длительности сушки. Влияние более высокой температуры начинает сказываться, если продолжительность сушки при  $t = 80$  °C превышает 40...50 ч, а при  $t = 120$  °C — 2...3 ч.

Степень снижения прочности древесины зависит от породы, влажности, температуры и длительности сушки. Так, например, в высокоинтенсивных процессах сушки, когда температура среды составляет 120...130 °C при длительности ее воздействия 30...60 ч, показатели механических свойств древесины снижаются: при растяжении, сжатии и статическом изгибе на 5...8 %, а при скалывании и раскалывании — на 15...20 %.

### Контрольные вопросы

1. В чем состоит различие макроструктуры древесины хвойных и лиственных пород?
2. Какова структура клеточной стенки древесины?
3. Что называется влажностью древесины, и как она исчисляется?
4. Какая вода в древесине называется свободной, а какая вода связанной?
5. Что называется пределом насыщения клеточных стенок?
6. Почему древесину относят к гигроскопическим материалам?
7. В чем состоит различие между устойчивой влажностью и равновесной влажностью древесины?
8. Что такое показатель гистерезиса сорбции?

9. Объясните механизм усушки.
10. От чего зависит величина усушки древесины, и каким образом ее определяют?
11. В чем состоит отличие базисной плотности от плотности древесины?
12. Что называется удельной теплоемкостью древесины, и от чего она зависит?
13. Что характеризует коэффициент теплопроводности? От каких факторов зависит его величина?
14. От чего зависит электропроводность древесины?
15. Какова особенность зависимости электропроводности древесины от ее влажности?
16. Что называется диэлектрической проницаемостью древесины, и от чего она зависит?
17. От чего зависит прочность древесины?
18. Что понимают под эксплуатационной прочностью древесины?

## Глава 3 ИЗМЕРЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

### § 11. Приборы для контроля состояния агента обработки

При гидротермической обработке древесины необходимо контролировать и регулировать параметры агента обработки.

В большинстве процессов (за исключением пропарки и пропитки древесины в автоклавах, вакуумной сушки) давление обрабатывающей среды равно атмосферному. При этом состояние жидкого агента обработки однозначно определяется одним параметром — температурой, а газообразного (воздух, топочные газы) — двумя параметрами: температурой и одной из величин, которая характеризует состояние и количество содержащегося в нем водяного пара. Иногда требуется измерять скорость движения газообразного агента.

Приборами для контроля температуры являются **термометры**. В технике гидротермической обработки древесины применяют следующие их типы:

- **термометры расширения**, принцип действия которых основан на тепловом расширении жидкости (например, ртути, спирта) или твердых тел;
- **манометрические термометры**, в которых используется зависимость давления жидкости или газа от температуры при постоянном объеме;
- **термометры сопротивления**, основанные на зависимости электрического сопротивления металлов и полупроводников от температуры окружающей среды;

- **термопары**, действие которых базируется на измерении величины термоэлектродвижущей силы, зависящей от температуры «рабочего» и «холодного» спаев двух разнородных металлических проводников;
- **пирометры**, бесконтактные измерители температуры, действие которых основано на измерении теплового излучения тела.

В качестве второго контрольного параметра состояния газообразной среды чаще всего используют степень насыщенности водяным паром  $\phi$  (относительную влажность воздуха).

Применяются различные методы определения степени насыщенности  $\phi$ . Наиболее употребителен в технике **психрометрический метод**, основанный на измерении с помощью психрометра температуры сухого  $t_c$  и смоченного  $t_m$  термометров (см. § 4). По величинам  $t_c$  и  $t_m$  степень насыщенности газа  $\phi$  может быть определена путем элементарных построений по  $Id$ -,  $Ida$ -диаграммам. В практике чаще пользуются специальными психрометрическими таблицами или диаграммами. Для точных измерений применяются подробные психрометрические таблицы, приводимые в специальных руководствах. Приближенные определения  $\phi$  удобнее делать по психрометрическим диаграммам. Один из вариантов такой диаграммы для температурного диапазона 40...170 °C представлен на рис. 3.1.

Существуют следующие типы психрометров:

- **переносные психрометры Асмана**, состоящие из двух одинаковых термометров расширения (сухого и смоченного), снаб-

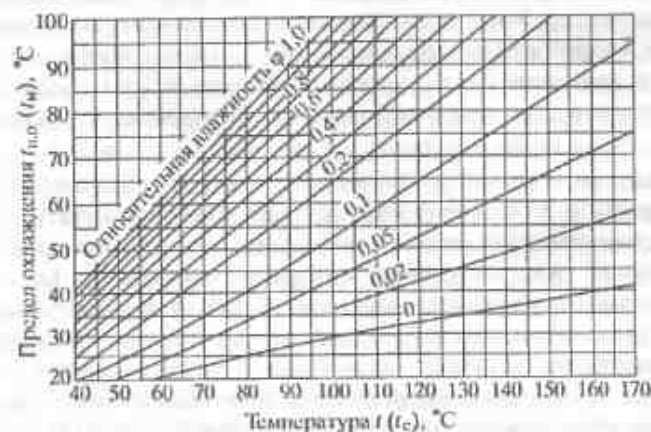


Рис. 3.1. Психрометрическая диаграмма

женные устройством для искусственной циркуляции воздуха; они применяются для разовых замеров состояния воздуха в бытовых и цеховых помещениях, на складах, на улице;

- **переносные психрометры Августа**, которые состоят также из двух термометров расширения, но без принудительной циркуляции; они получили распространение для определения состояния воздуха в помещениях и при метеорологических измерениях;
- **стационарные психрометры**, монтируемые внутри сушильной камеры или иного устройства; в таких психрометрах, обеспечивающих дистанционное измерение, вместо термометров расширения используются электрические или манометрические термометры.

При измерении состояния воздуха по показаниям психрометра следует иметь в виду, что смоченный термометр, в результате лучистого теплообмена с окружающими предметами и теплопередачи по своему корпусу, показывает температуру несколько более высокую, чем истинная температура предела охлаждения. Следовательно, замсренная психрометрическая разность ( $t_c - t_m$ ) всегда меньше истинной разности между температурой среды и температурой предела охлаждения ( $t_c - t_{no}$ ). Величина этой погрешности зависит от температуры предела охлаждения и скорости движения воздуха. Погрешность особенно заметна при низкой температуре и слабой циркуляции воздуха. Необходимая величина поправки может быть установлена при помощи диаграммы, приведенной на рис. 3.2. Как видно из диаграммы, при скорости движения воздуха, большей 2...2,5 м/с и при температуре смоченного термометра выше 50 °С, относительная погрешность определения психрометрической разности очень невелика (менее 0,5 %). Если эта погрешность меньше, чем цена деления термометра, то можно считать, что  $(t_c - t_m) = (t_c - t_{no})$ .

В последнее время появились устройства прямого измерения относительной влажности воздуха. Принцип их работы основан на зависимости равновесной влажности некоторых материалов от состояния газа, параметры которого измеряются. Однако надежные измерения обеспечиваются только в неагрессивных средах. В сушильных камерах, где в агенте обработки содержатся пары смолистых веществ, различных кислот и других веществ имеют место заметные погрешности при измерении. Совершенствование конструкции этих приборов применительно к сушильным установкам остается актуальной проблемой.

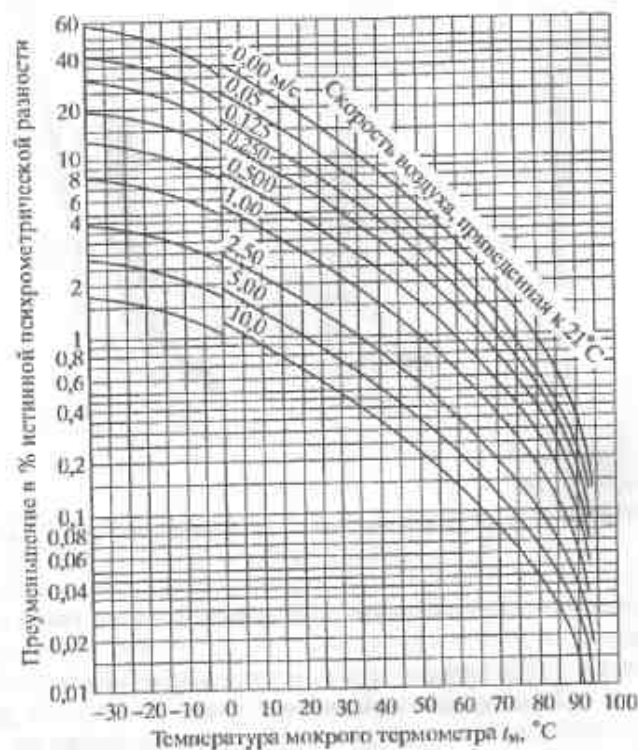


Рис. 3.2. Диаграмма для определения погрешности психрометра

**Термометры расширения** подразделяются на жидкостные и деформационные. Из жидкостных термометров наиболее широко используются ртутные стеклянные технические термометры ТТ, применяемые для измерения температуры в устройствах гидротермической обработки. Ими комплектуются также психрометры Августа. Они выпускаются на различный диапазон измеряемой температуры и могут иметь прямую (рис. 3.3, а) или изогнутую под углом 90, 120, 135° (рис. 3.3, б, в) нижнюю часть с термобаллоном на конце. Длина нижней части  $H = 60...2000$  мм, диаметр ее 8...9 мм. Длина цилиндра термометра  $H_1 = 110...220$  мм. Цена деления от 0,5 до 10 °С. В сушилках наиболее употребительны термометры ТТ-2Б (пределы измерений 0...100 °С, цена деления 1 °С) и ТТ-3Б (пределы измерения 0...150 °С, цена деления 1 °С). Основная допустимая погрешность технических термометров составляет  $\pm 1...2$  °С. Для удобства монтажа и предохранения стеклянной оболочки от повреждений термометры следует помещать

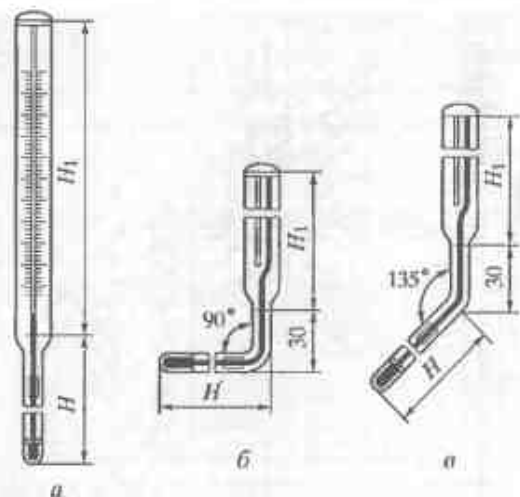


Рис. 3.3. Ртутные технические термометры с прямой (а) и изогнутой (б, в) нижней частью

в защитную металлическую оправу, поставляемую вместе с термометрами.

Для точных измерений и в качестве контрольных приборов применяют лабораторные термометры типа ТЛ-4 (цена деления 0,1...2 °С), обладающие малой основной погрешностью, а для поверки и градуировки технических и лабораторных термометров — образцовые термометры.

Ртутные термометры в случае их повреждения могут оказывать вредное воздействие на жизнедеятельность людей и вызвать загрязнение окружающей среды. По этой причине от их применения следует отказываться в пользу электрических термометров.

Деформационные термометры используют как показывающие приборы, а также как датчики в системах регулирования. К ним относятся dilatометрические и биметаллические термометры.

В качестве примера рассмотрим устройство и принцип действия dilatометрического термометра (рис. 3.4). Он состоит из трубки 1, закрытой с одного конца, которая помещена в измеряемую среду. Другой ее конец жестко крепится к объекту измерения. Трубку изготавливают из металла с большим коэффициентом линейного расширения (латуни, алюминия). Стержень 2 из материала с малым коэффициентом расширения (кварц, фарфор) прижимается пружиной 4 через рычаг 3 к дну трубки. При изменении температуры линейные деформации трубки и стерж-

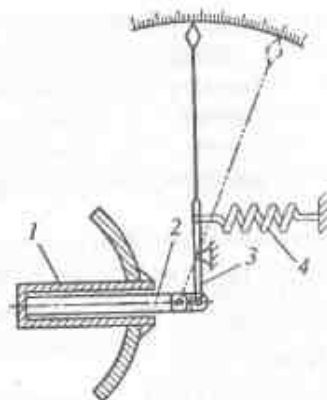


Рис. 3.4. Схема dilatометрического термометра: 1 — трубка; 2 — стержень; 3 — рычаг; 4 — пружина

ня будут разными. Под действием суммарной деформации стержень 2 перемещается, поворачивая рычаг 3 и стрелку.

Манометрический термометр (рис. 3.5) состоит из термобаллона 4, манометра 2 с трубчатой пружиной 1 и капиллярной трубки 3, которые герметично соединены между собой. Они выпускаются различных модификаций с жидкостным, газовым и смешанным заполнением. Чувствительным элементом является термобаллон, который помещают в измеряемую среду. Повышение или понижение температуры этой среды вызывает изменение давления в баллоне, которое по капиллярной трубке передается в полую манометрическую пружину 1 и деформирует ее. Это, в свою

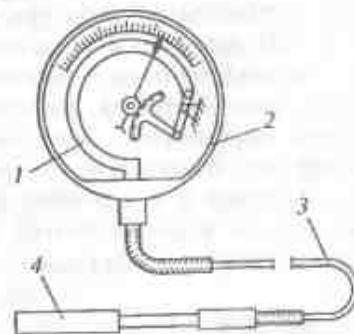


Рис. 3.5. Схема манометрического термометра: 1 — трубчатая пружина; 2 — манометр; 3 — капиллярная трубка; 4 — термобаллон

очередь, вызывает перемещение стрелки прибора относительно шкалы, градуированной в единицах температуры.

Манометрические термометры предназначены для дистанционного измерения, а некоторые — и регистрации (записи) температуры. Основная погрешность этих приборов составляет от  $\pm 1$  до 1,6 %. Длина гибкого капилляра в различных приборах колеблется от 1 до 40 м.

В технике гидротермической обработки используются показывающие манометрические термометры со спиральной трубчатой пружиной типов ТПЖ (термометр с жидкостным заполнением) и ТПГ (термометр с газовым заполнением), а также самопишущие термометры ТСЖ и ТСГ.

Манометрические термометры, имеющие релейный выход, могут использоваться не только для контроля, но и для регулирования температуры.

Достоинство манометрических термометров — в возможности дистанционного измерения и записи показаний, простота конструкции, пожаровзрывобезопасность. К недостаткам следует отнести их значительную термическую инерционность, большую погрешность измерений. На предприятиях с большим числом установок система централизованного дистанционного контроля с применением манометрических термометров оказывается очень громоздкой.

**Термометры сопротивления.** На их базе созданы точные, долговечные и компактные системы дистанционного контроля и регулирования температуры. Датчиком температуры являются термометры (термопреобразователи) сопротивления. Наиболее широкое применение в промышленности получили термометры сопротивления с чувствительными элементами из платиновой (ТСП) или медной (ТСМ) проволоки. Чувствительный элемент изготавливают в виде катушки из тонкой проволоки, намотанной на каркас из изоляционного материала, которая заключена в защитную гильзу. Вторым параметром, характеризующим термопреобразователь, служит его сопротивление при 0 °С, величина которого (в омах) указывается в его номинальной статической характеристике. Технические характеристики наиболее распространенных термопреобразователей приведены в табл. 3.1, а общий вид — на рис. 3.6.

В качестве вторичных приборов для работы с термометрами сопротивления применяются электронные устройства, позволяющие как измерять, так и регулировать температуру. Измерители — регуляторы температуры выпускаются промышленностью как

Таблица 3.1. Техническая характеристика термопреобразователей сопротивления ТСМ, ТСП

Показатели	Модель	
	ТС xx*4**	ТС xx*5**
Номинальная статическая характеристика	50М; 100М; 50П; 100П	50М; 100М; 50П; 100П
Рабочий диапазон измеряемой температуры 50П; 100П 50М; 100М	-50...+250 °С -50...+150 °С	-50...+500 °С -50...+180 °С
Класс допуска*** ТСМ ТСП	В; С А; В; С	В; С А; В; С
Показатель тепловой инерции, не более	30 с	30 с
Сопротивление изоляции, не менее	100 МОм	100 МОм
Схема соединения внутренних проводников	2-х, 3-х проводная	2-х, 3-х проводная
Степень защиты по ГОСТ 14254—96	IP54	IP54
Материал защитной гильзы	12Х 18Н 10Т, латунь	12Х 18Н 10Т

Примечания. \* xx — номер модели по каталогу.

\*\* 4, 5 — термопреобразователи с кабельным вводом и с коммутационной головкой, соответственно.

\*\*\* Класс допуска характеризует допустимые отклонения, минимальная величина которых относится к классу А.

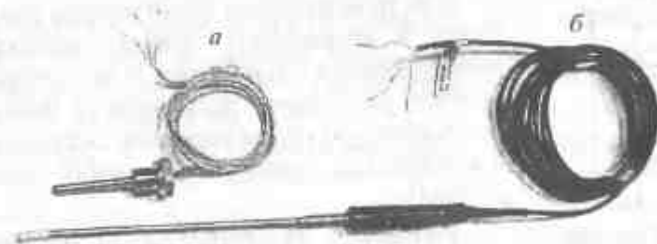


Рис. 3.6. Общий вид термопреобразователя сопротивления с кабельным вводом со штуцером (а) и без штуцера (б)

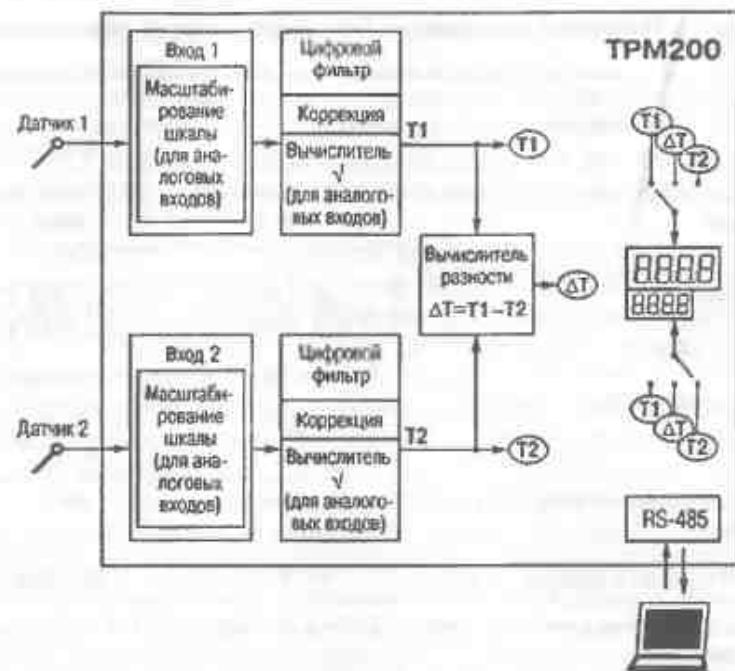


Рис. 3.7. Функциональная схема двухканального измерителя температуры

одно-, так и многоканальными. В качестве примера на рис. 3.7 дана функциональная схема двухканального измерителя температуры TRM 200, выпускаемого фирмой «ОВЕН» ([www.owen.ru](http://www.owen.ru)), которая в настоящее время наиболее широко представлена на отечественном рынке электронных приборов. С помощью интерфейса RS-485 этот прибор через адаптер может подключаться к персональному компьютеру.

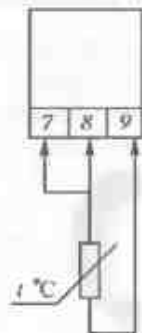


Рис. 3.8. Схема подключения термометра сопротивления

Для подключения термометров сопротивления к вторичному прибору используется трехпроводная схема (рис. 3.8), которая позволяет уменьшить погрешность измерения, возникающую при изменении сопротивления проводов (по причине изменения их температуры).

Возможно их подключение по двухпроводной линии. При этом отсутствует компенсация сопротивления соединительных прово-

дов. Показания прибора будут находиться в некоторой зависимости от колебания температуры проводов.

Термометры сопротивления могут работать в паре с уравновешенными автоматическими электронными мостами, имеющими ленточную диаграмму. Приборы обеспечивают измерение и запись температуры до 24 каналов. Переключение каналов измерения и запись ведутся автоматически.

**Термопары.** Термопары, благодаря тому, что позволяют измерять высокую (до 1600 °С) температуру, часто применяются в котельных, газовых сушилках для измельченной древесины и шпона.

Термопара состоит из двух спаянных на одном из концов металлических проводников, которые обладают разными термоэлектрическими свойствами. Спаянный конец, называемый «рабочим» или измерительным, находится в измеряемой среде, а свободные концы («холодный» или соединительный спай) подключаются к вводу измерителей — регуляторов. Если температуры «рабочего» и «холодного» спаев различны, то термопара вырабатывает термоэлектродвижущую силу (ТЭДС), регистрируемую прибором.

ТЭДС зависит от разности температуры двух спаев. Для корректных измерений необходимо знать температуру «холодного» спаев. Чтобы устранить влияние колебаний температуры этого спаев на показания прибора, его помещают в среду с постоянной температурой, например, в тающий лед. Во всех современных приборах предусмотрена автоматическая компенсация температуры свободных концов термопары. Датчиком температуры «холодного» спаев служит полупроводниковый диод, установленный в месте присоединения термопары к прибору.

Подключение термопар производится с помощью специальных компенсационных проводов, изготовленных из тех же материалов, что и термопара. Линию связи прибора с датчиком следует экранировать, чтобы избежать влияния помех на измерительную часть прибора. В качестве экрана может быть использована заземленная стальная труба. Схема подсоединения термопары к прибору приведена на рис. 3.9.

Применяются следующие термопары: платиновый-платиновые ТПП (S,R) и хромель-алюмелевые ТХА (К) — для измерения высокой температуры в топках и газоходах; хромель-копелевые ТХК (L) — для контроля температуры в установках гидротермической обработки. Техническая характеристика наиболее широко используемых термопар дана в табл. 3.2.

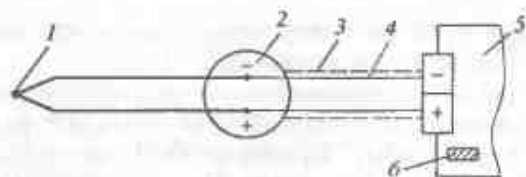


Рис. 3.9. Схема подключения термопары к прибору:  
1 — «рабочий» спай; 2 — коммутационная головка; 3 — экран; 4 — термоэлектродный кабель; 5 — измерительный прибор; 6 — датчик температуры «холодного» спая

Таблица 3.2. Техническая характеристика термопар типа ТНЛ и ТПК

Показатели	Модель	
	ТП хм4**	ТПх5**
Номинальная статическая характеристика	К (ХА); L (ХК)	К (ХА); L (ХК)
Рабочий диапазон измеряемой температуры — К(ХА) — L (ХК)	-40...+400 °С -40...+400 °С	-40...+1200 °С -40...+600 °С
Исполнение «рабочего» спая термопары, относительно корпуса	Изолированный, неизолированный	Взвешенный, неизолированный
Диаметр термоэлектродной проволоки	0,5; 0,7	0,7; 1,2; 3,2
Показатель тепловой инерции, не более — с изолированным «рабочим» спаем — с неизолированным «рабочим» спаем	20 с 10 с	60 с 10 с
Степень защиты по ГОСТ 14254—96	IP 54	IP 54
Материал защитной арматуры	12Х18Н 10Т	12Х18Н 10Т, ХН45Ю*, Керамика МКРЦ*

Примечания. \* До 1200 °С при работе в кратковременном режиме.

\*\* См. примечания к табл. 3.1.

В качестве показывающих приборов в цепи термопар используются те же измерители — регуляторы температуры, которые применяются для термометров сопротивления. Тип датчика устанавливается при программировании устройства по специальному коду.

Термопары могут работать также и с автоматическими электронными потенциометрами разных модификаций, обеспечивающими многоканальное (до 24 каналов) измерение и регистрацию температуры.

Современные измерители температуры, как правило, имеют интерфейс для связи с ЭВМ (см. рис. 3.7), что позволяет регистрировать и архивировать полученные данные, устанавливать конфигурацию измерительного прибора с компьютера, централизовать сбор информации. По этой причине роль электронных автоматических мостов и электронных потенциометров в практике измерения температуры неуклонно снижается.

**Пирометры.** Эти приборы позволяют бесконтактно измерять температуру тела на достаточно большом от него расстоянии. Их действие основано на измерении интенсивности теплового излучения тела. Излучение любого нагретого тела имеет в основном инфракрасный спектр, длиной волны 0,8...400 мкм и только в раскаленном состоянии — видимый свет и ультрафиолетовое излучение. На рис. 3.10 показан пирометр, позволяющий измерять температуру поверхности тела от 15 до 1200 °С.



Рис. 3.10. Измерение температуры поверхности доски радиационным пирометром

Прибор снабжен лазерным прицелом. Рисунок иллюстрирует процесс измерения температуры на поверхности доски. Виден след от луча лазера в точке измерения.

**Психрометры.** Для измерения влажности газообразного агента обработки, как было отмечено выше, применяются психрометры различных типов, собираемые из парных термометров. Так как переносные психрометры общеизвестны и к тому же в промышленных установках почти не применяются, рассмотрим стационарные психрометры.

Стационарные психрометры, которые монтируются из двух технических ртутных термометров, и имевшие ранее широкое распространение, в настоящее время не применяются. Основными являются дистанционные психрометры, которые собирают попарно из термометров сопротивления или термопар. Обязательное условие — идентичность характеристик используемых датчиков температуры.

Датчики желательно устанавливать в сушильных камерах при помощи съемных устройств, обеспечивающих надежное крепление чувствительных элементов и питание водой смоченного термометра. Одна из таких конструкций разработки МГУЛ показана на рис. 3.11. Устройство монтируется на внутренней поверхности стены камеры. Датчики сухого 1 и смоченного 2 термометров, имеющие кабельный ввод, крепятся на кронштейнах один над другим, на расстоянии не менее 100 мм. Под нижним датчиком смонтирована труба 4 диаметром 40...50 мм из некорродирующего материала, заглушенная с двух сторон. Ее часть, расположенная внутри камеры, имеет прямоугольное отверстие, длина которого должна соответствовать длине чувствительной части датчика (70...150 мм), а ширина (5...10 мм) должна быть достаточной для свободного прохода смачивающего чехла 3. Труба заполняется дистиллированной водой. Уровень воды поддерживается на постоянном уровне. Подача воды осуществляется из герметичного сосуда 7, расположенного на наружной поверхности стены камеры, по трубке 5 диаметром не менее 10 мм, снабженной вентиля 6. Она закреплена таким образом, что ее нижний срез находится на требуемом уровне поверхности воды заполняющей трубу.

Дистанционные электрические психрометры позволяют относительно просто осуществлять централизованный контроль

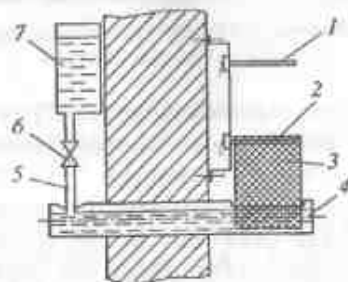


Рис. 3.11. Устройство дистанционного психрометра:

1 — датчик сухого термометра; 2 — датчик смоченного термометра; 3 — чехол смоченного термометра; 4 — труба; 5 — трубка; 6 — вентиль; 7 — сосуд

температуры и влажности газообразной среды большого числа объектов.

В отдельных случаях могут находить применение дистанционные психрометры с манометрическими термометрами. Для контроля температуры и влажности целесообразно использовать приборы с двумя манометрическими системами. К таким приборам относится самопишущий манометрический психрометр ТСГ-720ПС или ТСЖ-720ПС с температурным диапазоном 0...100 °С, в комплект которого входит устройство для увлажнения одного из термометров.

При монтаже и эксплуатации промышленных психрометров любых типов должны обязательно соблюдаться следующие правила:

- для уменьшения погрешности при измерении психрометрической разности термометры необходимо собирать попарно так, чтобы показания термометров, устанавливаемых в одном приборе, без увлажнения отличались не более чем на 0,5 °С;
- для увлажнения термометров следует применять дистиллированную воду, или, в крайнем случае, профильтрованную конденсат; увлажнительные чехлы нужно изготовлять из чистой марли или батиста и периодически их обновлять;
- уровень воды в увлажнительном сосуде должен быть расположен не ниже 30...40 мм от чувствительной части термометра;
- монтировать термометры нужно так, чтобы их датчики находились в потоке воздуха или газа, состояние которого соответствует заданным параметрам в установке (например, в камерных сушилках — при входе воздуха в штабель);
- места ввода термометров в установку должны быть тщательно уплотнены;
- необходимо принимать меры для предохранения термометров от возможных механических повреждений.

## § 12. Приборы для измерения скорости движения газов

Скорость движения воздуха или газа определяют механическими анемометрами, термоанемометрами и микроанемометрами.

**Механический анемометр** — прибор, состоящий из турбинки и счетчика ее оборотов. При вращении турбинки, которая поме-

щается в движущийся газовый поток, счетчик оборотов регистрирует число оборотов. Скорость газа (м/с) определяется по числу оборотов турбинки в единицу времени (секунду) с помощью графиков, прилагаемых к паспорту прибора, либо непосредственно по шкале прибора.

Различаются анемометры **крыльчатые** и **чашечные**. Крыльчатые анемометры позволяют измерять скорость движения газа от 0,5 до 7...10 м/с, чашечные — от 2 до 25...30 м/с.

Для определения скорости движения сушильного агента в штабеле используется прибор, показанный на рис. 3.12. Прибор состоит из крыльчатого анемометра 2 и диффузора 1. При измерении скорости циркуляции диффузор вставляют в зазор между рядами досок штабеля 3. Высота щели диффузора в сечении  $b-b$  должна обязательно соответствовать толщине прокладок. Кроме того, для упрощения расчета скорости движения воздуха целесообразно изготовлять диффузор с равными площадями в сечениях  $a-a$  и  $b-b$ . В этом случае скорость движения воздуха при входе в диффузор будет равна скорости потока в анемометре.

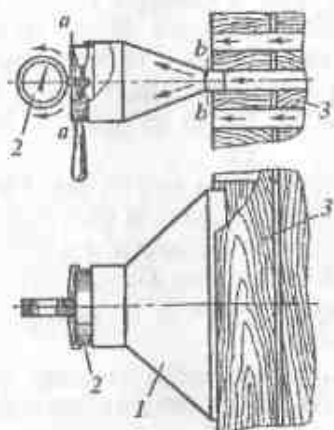


Рис. 3.12. Прибор для измерения скорости движения воздуха в штабеле: 1 — диффузор; 2 — анемометр; 3 — доски штабеля

**Термоанемометр** электронный прибор, позволяющий проводить прямые измерения. Принцип его работы основан на измерении сопротивления нагретой тонкой платиновой нити, обдуваемой газовым потоком. При постоянной величине тока, проходящего через нить, ее температура и, следовательно, сопротивление зависят от интенсивности обдува. При увеличении скорости по-

тока газа сопротивление нити уменьшается, а при снижении скорости — возрастает.

Шкала этого типа анемометров имеет градуировку в м/с. Их точность измерения — 1...2%, а диапазон измерений — 0...20 м/с.

Скорость движения воздуха может быть измерена **микроанемометром** по величине динамического давления. Для этого применяют микроанометры с наклонной трубкой и пневмометрическую трубку Прандтля. Трубку устанавливают в потоке и подсоединяют к микроанометру по схеме, показанной на рис. 3.13. Скорость движения  $\omega$ , м/с, воздуха вычисляют по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho_a}}, \quad (3.1)$$

где  $p_d$  — динамическое давление, Па;  
 $\rho_a$  — плотность воздуха (или газа), кг/м<sup>3</sup>.

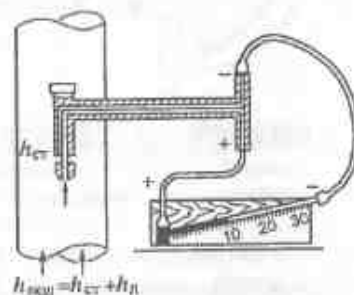


Рис. 3.13. Схема измерения динамического давления пневмометрической трубкой и микроанометром

Микроанометр применяется для измерения скоростей движения газа не менее 4...5 м/с в прямолинейных воздуховодах.

### § 13. Приборы для измерения давления

Для измерения давления пара в паропроводах, конденсата или просто воды в трубопроводах, в автоклавах и в вакуумных камерах применяют **деформационные манометры**. Они просты по конструкции и в эксплуатации, дешевы, надежны, позволяют вести запись и дистанционную передачу показаний.

Принцип действия этих приборов основан на уравновешивании измеряемого давления силами деформации упругих элементов. Такими элементами могут быть одно- и многovitковые полые трубчатые пружины и мембраны. Наиболее широко используют манометры с одновитковой трубчатой пружиной (рис. 3.14). Основной элемент прибора — пружина 1 из стали или латуни, согнутая по дуге окружности и имеющая сечение в виде эллипса. Один конец трубки закреплен в штуцере 7, через который подводится измеряемое давление, другой конец запаян и соединен тягой 6 с зубчатым колесом 5.

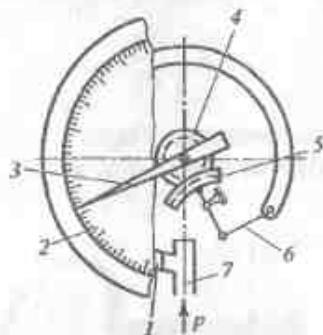


Рис. 3.14. Манометр с трубчатой пружиной:

1 — трубчатая пружина; 2 — шкала; 3 — стрелка; 4 — шестерня; 5 — зубчатое колесо; 6 — тяга; 7 — штуцер

Давление вызывает деформацию трубки и перемещение ее свободного конца. В определенных пределах это перемещение прямо пропорционально величине измеряемого давления, поэтому шкала 2 манометра имеет одинаковые деления. Свободный конец пружины связан тягой 6 с сектором зубчатого колеса 5, которое находится в зацеплении с шестерней 4, насаженной на одну ось со стрелкой 3. Такая конструкция обеспечивает большой угол поворота стрелки при относительно малом перемещении свободного конца пружины.

Манометром этого типа измеряют давление в пределах от 0,05 до 160 МПа.

Мембранный манометр (рис. 3.15) вместо трубчатой пружины имеет мембрану 1. Измеряемое давление, например пара, подаваемого через штуцер 6, деформирует мембрану. Ее прогиб через шток 4 и шестеренку 5 передается на показывающую стрелку 3. Измеряемое давление считывается на шкале 2. Мембранными

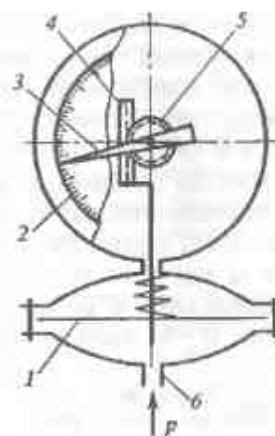


Рис. 3.15. Мембранный манометр:

1 — мембрана; 2 — шкала; 3 — стрелка; 4 — шток; 5 — шестеренка; 6 — штуцер

манометрами измеряют абсолютное давление от 0 до 2,5 МПа. Манометры, измеряющие давление ниже атмосферного, называются вакуумметрами.

## § 14. Измерение влажности древесины

В деревообработке наиболее распространенными являются весовой и электрический способы измерения влажности древесины.

Весовой способ (ГОСТ 16588—89) основан на взвешивании и высушивании проб (образцов), отбираемых из контролируемой партии древесных сортиментов. От доски или заготовки на расстоянии 300...500 мм от торца выпиливают поперечным срезом пробу (рис. 3.16) размером вдоль волокон около 10 мм. Эта проба называется **секцией влажности**.

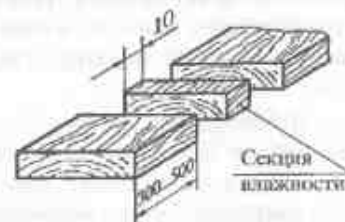


Рис. 3.16. Схема вырезки секции влажности из доски

Ее тщательно зачищают от заусениц, после чего немедленно взвешивают на технических весах с погрешностью до 0,1 г. Полученное значение начальной массы  $m_n$  регистрируют в специальном журнале. Затем секцию помещают в сушильный шкаф и сушат при температуре  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Периодически ее вынимают из шкафа и взвешивают, отмечая каждый раз в журнале результаты взвешивания. Первое взвешивание производят через 6 ч, а повторные — через каждые 2 ч. Секцию выдерживают в сушильном шкафу до тех пор, пока ее масса не перестанет изменяться. Постоянную массу принимают равной ее массе в абсолютно сухом состоянии  $m_{\text{сух}}$ . Влажность  $W$ , %, рассчитывают по отношению

$$W = \frac{m_n - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100. \quad (3.2)$$

Для определения влажности одной доски или заготовки необходимо выпиливать из нее не менее двух секций. Число же контрольных досок зависит от величины контролируемой партии, а также требуемой точности и надежности контроля.

При отсутствии термостата возможно использование бытовой микроволновой печи. С ее помощью высушивание секций влажности сокращается до нескольких минут. При этом обеспечивается более оперативное получение требуемой информации о влажности материала.

Однако следует иметь в виду, что микроволновая энергия распределяется по объему печи неравномерно, а это может привести либо к неполному высушиванию образцов, либо к их обугливанию и даже возгоранию. Чтобы этого избежать, следует соблюдать следующие правила:

- образцы после взвешивания уложить на бумажные салфетки, располагая их по краям вращающейся тарелки;
- переключателем установить «слабо-среднюю» или «слабую» мощность и включить печь; время сушки образцов с высокой начальной влажностью (60—80 %) составит 15...20 мин, а с низкой влажностью — 8...10 мин для каждых 100 г их суммарной массы;
- образцы взвесить и просушить их еще в течение одной минуты, после чего снова взвесить; если масса образцов не изменилась, то это значит, что они абсолютно сухие; при изменении массы продолжить высушивание с взвешиванием через одну минуту, добиваясь постоянства массы.

В тех случаях когда в древесине находятся другие, кроме воды, вещества, для определения влажности используется метод, основанный на выпаривании воды в толуоле. Проба древесины, как правило, в измельченном виде взвешивается, затем выдерживается в толуоле при температуре выше  $100^\circ\text{C}$ . Пары воды и толуола конденсируются. Из-за различия плотностей жидкостей происходит разделение их слоев, после чего измеряются объем и масса воды. По массе воды и влажной древесины рассчитывается ее влажность.

**Электрический способ** определения влажности основан на зависимости показателей электрических свойств древесины от ее влажности. Для измерения влажности в этом случае используют **кондуктометрические** и **диэлектрические** (емкостные) влагомеры.

Принцип действия кондуктометрических влагомеров основан на зависимости электрического сопротивления древесины от ее влажности. Особенность их работы состоит в том, что они достаточно надежно измеряют влажность в диапазоне 7...30 %. Влажность выше 30 % измеряется с большой погрешностью.

На предприятиях используется достаточно много типов влагомеров. Все они, независимо от типа, состоят из электронного измерительного устройства и датчика. В качестве примера на рис. 3.17 изображен общий вид влагомера фирмы «ELBEZ» (Чехия) марки MMT 860.

Датчик влагомера представляет собой игольчатый зонд, снабженный ручкой. Датчики имеют различную конструкцию. Они предназначены для измерения влажности массивной древесины мягких и твердых пород, измельченной древесины, шпона и различных строительных материалов. При измерении влажности массивной древесины иглы датчика вводят в материал на полную глубину в направлении вдоль волокон.

Показывающий прибор измерительного устройства имеет шкалу, которая градуирована в процентах влажности древесины сосны при температуре  $20^\circ\text{C}$ . Для других пород древесины и материалов и при иной температуре в показания прибора вводятся поправки, значения которых даны в прилагаемых к влагомеру таблицах.

Прибор имеет два диапазона измерения с пределами 7...22 и 22...60 % влажности. Погрешность измерения в диапазоне



Рис. 3.17. Общий вид кондуктометрического влагомера

влажности от 7 до 30 % составляет  $\pm(2...3)$  % влажности, в диапазоне от 30 до 60 % не нормируется. Практически же она составляет  $\pm(5...10)$  %. Прибор работает от батареек или аккумулятора напряжением 12 В.

На том же принципе основана работа приборов для измерения равновесной влажности древесины, которые сейчас достаточно широко применяются в системах автоматического регулирования (САР) при сушке пиломатериалов. Чувствительным элементом в данном случае служит пористый гигроскопичный материал, пластина из которого закрепляется с двух сторон контактными зажимами (рис. 3.18). Эти зажимы подсоединяются к измерительному прибору. Благодаря повышенной гигроскопичности влажность пластины очень быстро достигает равновесного с окружающей средой состояния ( $W_y$ ). При малой толщине и высокой пористости материала величина гистерезиса сорбции составляет доли процента. Это позволяет считать, что измеренная величина  $W_y$  соответствует равновесной влажности  $W_p$ . Таким образом, с помощью этого устройства может быть установлена степень насыщения  $\phi$  сушильного агента. Достоинством этого устройства является достаточно высокая точность измерения, поскольку, как отмечалось выше (§ 9), наиболее выраженная зависимость электрического сопротивления от влажности наблюдается в гигроскопической зоне. К недостаткам следует отнести необходимость регулярной замены пластины. Рассмотренный прибор в совокупности с термометром вполне заменяет психрометр.

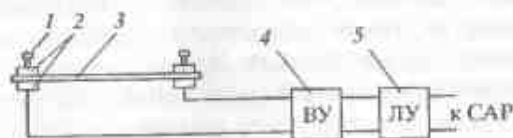


Рис. 3.18. Устройство для измерения равновесной влажности:  
1 — винт зажимной; 2 — зажимы; 3 — пластина из гигроскопичного материала;  
4 — входное устройство; 5 — логическое устройство

Диэлектрические влагомеры измеряют диэлектрическую проницаемость древесины, находящейся между двумя пластинами конденсатора. Эти пластины расположены в одной плоскости и размещены внутри измерительного прибора. Прибор снабжен маломощным генератором электромагнитных колебаний. Излучаемые генератором волны проходят через слой древесины. Результат измерения диэлектрической проницаемости подается на дисплей, имеющий градуировку в процентах влажности древеси-

ны. На рис. 3.19 показан общий вид диэлектрического влагомера выпускаемого фирмой «ELBEZ» марки MMW-530.

Для измерения влажности древесины прибор накладывается плоской активной частью на поверхность сортимента. Переключателем устанавливается группа пород древесины в соответствии с таблицей, прилагаемой к влагомеру. Влагомер включается нажатием кнопки. Влажность древесины в процентах считывается с дисплея. Влагомер измеряет влажность в пределах от 5 до 30 %, с погрешностью:  $\pm 1$  % (при влажности < 20 %),  $\pm 2$  % (при влажности от 20 до 30 %). Точность измерения зависит от степени плоскостности и шероховатости материала.



Рис. 3.19. Общий вид диэлектрического влагомера

### Контрольные вопросы

1. Какими приборами измеряется температура воздуха и степень его насыщенности?
2. Каковы принципы работы деформационных, манометрических и электрических термометров?
3. Что такое психрометрический метод определения степени насыщенности воздуха?
4. Назовите типы психрометров и дайте им характеристику.
5. Как устроены стационарные психрометры?
6. Какие правила следует соблюдать при монтаже психрометров?
7. Какими приборами измеряют скорость движения воздуха?
8. В чем состоит особенность измерения скорости движения воздуха в штабеле?
9. Как определяется скорость движения воздуха с помощью микроманометра?
10. Как рассчитать величину динамического давления?
11. Каковы устройство и принцип действия деформационных манометров?
12. Каким образом определяют влажность древесины весовым способом?
13. Какие электрические приборы применяют для измерения влажности древесины? На каком принципе основано их действие?
14. В чем состоит различие кондуктометрических и диэлектрических влагомеров?

## Глава 4

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

### § 15. Основные способы тепловой обработки древесины

Нагревание тела, т. е. повышение его температуры, происходит в результате теплообмена. Можно выделить три его элементарных вида:

- **теплопроводность**, которая имеет место при переносе тепла внутри тела, основанном на взаимодействии между собой молекул и атомов вещества;
- **конвекцию**, при которой перемещение тепла связано со свободным или вынужденным движением частиц газа или жидкости;
- **излучение (радиацию)**, тепловая энергия при этом передается в виде электромагнитных волн.

В чистом виде эти виды теплообмена практически не встречаются. Нагревание характеризуется сложными процессами, в которых участвуют его различные виды. Как правило, при конкретном способе нагревания какой-то один является определяющим. На этом и основана классификация этих способов. Для тепловой обработки древесины используются следующие способы нагревания.

**Кондуктивное (контактное) нагревание** путем непосредственного соприкосновения нагреваемых сортиментов с горячими поверхностями. Основную роль здесь играет теплопроводность, сопровождаемая тепловым излучением.

**Конвективное нагревание** в жидкой или газообразной среде (вода, пар, воздух). Основано на конвекции жидкости или газа у

поверхности сортимента и перемещении тепла по его объему путем теплопроводности. Сопровождается также тепловым излучением.

**Радиационное нагревание** путем облучения древесины источниками инфракрасной радиации. Основано, главным образом, на тепловом излучении, но сопровождается также теплопроводностью и конвекцией.

Особое место занимает **диэлектрическое нагревание** древесины, которое осуществляется в высокочастотном электромагнитном поле. Основано, главным образом, на взаимодействии этого поля с водой, содержащейся в древесине. При этом в материале генерируется тепло за счет диэлектрических потерь.

Процессы нагревания древесины часто сопровождаются движением воды в материале и превращением ее в пар. Эти вопросы являются предметом изучения процессов сушки и будут рассмотрены ниже.

В производственных процессах, связанных с механической обработкой древесины, преимущественно распространены способы тепловой обработки, основанные на конвективном нагревании древесины.

Способы, основанные на кондуктивном, радиационном и диэлектрическом нагревании, в настоящее время используются в столярно-мебельном производстве для ускорения процессов склеивания.

Контактная, радиационная и диэлектрическая тепловая обработка всегда сопровождается некоторым снижением влажности. Интенсивность этого явления тем больше, чем выше начальное (перед обработкой) содержание влаги в материале и чем более длителен процесс обработки. Однако следует иметь в виду, что интенсивность нагревания не менее чем на два порядка ( $>10^2$ ) выше интенсивности сушки. Отмеченное снижение влажности в ряде случаев оказывается незначительным. В связи с этим указанные выше способы могут найти применение и в других процессах деревообработки. Сказанное относится и к тепловой обработке древесины в газовой среде.

Выбор для производственных процессов тех или иных способов тепловой обработки древесины определяется технологической целью процесса, технической сложностью и экономической эффективностью их реализации.

Следует напомнить, что тепловая обработка древесины производится с целью снижения ее твердости, повышения пластичности, ускорения процессов склеивания.

Известно, что твердость сырой древесины резко возрастает при температуре ниже 0 °С, когда свободная влага в полостях клеток превращается в лед. Поэтому некоторые процессы механической обработки древесины, характеризующиеся малыми скоростями резания (производство пиломатериалов), сопряжены с получением продукции низкого качества, если сырьем является замороженная древесина. Такое сырье требует предварительного оттаивания. Для этой цели наиболее приемлема конвективная тепловая обработка в воде, нагретым воздухом или смесью топочного газа с воздухом.

При изготовлении лущеного или строганого шпона твердость древесины требуется снижать в большей степени, чем это может быть обеспечено только оттаиванием. Сырье должно быть нагрето до температуры 30...80 °С. В этом случае наиболее приемлемой будет конвективная тепловая обработка в нагретой воде или насыщенном паре.

Для процессов тепловой обработки, преследующих цель подготовки древесины к гнущю или прессованию, целесообразно применять пропарку. Пластичность древесины, как известно, повышается с повышением ее температуры и влажности. Наибольшую пластичность имеет нагретая древесина с влажностью, равной или выше предела насыщения. Однако, поскольку вода практически несжимаема, ее наличие в полостях клеток может быть причиной разрыва древесных волокон и образования дефектов в изгибаемых или прессуемых заготовках. Для обеспечения оптимальных условий протекания процессов влажность заготовок должна быть заранее доведена до предела насыщения, а их температура — до максимально возможной (без изменения влажности). Это может быть достигнуто обработкой древесины насыщенным паром. Однако на некоторых производствах заготовки перед гнущем нагревают в воде при температуре 90...95 °С. Вполне допустима и тепловая обработка в среде горячего воздуха, равновесного с древесиной состоянием.

Тепловая обработка древесины, направленная на интенсификацию процессов склеивания, в связи с широким использованием синтетических клеев получает широкое распространение также в процессах сборки столярных изделий и их узлов.

Склеиванию подвергаются сухие заготовки или детали. Увлажнение их недопустимо. Этим определяется и выбор рациональных способов нагревания древесины в сборочных процессах. К ним относятся контактное нагревание, диэлектрическое нагревание и конвективное нагревание в сухой воздушной среде.

Тепловая обработка древесины перед распиловкой, лущением, гнущем или прессованием является подготовительным процессом. Она технологически обособлена от основных операций механической обработки и требует для своего проведения специального оборудования.

В отличие от этого, тепловая обработка, производимая с целью интенсификации процессов склеивания, является составной частью процессов сборки. Отделить здесь тепловую обработку от сборки, рассматриваемой в специальных технологических дисциплинах, невозможно.

В дальнейшем ограничимся изучением собственно тепловой обработки (нагревания и оттаивания) древесины как самостоятельных процессов подготовки ее к распиловке, лущению, гнущю и прессованию, т. е. к операциям механической обработки. Основными способами проведения этих процессов тепловой обработки древесины, как это следует из изложенного выше, являются:

- тепловая обработка горячей водой (проварка) в специальных бассейнах при температуре 30...90 °С;
- тепловая обработка насыщенным водяным паром (пропарка) в специальных пропарочных устройствах или автоклавах;
- тепловая обработка горячим воздухом или топочным газом в камерах.

## § 16. Проварка древесины

Проваркой, как отмечалось, называется тепловая обработка древесины нагретой водой в специальных бассейнах. В настоящее время это основной способ тепловой обработки кряжей или чураков перед лущением.

Для получения требуемого качества поверхности шпона необходимо поддерживать температуру древесины в диапазоне, который составляет для древесины: березы и ольхи — 30...50 °С, мягких хвойных пород — 35...55 °С, лиственницы — 40...60 °С.

Проварка древесины проводится по мягким и жестким режимам.

Мягкие режимы предусматривают обработку древесины при температуре воды 30...45 °С. Процесс отличается большой длительностью, поскольку необходимы полное оттаивание и нагрев древесины по всему ее объему до уровня, близкому к температу-

ре среды. Эти режимы обеспечивают равномерную температуру древесины при лущении и, как следствие, высокое и стабильное качество шпона. Однако для их реализации требуются большие производственные площади.

Жесткие режимы характеризует высокая температура воды, которая достигает  $80^{\circ}\text{C}$ , и малые сроки нагревания. В процессе обработки температура на поверхности карандаша доходит лишь до  $15...20^{\circ}\text{C}$ . При этом поверхностная зона чураков приобретает температуру среды, которая значительно выше оптимальной для лущения. После обработки чураки выдерживаются в помещении перед лущильным станком. В процессе выдержки температура на их поверхности снижается, а в центре — повышается, однако все же не становится равномерной. Поэтому по качеству лущения предпочтение следует отдать мягким режимам. Применение же жестких режимов позволяет существенно уменьшить производственные площади для размещения оборудования.

На крупных фанерных комбинатах в настоящее время применяются механизированные бассейны (по проекту Гипродревпрома) для проварки фанерного сырья в кряжах по мягким режимам.

Бассейны размещены на открытых площадках. Собственно бассейн 1 (рис. 4.1), собранный из железобетонных элементов, состоит из нескольких секций, ширина которых соответствует, с необходимым запасом, максимальной длине обрабатываемых кряжей. Каждая секция разделена парными тумбами 2 на ряд отсеков, которые загружаются кряжами с помощью грейферного захвата 3 консольно-козловым краном 4, передвигающимся по подкрановым рельсам 5.

К транспортно-распределительным устройствам бассейна также относятся загрузочная бревнотаска 6 со сбрасывателями 7, накопителя кряжей 8, число которых равно числу секций, передвижной погрузчик 9, перемещающийся по рельсам 10, и разгрузочная бревнотаска 11, транспортирующая обработанные кряжи в разделочное отделение лущильного цеха.

В процессе собственно обработки загруженные отсеки бассейна закрыты съемными крышками 12, которые, с одной стороны, утапливают кряжи, а с другой, являются ограждениями, существенно снижающими тепловые потери с открытой поверхности воды.

При работе бассейна одна из его секций всегда находится под загрузкой и разгрузкой, в остальных же загруженных секциях происходит прогрев древесины. Кран 4 и погрузчик 9 устанавливаются напротив этой секции. Кряжи с загрузочной брев-

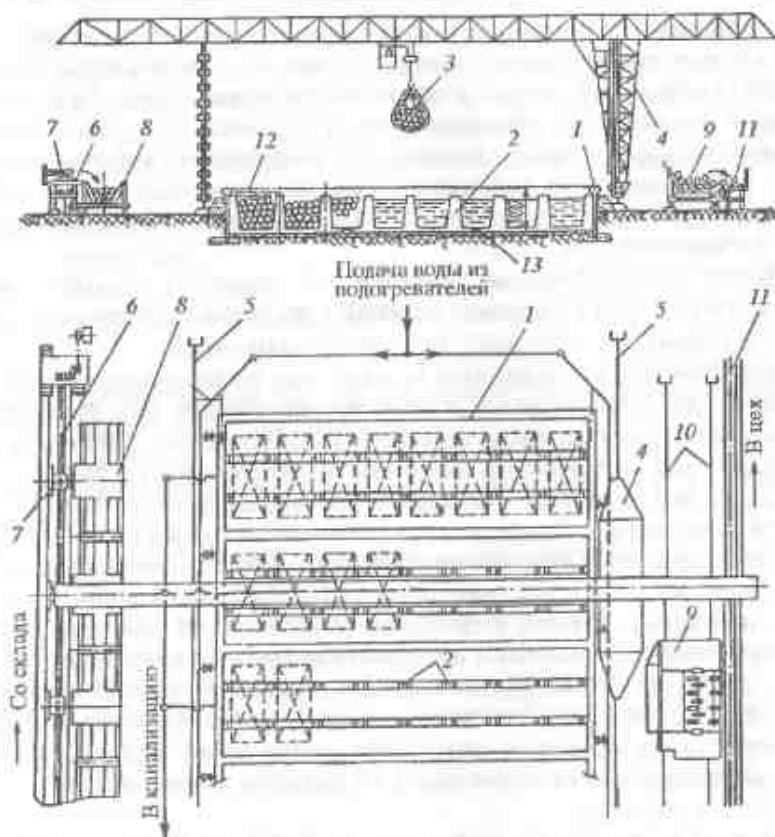


Рис. 4.1. Бассейн тепловой обработки фанерных кряжей мягкими режимами: 1 — бассейн; 2 — тумбы; 3 — грейферный захват; 4 — козловой кран; 5, 10 — рельсы; 6 — бревнотаска; 7 — сбрасыватель кряжей; 8 — накопитель кряжей; 9 — погрузчик передвижной; 11 — бревнотаска разгрузочная; 12 — крышка; 13 — отверстия

нотаски сбрасываются в соответствующий накопитель. Грейфер последовательно перемещается от накопителя к бассейну, загружая один из отсеков, и от бассейна к погрузчику, разгружая другой отсек.

Все секции бассейна, заполненные водой, сообщаются между собой через отверстия 13. Температура воды поддерживается равной  $30...35^{\circ}\text{C}$ .

Теплоснабжение бассейна может осуществляться различными способами. Наиболее простой из них — нагревание воды непосредственно в бассейне, путем впуска в нее пара через трубы с

отверстиями. Пар, попадая в воду, конденсируется, и его тепло-содержание используется почти полностью. Температура воды регулируется количеством выпускаемого водяного пара. При этом возврат конденсата в паровой котел отсутствует, он теряется безвозвратно, уходя в канализацию. Для нормальной работы парового котла требуется достаточно мощная установка водоподготовки. В настоящее время такой способ не может быть признан энергосберегающим.

Более целесообразной для обогрева бассейна следует признать утилизацию вторичных тепловых ресурсов предприятия, не используемых для основных технологических нужд.

На фанерных предприятиях имеются технологические устройства (прессы, сушилки и др.), потребляющие пар высокого давления. Образующийся после его использования конденсат с температурой значительно выше 100 °С направляется в расширитель, где его давление снижается до атмосферного. Выделяющаяся при этом теплота перегретой воды вызывает вторичное парообразование. Образовавшийся пар подается последовательно в паро-водяной и водо-водяной теплообменники, через которые циркулирует вода, подаваемая в бассейн. В водо-водяных теплообменниках частично используется теплота конденсата, охлаждаемого до 80...85 °С и возвращаемого после этого в котельную. В паро-водяных теплообменниках используется тепло пара вторичного вскипания. В эти же теплообменники может в качестве резервного источника тепла подаваться и пар непосредственно из котельной.

Вода, нагретая в теплообменниках до 70...75 °С, подается по трубам (см. схему на плане рис. 4.1) в работающие секции бассейна. Пройдя через них и охладившись до 40...45°, вода поступает в систему фильтрации, а затем насосом нагнетается обратно в теплообменники.

Продолжительность обработки в таких бассейнах устанавливается исходя из того, что березовая древесина, как основное сырье фанерного производства, при соблюдении требований к качеству лущения должна быть нагрета на поверхности карандаша до 30...35 °С. Сортировка кряжей по диаметрам, в принципе, возможна, однако, как правило, на предприятиях не производится. Поэтому продолжительность обработки устанавливается по кряжам, имеющим максимальный диаметр. Расчеты (§ 19) показывают, что кряжи диаметром около 30 см (при начальной температуре -25 °С) необходимо выдерживать в бассейне с температурой 40 °С не менее 30 ч. Примерно две трети этого времени затрачи-

ваются на полное оттаивание, а одна треть — на выравнивание температуры и доведение ее в зоне лущения до 30...35 °С.

Габаритные размеры бассейна с крановой загрузкой устанавливаются: по длине — типом выбранного крана, а по ширине секции — длиной кряжей. Эти величины в основном определяют и вместимость секции. Производительность секции  $\Pi$ , м<sup>3</sup> древесины за определенное время  $T$  (год, месяц), в часах, характеризуется уравнением

$$\Pi = BhL\beta \frac{T}{\tau_1 + \tau_2}, \quad (4.1)$$

где  $B$  — длина кряжей (соответствует рабочей ширине секции), м;

$h$  — рабочая высота бассейна, м;

$L$  — рабочая длина секции (равна ее полной длине, за вычетом суммарной ширины разделительных тумб, при их ширине 0,6 м);

$\beta$  — коэффициент заполнения объема отсека древесиной (0,50...0,55);

$\tau_1$  — продолжительность тепловой обработки, ч;

$\tau_2$  — продолжительность загрузки и разгрузки секции, ч.

Продолжительность погрузки и разгрузки секции бассейна лимитируется условием равномерной подачи сырья в лущильный цех. Величина  $\tau_2$  определяется, следовательно, частным от деления вместимости секции на часовое количество потребляемого сырья.

Число секций рассчитывается как частное от деления производительности лущильного цеха (по потребляемому сырью, за время  $T$ ) на производительность одной секции.

При применении консольно-козлового крана ККУ-50 с пролетом 32,0 м для бассейна, схема которого дана на рис. 4.1, вместимость секции ( $B \cdot h \cdot L \cdot \beta$ ) составляет около 200 м<sup>3</sup>, а производительность ее (при  $\tau_1 = 30$  ч и  $\tau_2 = 8$  ч) — около 125 м<sup>3</sup> в сутки. Для завода, перерабатывающего, например, 150 000 м<sup>3</sup> сырья в год, требуются, по расчету, четыре секции. При проектировании, однако, следует добавлять к теоретически необходимому числу секций одну резервную, имея в виду возможные остановки на ремонт или очистку, а также отклонения фактического режима работы бассейна от расчетного.

В последнее время получили распространение бассейны непрерывного действия, построенные на новых фанерных комбинатах. В этих бассейнах также создаются оптимальные условия

для равномерного прогрева всего объема сырья до заданной температуры. Обработка сырья в бассейне производится мягкими режимами. Температура воды в бассейне поддерживается на уровне 40 °С.

Особенность одного из таких бассейнов (рис. 4.2) состоит в том, что он разделен продольными перегородками на рабочие секции. Над бассейном монтируют легкое теплоизолирующее перекрытие 5.



Рис. 4.2. Бассейн тепловой обработки непрерывного действия

1 — стол для раскатки кряжей; 2 — пульт управления; 3 — манипулятор; 4 — мостки; 5 — перекрытие; 6 — пучок кряжей; 7 — автопогрузчик; 8 — дождевальная установка

Исходя из конкретных условий собственно бассейн может быть либо полностью заглублен в землю, либо приподнят над ее поверхностью. Под перекрытием имеются мостки 4 для прохода людей и дождевальная установка 8. Необходимость последней определяется тем, что пучки кряжей в процессе обработки остаются на плаву. Обработка надводной части кряжей осуществляется их дождеванием горячей водой.

Перед загрузкой сырье формируется в пучки и торцуется. Связанные пучки грейфером автопогрузчика 7 подаются в загрузочную часть бассейна. Их продвижение осуществляется постепенным проталкиванием передних пучков при загрузке последующих. В случае необходимости продвижение древесины производится посредством ручной лебедки, имеющейся в каждой рабочей секции. Для загрузки можно также использовать козловую или мостовую краны, снабженные грейферным захватом. Выгрузка осуществляется либо таким же краном в пучках, либо после роспуска пучка в воде — манипулятором 3. Имеющее ме-

сто парообразование, особенно в зимний период, в загрузочном и разгрузочном концах бассейна приводит к образованию тумана. Для его устранения в этих зонах установлены вентиляторы.

Нагревание воды в бассейне осуществляется за счет вторичных тепловых ресурсов на станции оборотного водоснабжения. Часть нагретой воды насосами подается в рабочую зону бассейна, а другая часть поступает в дождевальную установку, обеспечивая нагрев надводной части пучков. Далее вода подвергается очистке путем ее циркуляции через соросудерживающие решетки. При превышении допустимой концентрации загрязнений производится дополнительная очистка путем фильтрования. Такая очистка производится и перед сбросом воды в канализацию при чистке бассейна.

Вместимость  $E$ , м<sup>3</sup>, бассейна непрерывного действия равна

$$E = E_n n m, \quad (4.2)$$

где  $E_n$  — объем кряжей в одном пучке, определяемый в зависимости от характеристики грейфера для кряжей и бревен; основной характеристикой грейфера служит его емкость  $E_k$  при сомкнутых челюстях, которая варьирует от 4 до 10 м<sup>3</sup> (при длине бревен 6,5 м); в свою очередь,  $E_n = E_k \cdot 0,75$ ;

$n$  — число пучков в рабочей секции;

$m$  — число секций в бассейне.

Общее число пучков в бассейне  $n m$ , штук, определяется по выражению

$$n m = \frac{P \tau_1}{720 E_n}, \quad (4.3)$$

где  $P$  — месячная производительность сушильного цеха по сырию, м<sup>3</sup>/месяц;

$\tau_1$  — продолжительность тепловой обработки, ч;

720 — число часов работы бассейна в месяц.

Соотношение между  $n$  и  $m$  следует устанавливать в зависимости от конфигурации строительной площадки, отведенной для строительства бассейна.

На предприятиях небольшой производственной мощности цеха или отделения тепловой обработки древесины целесообразно оборудовать односекционным бассейном для обработки чурakov, в котором поддерживается температура воды 40...45 °С.

Чураки загружаются в бассейн в специальных металлических контейнерах, транспортируемых мостовым краном или кран-бал-

кой. При применении тросового контейнера (рис. 4.3, а) бассейн должен быть разделен на секции, с колоннами, фиксирующими положение контейнеров, и опорными балками для крышек по аналогии с бассейном, рассмотренным выше. При использовании комбинированного контейнера (рис. 4.3, б), имеющего жесткий металлический каркас, требуются лишь опорные балки. Вместимость контейнера  $E_k$  (при длине чураков 1630 мм, высоте контейнера с крышкой 2400 мм и ширине 1800 мм) обычно составляет около 3 м<sup>3</sup>. Вполне допустимо проектирование контейнеров, имеющих другие размеры.

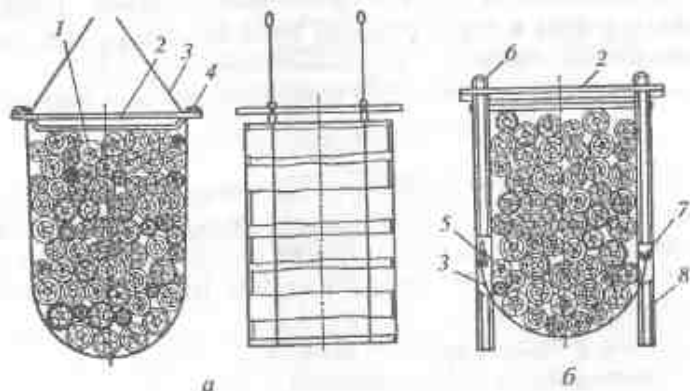


Рис. 4.3. Контейнер для чураков:

а — тросовый; б — комбинированный; 1 — чураки; 2 — крышка; 3 — стропы; 4 — зажим стропы; 5 — поворотный крюк; 6 — петля подвески; 7 — неподвижный крюк; 8 — жесткий каркас

Число контейнеров  $n$ , штук, в таком бассейне рассчитывается по выражению

$$n = \frac{P_{т1}}{720E_k} \quad (4.4)$$

**Жесткие режимы**, получившие широкое распространение в прошлые годы в настоящее время практически не применяются. Для проварки чураков по таким режимам использовались варочные бассейны с мотовилами. Эти бассейны имеют существенные недостатки. Открытые поверхности бассейнов служат источниками интенсивного испарения влаги, при конденсации которой в помещении варочного отделения создаются, особенно в зимнее время, весьма неблагоприятные условия для работы обслуживаю-

щего персонала. В них нередки случаи перекося и заклинивания чураков, что вызывает простой оборудования. Их существенным технологическим недостатком является неравномерность распределения температуры по объему чураков после обработки.

При выгрузке из бассейна после полного оттаивания чураки имеют температуру на поверхности 70...80 °С, а в центре — около 0 °С. За время транспортировки от бассейна к лущильному станку температура древесины несколько выравнивается, но все же остается недостаточно равномерной для обеспечения высококачественного лущения. По этим причинам бассейны с мотовилами были заменены механизированными бассейнами, осуществляющими мягкие режимы.

## § 17. Пропарка древесины

**Пропарка**, т. е. тепловая обработка древесины насыщенным паром низкого давления, применяется в производстве строганого шпона (нагревание брусьев или ванчесов перед строганием), в производстве изделий из древесины (обработка заготовок перед гнутьем и прессованием), в спичечном производстве (оттаивание чураков перед лущением).

Для пропарки ванчесов, брусьев или чураков применяются парильные камеры, а для пропарки заготовок — парильные автоклавы.

**Парильные камеры** представляют собой помещения длиной до 6 м, шириной 2...3 м и высотой 2,0...2,5 м. Ограждения камер должны быть малотеплопроводными и герметичными. Применяют и камеры, построенные из традиционных строительных материалов. Они имеют кирпичные стены (толщиной 2...2,5 кирпича), железобетонные теплоизолирующие перекрытия, бетонные полы. Загрузка материала осуществляется с торца через дверные проемы с использованием рельсового транспорта (рис. 4.4), так и сверху, через съемные перекрытия, с использованием грузоподъемных устройств (электроталей, кран-балок и пр.). Часто камеры заглубляют в землю. Такие камеры называют иногда парильными ямами.

Внутри стены парильных камер штукатурятся цементным раствором. Вся их внутренняя поверхность, включая двери, покрывается влагонепроницаемым составом (например, битумным лаком).

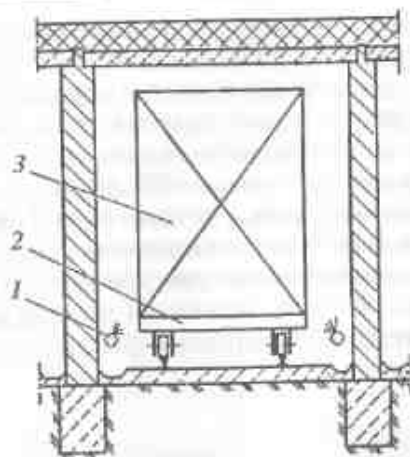


Рис. 4.4. Конструктивная схема парильной камеры:  
1 — труба парораспределительная; 2 — вагонетка; 3 — штабель сортиментов

Последнее время предпочтение отдается камерам с ограждениями из панелей — «сэндвичей». Такие панели имеют металлический каркас, облицованный с двух сторон листом из нержавеющей стали (с наружной стороны допустимо применение листов обычной конструкционной стали) и заполненный термостойким теплоизолятором.

Ответственным узлом парильных камер являются двери (при боковой загрузке) или съемные крышки (при загрузке сверху). Они должны быть легкими, прочными, формоустойчивыми, малотеплопроводными, обеспечивающими герметичность в притворе. Больше всего удовлетворяют этим требованиям панельные металлические конструкции.

Пропарка может осуществляться водяным паром, подаваемым в камеру по пропарочным трубам, расположенным вдоль камеры. Трубы диаметром 40...50 мм имеют отверстия диаметром 5 мм, расположенные через каждые 300 мм. Более технологична и конструктивно проще обработка водяным паром, который образуется за счет интенсивного испарения и кипения воды в ванне, установленной внутри камеры. Образующийся конденсат удаляется из камеры по сточной канавке, оборудованной отводной трубой с гидравлическим затвором.

Температура в камере в процессе обработки материала поддерживается на уровне 90...95 °С при степени насыщенности близкой к единице. Продолжительность нагревания, зависящая

от размеров обрабатываемого материала, породы древесины и ее начальной температуры, колеблется в пределах от 16 до 40 ч. Для выравнивания температуры по сечению сортименты перед строганием выдерживаются в течении 2...4 ч.

При рельсовом транспорте вагонеты укладываются на вагонетки горизонтальными рядами на прокладках, а при верхней загрузке они помещаются в специальные контейнеры.

Тепловая обработка чураков осуществляется при производстве спичек в парильных камерах, заглубленных в землю. Ограждения камер выполняются из железобетона. Камера состоит из нескольких секций. Каждая секция имеет съемную крышку (аналогичную по конструкции, описанной выше). Загрузка и выгрузка чураков осуществляется пачками, с помощью электротали, снабженной цепным кошелем.

Автоклав (рис. 4.5) представляет собой расположенный горизонтально стальной цилиндр, который с одного конца имеет полусферическую съемную крышку, а с другого конца — полусферическое днище. Прижим крышки и герметизация притвора осуществляются байонетным или клиновым затворами, имеющими ручной или электрический привод. Водяной пар подается через трубу, врезанную в днище автоклава. В нижней части автоклава расположена труба для отвода конденсата, а в верхней части —

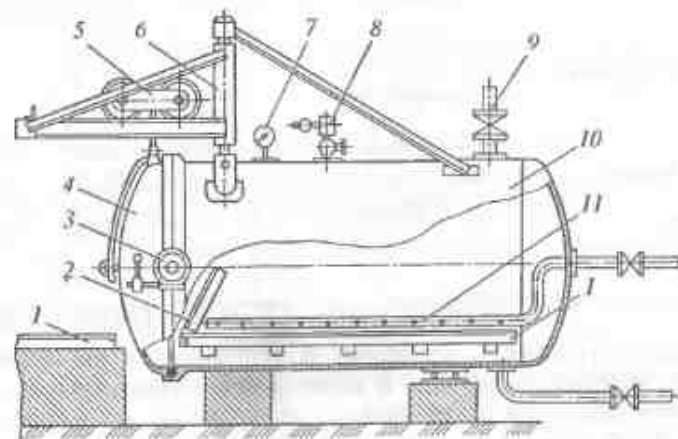


Рис. 4.5. Схема парильного автоклава:  
1 — рельсы стационарные; 2 — рельсы откатные; 3 — механизм запорный; 4 — крышка съемная; 5 — каретка; 6 — кронштейн; 7 — манометр; 8 — клапан предохранительный; 9 — труба выхлопная; 10 — корпус; 11 — труба парораспределительная

выхлопная труба. Размеры автоклава определяются заданной его вместимостью (3...5 м<sup>3</sup> древесины).

Ванчesy погружают на вагонетку, которую закатывают в автоклав по рельсовому пути. После загрузки и запираания крышки в автоклав подается пар. Обработка происходит при давлении 0,2...0,3 МПа ( $t_c = 125...130$  °С). По окончании обработки из автоклава пар удаляется через выхлопную трубу, сливается конденсат, после чего обработанные ванчesy выгружают.

Крышку автоклава не открывают до тех пор, пока давление в автоклаве не сравняется с атмосферным. Чтобы это гарантировать, необходимо, во избежание несчастных случаев, блокировать запорное устройство с выхлопной трубой.

Температура ванчесов при строгании, обусловленная требованиями к качеству шпона, существенно зависит от породы древесины. Рекомендуемая температура древесины при ее строгании приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Температура древесины, рекомендуемая при строгании шпона

Порода древесины	Пределы температуры, °С
Ясень	45...65
Лиственница	60...80
Дуб	50...55
Бук, орех, карельская береза	30...40
Макоре	55...70
Сипели, ксипто	55...70
Махагони	45...60
Тиамо	45...60

Продолжительность пропарки в зависимости от толщины ванчесов, породы древесины и ее начальной температуры находится в пределах от 4 до 10 часов.

После собственно пропарки давление пара в автоклаве снижается постепенно, в течение не менее двух часов. После нагревания температура по сечению материала распределена неравномерно. В наружных слоях она выше, чем внутри. Для выравнивания температуры необходима выдержка в цехе в течение 2...3 часов.

Пропарка ванчесов в автоклавах имеет серьезный недостаток. Поверхностные зоны сортиментов подвергаются воздействию повышенной (до 130 °С) температуры, в результате чего наблюдается снижение прочности и потемнение древесины, особенно заметное на импортном сырье декоративных тропических пород. Некоторые из этих пород весьма чувствительны к высокотемпературным воздействиям; пропаривание их при повышенном давлении вызывает заметное снижение качества шпона.

В этих случаях следует либо производить обработку в автоклавах при давлении, близком к атмосферному (что связано со снижением их производительности), либо применять парильные камеры.

Для пропарки заготовок перед гнутьем или прессованием, которая ведется преимущественно небольшими партиями, применяются обычно автоклавы небольших размеров, называемые также парильными барабанами.

Парильные барабаны изготавливаются в соответствии с размерами заготовок и требуемой производительностью. Они обычно имеют диаметр 0,4...0,6 м и рассчитаны на давление пара 0,11...0,12 МПа, чему соответствует температура насыщенного пара 100...105 °С.

Производительность парильной камеры или автоклава  $\Pi$ , м<sup>3</sup>, за определенное время  $T$  (год, месяц), в часах, рассчитывается по уравнению

$$\Pi = \frac{T}{\tau_1 + \tau_2} E, \quad (4.5)$$

где  $E$  — вместимость камеры или автоклава, м<sup>3</sup>;  
 $\tau_1$  — продолжительность тепловой обработки, ч;  
 $\tau_2$  — продолжительность загрузки и разгрузки, ч.

## § 18. Тепловая обработка топочными газами

Тепловая обработка древесины путем выдержки ее в открытых бассейнах имела широкое распространение на лесопильных заводах. Это было связано с тем, что на большинстве предприятий сортировка и хранение промежуточного запаса сырья (бревен) перед распиловкой осуществлялась на воле.

В последние же годы в стране растет число лесопильных предприятий. По причине отсутствия на них котельных, произ-

водящих технологический пар, повышения цен на энергоносители тепловая обработка пиловочного сырья практически не производится. Распиловке подвергаются замороженные бревна. Это приводит к получению некачественной продукции, увеличению энергетических затрат на резание, повышенному расходу режущего инструмента.

Одновременно с этим на предприятиях накапливаются отходы лесопиления и деревообработки, утилизация которых становится весьма актуальной проблемой. Одним из путей частичной утилизации этих отходов является их сжигание с целью получения топочных газов как носителей дешевой тепловой энергии. Авторами предложена камера непрерывного действия для оттаивания пиловочного сырья, конструктивная схема которой приведена на рис. 4.6. Камера представляет собой туннель 5, длиной около 20 м, в который закатываются пачки пиловочника 6 на специальных вагонетках. Со стороны загрузки дымососом 4 в камеру подается смесь воздуха и очищенного топочного газа, имеющая температуру 180...240 °С. При прохождении через материал тепловая энергия смеси расходуется на оттаивание воды и нагревание древесины. При температуре 70...90 °С отработанная смесь полностью выбрасывается в атмосферу через выхлопную трубу 7.

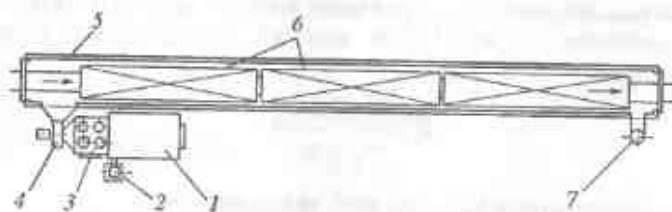


Рис. 4.6. Камера непрерывного действия для тепловой обработки пиловочника топочными газами:

1 — топка; 2 — дымовая труба для растопки; 3 — циклонная установка для очистки газов и камера смешения; 4 — дымосос; 5 — корпус камеры; 6 — вагонетки с пиловочником; 7 — выхлопная труба

Топочные газы получают при сжигании отходов лесопиления в топке 1. Топочный газ проходит очистку в циклонной установке совмещенной с камерой смешения 3, в которую подается определенное количество свежего воздуха. Практически эта продолжительность составляет 4...6 ч, при условии, что мощность топки соответствует энергии, потребляемой материалом. Производительность камеры определяется по уравнению (4.5). Время загрузки и выгрузки  $\tau_2$  не учитывается.

Тепловая обработка древесины горячим воздухом применяется в производственной практике очень редко. Обработка таким способом сырой древесины малоэффективна. Сортименты нагреваются только до температуры предела охлаждения. Она небезопасна с точки зрения целостности материала, так как возможно растрескивание поверхности вследствие усушки. Ограниченное применение может иметь для нагревания сухой древесины в процессах склеивания. Однако и в этом случае целесообразнее использовать более интенсивные способы обработки (контактная и диэлектрическая).

## § 19. Расчет устройств тепловой обработки

Задачи теплового расчета бассейнов и парильных устройств состоят в определении их тепловой мощности, удельного расхода тепла на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемой древесины, потребной тепловой мощности установок и расхода теплоносителя (пар, вода).

При проведении этих расчетов требуется определить либо среднюю температуру  $\bar{t}$  обрабатываемых сортиментов в конце процесса, либо продолжительность процесса  $\tau$  обработки, необходимую для достижения заданной средней температуры.

Вспользуемся уравнением теории подобия, основы которой были ранее рассмотрены в курсе теплотехники.

Средняя безразмерная температура одномерного тела (пластины, цилиндра) при его нагревании в воде или насыщенном паре характеризуется обобщенной функцией

$$\bar{\Theta} = f(Fo), \quad (4.6)$$

где  $\bar{\Theta}$  — средняя безразмерная температура;

$Fo$  — критерий подобия Фурье.

Графики этой функции для пластины и цилиндра приведены на рис. 4.7.

В свою очередь,

$$\bar{\Theta} = \frac{t_c - \bar{t}}{t_c - t_0}; \quad (4.7)$$

$$Fo = \frac{\alpha \tau}{R^2}, \quad (4.8)$$

где  $t_c$  — температура агента обработки, °С;

$\bar{t}$  — средняя температура древесины в конце обработки, °С.

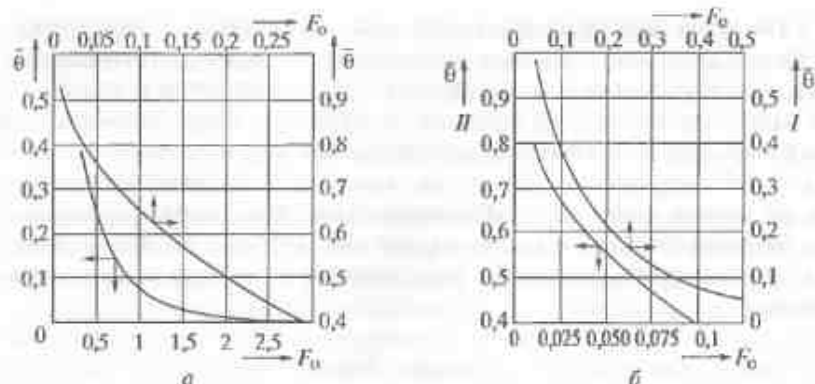


Рис. 4.7. Графики средней безразмерной температуры неограниченной пластины (а) и неограниченного цилиндра (б) при нагревании в жидкости или насыщенном водяном паре

$t_0$  — начальная температура древесины, °С;

$\tau$  — продолжительность обработки, с;

$R$  — определяющий размер (для цилиндра — радиус  $R$ , для пластины толщиной  $S$  — половина ее толщины  $S/2$ ), м.

Входящая в выражения (4.8) величина  $a = \lambda/(c\rho)$  называется коэффициентом температуропроводности. Этот коэффициент (имеющий размерность  $m^2/c$ ) является физическим параметром материала, характеризующим его тепловые инерционные свойства. Входящие в него коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , удельная теплоемкость  $c$  и плотность  $\rho$  древесины определяются в соответствии с рекомендациями, данными в § 6 и 9.

Промышленные сортименты обычно имеют в поперечном сечении круглую или прямоугольную форму. Круглые сортименты (бревна, кряжи, чураки) имеют длину, значительно превышающую диаметр. При расчетах нагревания их можно рассматривать как бесконечные цилиндры. Прямоугольные сортименты (доски, брусья) допустимо принимать за неограниченные пластины, если отношение их ширины  $S_1$  к толщине  $S_2$  больше пяти. При  $S_1/S_2 \leq 5$  можно использовать приведенную толщину

$$S_{пр} = \frac{S_1 S_2}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \quad (4.9)$$

Расход тепла в устройствах для тепловой обработки древесины складывается из полезных затрат тепла на оттаивание и нагревание сырья и тепловых потерь.

Полезный расход тепла  $q_{пр}$  на оттаивание и прогрев единицы объема древесины в зимних условиях (когда материал заморожен) характеризуется уравнением

$$q_{пр} = q_{от} + \rho c \bar{t}, \quad (4.10)$$

где  $q_{от}$  — удельный расход тепла на оттаивание;

$\bar{t}$  — средняя температура древесины в конце обработки;

$c$  — удельная теплоемкость древесины при  $\bar{t}$ .

Удельный расход тепла на оттаивание  $q_{от}$ ,  $kJ/m^3$ , равен сумме затрат на нагревание замороженной древесины от отрицательной начальной температуры ( $-t_0$ ) до нуля и на плавление содержащегося в древесине льда:

$$q_{от} = \rho c_{(-)}(-t_0) + \rho_0 \gamma \frac{W - W_{ск}}{100}; \quad (4.11)$$

где  $\rho$  — плотность древесины,  $kg/m^3$ ;

$\rho_0$  — базисная плотность древесины,  $kg/m^3$ ;

$\gamma$  — скрытая теплота плавления льда,  $335 kJ/kg$ ;

$W$  — влажность древесины, %;

$W_{ск}$  — относительное содержание, связанной влаги в древесине, остающееся жидкой в замороженной древесине, %;

$c_{(-)}$  — удельная теплоемкость древесины при отрицательной температуре,  $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ .

Величину  $W_{ск}$ , %, зависящую от начальной температуры древесины, можно найти, применяя выражение

$$W_{ск} = 30 + 0,772(-t_0) + 0,0082(-t_0)^2. \quad (4.12)$$

Формула (4.10) справедлива для случаев полного оттаивания сортиментов с последующим их нагреванием.

Если в процессе обработки размораживается и нагревается до положительной температуры только заболонь пиловочных бревен при их оттаивании в открытых бассейнах или камерах тепловой обработки, то следует воспользоваться уравнением

$$q_{пр} = (q_{от} + \rho_{заб} c_{(+)} \bar{t}_{заб}) \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) + \rho_{ядр} c_{(-)}(-t_0) \frac{d^2}{D^2}, \quad (4.13)$$

где  $\rho_{заб}$ ,  $\rho_{ядр}$  — плотность древесины заболони и ядра;

$D$ ,  $d$  — диаметр бревна и диаметр его ядра;

$\bar{t}_{заб}$  — средняя температура заболони в момент окончания обработки; равна  $(t_c + 0)/2$ .

При нагревании древесины, имеющей положительную начальную температуру  $t_0$ , до температуры  $t$

$$q_{\text{пр}} = \rho c(t - t_0). \quad (4.14)$$

Тепловые потери бассейнов складываются из следующих основных элементов: конвективная теплоотдача с поверхности бассейна в воздух, затраты тепла на испарение воды с поверхности, тепловые потери через ограждения (дно и стенки) бассейна, тепловое излучение в окружающую среду, затраты тепла на начальный прогрев ограждений и транспортных средств. В камерах тепловой обработки учитываются тепловые потери через ограждения и затраты тепла на прогрев ограждений и вагонеток.

Тепловые потери имеют размерность тепловой мощности и выражаются в киловаттах. Они могут быть рассчитаны на основе общеизвестных элементарных уравнений стационарного теплообмена.

Тепловые потери вследствие конвективной теплоотдачи  $Q_{\text{конв}}$ , кВт, с поверхности бассейна определяются в соответствии с уравнением Ньютона

$$Q_{\text{конв}} = F\alpha(t_c - t_0)10^{-3}, \quad (4.15)$$

где  $F$  — площадь теплоотдающей поверхности,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, в приближенных расчетах он может приниматься равным  $25...30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$t_c$  — температура обрабатываемой воды,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_0$  — температура окружающего воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

Затраты тепла на испарение воды  $Q_{\text{исп}}$ , кВт, с поверхности бассейна характеризуются выражением

$$Q_{\text{исп}} = Fr_0i, \quad (4.16)$$

где  $r_0$  — скрытая теплота парообразования,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$i$  — масса воды,  $\text{кг}$ , испаряющейся с  $1 \text{ м}^2$  поверхности в секунду. Эта величина с достаточной точностью подсчитывается по уравнениям физики (формула Дальтона). Ориентировочно эту массу можно принимать равной указанной в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Зависимость  $i$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , от температуры воды

Температура воды, $^\circ\text{C}$	$i$ , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
5...10	$0,6 \cdot 10^{-4}$
25...30	$2,5 \cdot 10^{-4}$
40...50	$5,0 \cdot 10^{-4}$
70...80	$20 \cdot 10^{-4}$

Потери тепла через ограждения  $Q_{\text{отр}}$ , кВт, бассейнов и других устройств для тепловой обработки выражаются формулой

$$Q_{\text{отр}} = \sum_{i=1}^n F_i K_i (t_c - t_0) 10^{-3}, \quad (4.17)$$

где  $n$  — число видов ограждений (стены, полы, перекрытия, двери, крышки и пр.);

$F_i, K_i$  — площадь и коэффициент теплопередачи  $i$ -го вида ограждений;

$t_c, t_0$  — внутренняя и наружная температура данного вида ограждения.

Для устройств тепловой обработки, не имеющих открытых водных поверхностей, потери тепла через ограждения являются единственным видом тепловых потерь.

Удельный расход тепла на потери  $q_{\text{пот}}$ , отнесенный к  $1 \text{ м}^3$  обрабатываемой древесины,  $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ , находим по суммарной величине тепловых потерь (кВт) и производительности установки  $\Pi$ ,  $\text{м}^3$ , за время  $T$ , ч:

$$q_{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{конв}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{отр}}}{\Pi} T. \quad (4.18)$$

Полный удельный расход тепла на обработку  $q$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ , характеризуется величиной

$$q = (q_{\text{пр}} + q_{\text{пот}}) 1,15, \quad (4.19)$$

где 1,15 — коэффициент, который характеризует затраты энергии, не учтенные в расчетах (нагревание транспортных средств, прогрев ограждений, наличие тепловых мостов и пр.).

Общая тепловая мощность  $Q$ , кВт, бассейна, камеры или установки равна

$$Q = q\Pi/T. \quad (4.20)$$

Удельный расход тепла (4.19) и тепловую мощность (4.20) рассчитывают для зимних (когда имеет место максимальное потребление энергии) и среднегодовых условий. Первые требуются для определения мощности котельной, а вторые — для расчета годовых затрат тепловой энергии (топлива) и себестоимости обработки.

**Пример.** Рассчитать тепловую мощность односекционного бассейна с контейнерной загрузкой производительностью  $1200 \text{ м}^3/\text{месяц}$ . Тепловой обработке подвергаются березовые чура-

ки с влажностью 80 %. В зимний период их средняя температура равна  $-20$  °С. Температура воды в бассейне  $45$  °С. Чураки предназначены для производства фанеры. Бассейн находится внутри отапливаемого помещения. Контейнеры снабжены крышками (§ 16).

Расчет ведется по зимним условиям. Этот период характеризуется повышенным расходом тепловой энергии, поскольку ее значительная часть затрачивается на оттаивание воды в древесине. В соответствии с рекомендациями (§ 16) для производства лущеного шпона чураки должны быть нагреты до  $t = 40$  °С.

Удельный расход тепла на прогрев рассчитываем по формулам (4.10) и (4.11):

$$q_{\text{пр}} = \rho c_{t_1} (-t_0) + \rho_0 \gamma (W - W_{\text{св}}) / 100 + \rho c t.$$

Находим последовательно численные значения величин, входящих в это уравнение: базисную плотность  $\rho_0 = 500$  кг/м<sup>3</sup> (табл. 2.2); плотность  $\rho = f(W, \rho_0)$  по графику на рис. 2.2  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>; удельную теплоемкость  $c_{t_1} = f(W, t_p)$ ,  $t_p = (-20)/2 = -10$  °С по графику на рис. 2.6, а находим  $c_{t_1} = 2,0$ , аналогично находим  $c = 2,95$  кДж/(кг °С) при  $t_p = 40/2 = 20$  °С. Количество незамерзшей связанной воды (формула (4.12)):

$$W_{\text{св}} = 30 + 0,772(-20) + 0,0082(-20)^2 = 30 - 15,4 + 3,2 = \\ = 17,9 \% \approx 18 \%;$$

$$q_{\text{пр}} = 900 \cdot 2 \cdot 20 + 500 \cdot 332 \cdot (80 - 18) / 100 + 900 \cdot 2,95 \cdot 40 = \\ = 246\,050 \text{ кДж/м}^3 = 68,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3 \text{ (1 кВт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ кДж)}.$$

По формуле 4.18 полный удельный расход тепла

$$q = (q_{\text{пр}} + q_{\text{отт}}) \cdot 1,15.$$

Для бассейна, имеющего крышки, потери тепловой энергии, связанные с конвекцией и испарением влаги (4.15, 4.16), отсутствуют. Имеют место тепловые потери через ограждения. Бассейн находится в отапливаемом помещении. Для такого случая потери в среднем составляют 15 %  $q_{\text{пр}}$ .

$$q = (68,3 + 0,15 \cdot 68,3) \cdot 1,15 = 90,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

Тепловая мощность бассейна:

$$Q = q P/T = 90,4 \cdot 1200/720 = 150 \text{ кВт}.$$

### Контрольные вопросы

1. Назовите способы тепловой обработки древесины.
2. Чем вызвана необходимость оттаивания замерзшей древесины?
3. Почему требуется прогревать древесину перед лущением и строганием?
4. Какой способ тепловой обработки рекомендуется при гнутье и прессовании древесины?
5. Когда производится тепловая обработка древесины в открытых бассейнах?
6. В каких случаях производится проварка древесины, а когда — пропарка древесины?
7. Чем отличаются мягкие и жесткие режимы проварки древесины?
8. Каково устройство бассейнов для тепловой обработки древесины мягкими режимами?
9. Как осуществляется теплоснабжение бассейнов?
10. Каково устройство парильных камер, автоклавов?
11. Какие режимы применяются при пропарке древесины в парильных камерах, автоклавах?
12. Каковы преимущества и недостатки имеют парильные камеры и автоклавы?
13. Как устроена камера тепловой обработки пиловочника топочными газами?

## Глава 5

# СПОСОБЫ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ СУШКИ

### § 20. Способы сушки древесины

Сушка древесины проходит при одновременном протекании ряда физических процессов. Основными из них являются:

- **теплообмен**, при котором тепло передается от сушильного агента или другого источника энергии высушиваемому материалу;
- **теплопроводность**, связанная с перемещением тепловой энергии внутри материала;
- **влагообмен** — испарение и унос влаги в виде пара с поверхности материала в окружающую среду;
- **влагоперенос** — перемещение влаги внутри материала в жидком и газообразном состоянии.

Роль перечисленных физических явлений применительно к конкретному способу сушки не одинакова. Относительная эффективность того или иного явления зависит от способа передачи теплоты древесине и других условий. Некоторые из этих явлений могут быть определяющими при одних способах сушки и не оказывать существенного влияния при других.

Классификация видов и способов сушки базируется на особенностях теплообмена материала со средой. По этому признаку различают четыре способа сушки: конвективную, кондуктивную, радиационную и диэлектрическую.

**Конвективная сушка** основана на передаче теплоты материалу путем конвекции от газообразной или жидкой среды. Основными способами конвективной сушки являются:

- **конвективная тепловая (газопаровая)** — сушка древесины нагретыми газами в специальных сушильных устройствах при атмосферном давлении;

- **атмосферная** — сушка на открытых складах или под навесом без подогрева воздуха;
- **жидкостная** — сушка в нагретых гидрофобных жидкостях и в солевых водных растворах;
- **сушка в парах органических веществ**; используются пары органических веществ и их смеси с воздухом, эти вещества могут замещать воду в древесине, ее химически связывать, придавать древесине новые свойства;
- **вакуумная** — тепловая сушка при давлении ниже атмосферного.

**Кондуктивная сушка** основана на передаче теплоты древесине путем теплопроводности при контакте с нагретыми поверхностями.

При **радиационной сушке** теплота передается материалу путем облучения источниками лучистой тепловой энергии (в основном от источников инфракрасного излучения). Этот вид в настоящее время применяется для сушки лакокрасочных покрытий. В рамках настоящего курса не рассматривается.

**Диэлектрическая сушка** — это сушка в электромагнитном поле высокой частоты; теплота материалу передается за счет диэлектрических потерь.

Древесные материалы сушат преимущественно конвективным тепловым способом. Применительно к пиломатериалам, высушиваемым в специальных камерах, этот способ получил название просто **конвективной** или **камерной сушки**.

Некоторое распространение имеет **атмосферная сушка пиломатериалов**. **Вакуумную** и **диэлектрическую сушку** применяют сравнительно редко, в основном, для сушки пиломатериалов. **Кондуктивная сушка** имеет ограниченное применение для высушивания шпона в технологии производства фанеры. Сушка в гидрофобных жидкостях получила распространение в технологиях пропитки древесины.

Основное внимание в учебном пособии уделяется изучению тепловой конвективной и, в первую очередь, камерной сушки пиломатериалов.

### § 21. Основные закономерности движения влаги в древесине и характеристика основных процессов сушки

Особенности процесса сушки древесины определяются в основном тем, как и почему перемещается влага внутри материала, т. е. характером влагопереноса.

При неравномерном распределении влаги внутри материала она движется в направлении пониженной влажности. Такое движение, называемое **влажнопроводностью**, вызвано перепадом влажности по объему и обусловлено появлением **градиента влажности**. Влага в древесине перемещается одновременно в виде пара по свободным пространствам (полостям клеток) и в виде жидкости по капиллярам в стенках клеток, заполненным водой. Скорость движения влаги возрастает при повышении температуры и увеличении разности во влажности между наружными и внутренними слоями древесины.

Движение влаги будет наблюдаться, если температура распределена неравномерно по объему материала. Это явление называется **термовлажностью**. Влага движется в сторону пониженной температуры. Это можно наблюдать, если нагретый образец влажной древесины положить на холодный стол станка. Появление на поверхности стола конденсата свидетельствует о достаточно интенсивном движении влаги в сторону пониженной температуры. Следовательно, вторая причина движения влаги — перепад температуры или наличие в материале **градиента температуры**.

Если во внутренних слоях древесины создано избыточное по сравнению с внешней средой давление, то под его воздействием влага в виде направленного потока пара будет двигаться в сторону более низкого давления. Такое движение будет иметь место при кипении воды внутри материала. Таким образом, третья причина движения — перепад давления пара по объему древесины, который характеризуется **градиентом давления**.

Движение влаги под действием перепада температуры или давления ускоряется с увеличением разности температуры или давления (соответственно причинам движения) внутри древесины.

Основным способом сушки в деревообрабатывающей промышленности является, как указывалось, конвективная сушка в газообразной среде. Главным признаком, характеризующим ее протекание, является особенность парообразования, по которому процессы сушки могут быть подразделены на две группы:

1) на **низкотемпературные**, (температура древесины ниже температуры кипения воды при данном давлении); образование пара проходит при **испарении** влаги;

2) **высокотемпературные** (температура выше температуры кипения воды); пар образуется в результате **кипения** влаги в материале.

Такое деление **условно**. На самом деле низкотемпературный процесс может проходить при достаточно высокой температуре

(значительно превышающей температуру кипения воды), а высокотемпературный — при существенно более низкой температуре в вакуумных сушильках (за счет пониженной температуры кипения воды в вакууме).

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

Предположим, что образец древесины в виде пластины толщиной  $S$  с начальной влажностью  $W_0$ , превышающей  $W_{н.к.}$ , помещен в нагретый воздух. Влага по толщине пластины распределена равномерно. Состояние воздуха характеризуется его температурой  $t_c$  и температурой смоченного термометра  $t_u$ .

В период прогрева (рис. 5.1, б; отрезок 0—А) температура поверхности пластины быстро достигает температуры  $t_u$ . Температура центральной зоны  $t_{ц}$  ниже температуры поверхности, но в начале сушки сравнивается с ней. После окончания прогрева с поверхности пластины начнется испарение влаги, которое понизит влажность поверхностных слоев. Пока влажность на поверхности будет выше  $W_{н.к.}$ , влага в древесине перемещаться не будет. Ее движение начнется, когда вся свободная влага будет удалена с поверхности. С этого момента между внутренними слоями древесины и поверхностью появляется перепад влажности. Эта разность во влажности обеспечивает подачу свободной влаги к поверхности по мере ее испарения (рис. 5.1, а; кривая 1). Вначале свободная влага подается из наружных слоев древесины. Влаж-

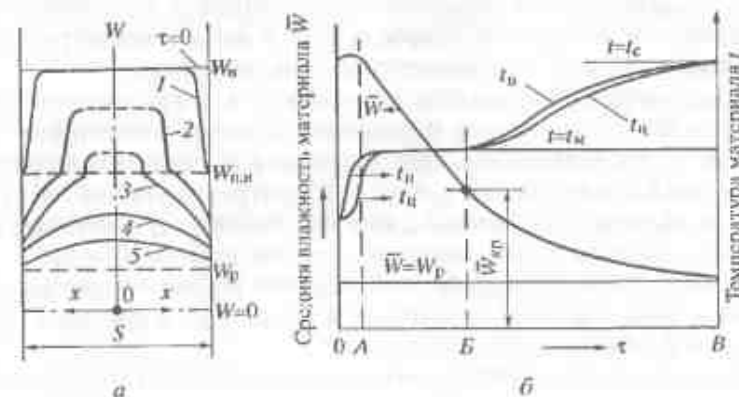


Рис. 5.1. Кривые низкотемпературного процесса сушки древесины при  $W_0 > W_{н.к.}$ : а — кривые распределения влажности по толщине пластины на различных этапах (1—5) процесса сушки; б — кривые изменения температуры  $t$  и влажности  $\bar{W}$  древесины в процессе сушки

ность поверхности остается при этом постоянной и соответствует приблизительно пределу насыщения клеточных стенок. Скорость сушки в этот период постоянна и определяется интенсивностью испарения влаги с поверхности пористой пластины.

По мере удлинения пути движущейся 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  $W_{\text{нп}}$ . По толщине пластины образуются две зоны: наружная, с влажностью ниже предела насыщения, и внутренняя, имеющая влажность выше предела насыщения.

По мере заглупления наружной зоны (рис. 5.1, а; кривые 2, 3, 4) средняя влажность древесины и скорость сушки уменьшаются.

К концу процесса влажность сортифта стремится к равновесной (кривая 5). Практически же процесс сушки заканчивают значительно раньше, при достижении древесиной заданной конечной влажности  $W_k$ .

Кривая сушки (рис. 5.1, б) состоит из трех участков, соответствующих трем периодам процесса: периоду прогрева (отрезок 0—А), периоду постоянной скорости сушки (отрезок А—В) и периоду падающей скорости сушки (отрезок В—В').

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

Температура поверхности пластины  $t_n$  в период постоянной скорости сушки неизменна и равна температуре смоченного термометра  $t_{\text{с}}$ , а в период падающей скорости постепенно возрастает, стремясь к температуре среды  $t_c$ . В центре материала температура  $t_0$  в периоде постоянной скорости равна  $t_n$ , а в периоде падающей скорости сушки отличается от нее незначительно.

Рассмотренный процесс наблюдается и при сушке сырого шпона и измельченной древесины в среде с температурой, значительно превышающей 100 °С.

Основной причиной перемещения влаги в этом процессе является влажпроводность. Термовлажпроводность наблюдается лишь в период прогрева материала.

Наиболее характерный пример высокотемпературного процесса — сушка древесины с начальной влажностью выше предела

насыщения в среде перегретого пара при атмосферном давлении и в вакууме. Процесс протекает следующим образом.

Подлежащий сушке сортифт, помещенный в перегретый пар с температурой  $t_c$  выше температуры кипения  $t_k$ , начинает нагреваться. Температура его поверхности, а затем и центральной зоны, сравнительно быстро достигает предела охлаждения, которая в перегретом паре составляет  $t_c$ . Одновременно на поверхности материала начинается кипение влаги. Влажность поверхностного слоя очень быстро (рис. 5.2, а; кривая 1) опускается ниже предела насыщения. Температура поверхности  $t_n$  при этом поднимается выше  $t_c$ . Между поверхностью и центральной зоной сортифта образуется температурный перепад и, как следствие его, тепловой поток, направленный от поверхности к центру. Энергия теплового потока затрачивается на кипение свободной влаги внутри материала. В результате образуется избыточное давление  $P_{\text{из}}$  и пар выходит через капилляры подсушенной зоны в окружающую среду. Пока во внутренних зонах сортифта содержится свободная влага, температура в ней не может подняться выше точки кипения. До этого времени и сохраняется устойчивый тепловой поток от поверхности к центру, а также устойчивое молярное движение влаги в обратном направлении.

Процесс сушки иллюстрируется (рис. 5.2, б) кривыми, которые показывают изменение во времени температуры древесины, избыточного давления внутри нее и средней влажности. Процесс складывается из трех периодов: прогрева (отрезок 0—А), отличающийся интенсивным подъемом температуры и давления, перво-

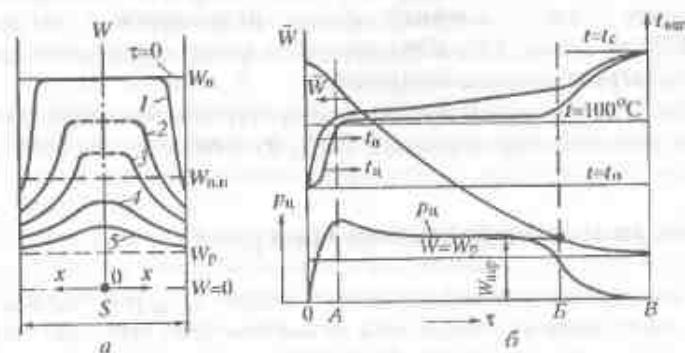


Рис. 5.2. Кривые высокотемпературного процесса сушки древесины при  $W_0 > W_{\text{нп}}$ : а — кривые распределения влажности по толщине пластины на различных этапах (1—5) процесса сушки; б — кривые изменения температуры  $t$  и влажности  $\bar{W}$  древесины в процессе сушки

го — кипения свободной влаги (отрезок  $A-B$ ), характеризующийся их стабилизацией в центре  $t_{\text{к}}$  и второго — удаления гигроскопической влаги (отрезок  $B-B'$ ), начиная от  $W_{\text{пер}}$ , когда наблюдается постепенное повышение температуры и снижение давления.

Уровень стабилизации температуры  $t_{\text{к}}$  соответствует точке кипения воды при давлении  $P_{\text{к}}$ , образуящемся внутри древесины. Перепад между этим давлением и давлением окружающей среды равен сопротивлению, которое оказывает древесина движению пара. При сушке сортиментов хвойных (кроме лиственницы) и рассеянносудистых лиственных пород (береза, осина, бук), имеющих хорошую проницаемость, давление внутри материала превышает наружное очень незначительно. Перепад давления ( $\Delta P$ ) составляет 0,01...0,015 МПа. При сушке древесины твердых пород (лиственница, дуб) с малопроницаемой капиллярной структурой этот перепад может достигать до 0,15 МПа.

Характер кривой изменения влажности показывает, что интенсивное испарение влаги начинается уже в периоде прогрева. В первом периоде сушки скорость процесса в связи с заглублением границы выпаривания несколько снижается, а во втором периоде быстро убывает.

При высокотемпературной сушке действуют одновременно все три движущие силы переноса влаги, но направление и относительная эффективность их на разных стадиях процесса различны. В первом периоде сушки решающее значение имеет молярный перенос влаги под действием избыточного давления, который существенно интенсифицирует процесс. Влагопроводность и термовлагопроводность здесь действуют в противоположных направлениях, а их суммарный эффект незначителен. Во втором периоде роль молярного влагопереноса резко снижается. Основную роль играет влагопроводность.

Скорость сушки при высокотемпературном процессе по сравнению с низкотемпературным в 2...5 раз выше.

## § 22. Напряжения в древесине при сушке

Из анализа механизма процессов сушки следует, что влага по объему материала распределена неравномерно. На всем протяжении процесса влажность внутренних слоев выше влажности слоев, лежащих ближе к поверхности. Это приводит к неравномерной по объему усушке материала, которая и является причиной образования в древесине сушительных напряжений.

Рассмотрим, как возникают и развиваются в древесине сушительные напряжения. Чтобы несколько упростить такое рассмотрение, будем полагать, что усушка в тангенциальном и радиальном направлении одинакова, а перемещение влаги в материале происходит только по его толщине. Это позволит изобразить кривые распределения влажности в плоскости поперечного сечения высушиваемого сортимента.

На рис. 5.3, *a* показаны кривые распределения влажности по толщине для наиболее характерных моментов процесса: 0 — начало сушки; 1 — влажность поверхностных слоев опустилась ниже предела насыщения клеточных стенок  $W_{\text{н.н}}$ , а внутри сортимента еще содержится свободная влага; 2 — влажность по всему сечению стала ниже  $W_{\text{н.н}}$ , но еще наблюдается существенный перепад влажности по толщине; 3 — окончание процесса, когда влажность стала по всему сечению приблизительно одинаковой, близкой к равновесной влажности.

В начальный момент усушка и напряжения в материале отсутствуют. Через некоторое время влажность поверхностных слоев опустится ниже  $W_{\text{н.н}}$  (момент 1), что ведет к их усушке. Однако она не может полностью проявиться вследствие противодействия внутренних слоев, усушка которых еще не началась. Начавшуюся усушку можно выявить, если из высушиваемого сортимента выпилить по всему поперечному сечению пластинку (секцию) и разделить ее на ряд слоев по толщине (рис. 5.3, *b*). Сделав это, можно увидеть, что внутренние слои сохранили первоначальный размер по ширине доски  $b_0$ , а поверхностные слои усохли на величину  $U_n$  и в свободном состоянии приняли свой номинальный (соответствующий их влажности) размер  $b_n$ . Целая, неразрезанная секция имеет действительную ширину  $b_n$  меньше  $b_0$ , но больше  $b_n$ . Так как действительный размер поверхностных слоев больше их номинального, они испытывают напряжения растяжения, а внутренние слои, действительный размер которых меньше первоначального  $b_0$  испытывают напряжения сжатия.

Напряжения, которые возникают без приложения внешних нагрузок, всегда уравниваются в пределах данного тела. Чтобы обнаружить их, нужно нарушить это равновесие, разделив образец на части. Каждая такая часть будет стремиться к новому равновесному состоянию, что возможно только за счет ее деформации. В секции, разрезанной на тонкие слои по схеме рис. 5.3, *b*, деформации проявляются в виде укорочения или удлинения слоев. В секции, распиленной или расколотой на небольшое число

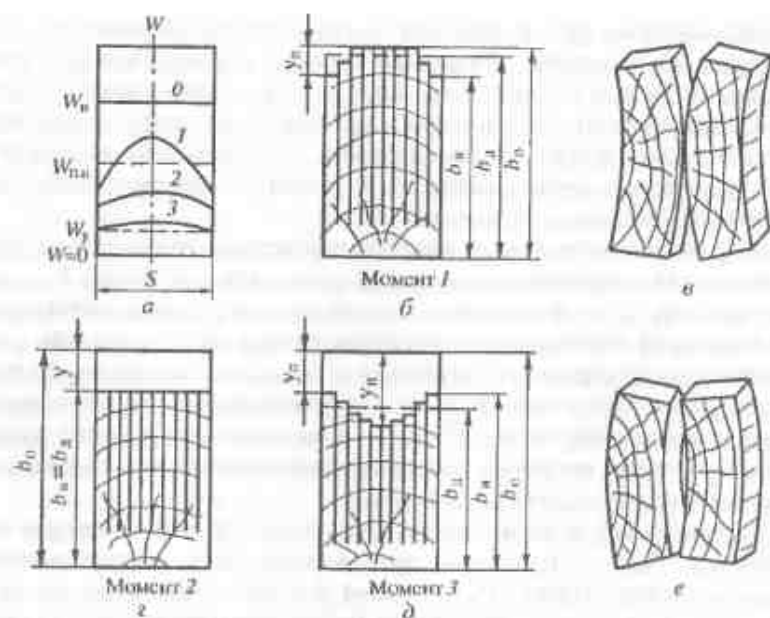


Рис. 5.3. Схемы к развитию деформаций и напряжений в древесине при сушке: а — кривые распределения влажности по толщине пластины в моменты 0—3 процесса сушки; б, с, д — сечения, раскоренные на тонкие слои; е, е' — сечения, раскоренные на толстые слои

толстых пластинок, например пополам (схема рис. 5.3, в), эти деформации будут носить характер изгиба.

Если бы древесина была идеально упругим материалом, то напряжения, появившиеся в ней в первой стадии процесса, по мере снижения перепада влажности  $\Delta W$  постепенно уменьшались и исчезли бы при  $\Delta W \rightarrow 0$ . Фактически напряжения в древесине исчезают на некотором промежуточном этапе процесса (момент 2; форма сечения рис. 5.3, с), а затем в конце сушки возрастают, изменив свой знак. Причина этого — развитие в древесине остаточных деформаций.

В начальной стадии процесса, когда влажная нагретая древесина обладает повышенной пластичностью, в поверхностных слоях под влиянием действующих в них растягивающих напряжений возникают остаточные деформации удлинения, а во внутренних слоях, наоборот, остаточные деформации укорочения. Эти деформации сохраняются на всем протяжении процесса. Происходит это потому, что с понижением влажности повышает-

ся модуль упругости древесины, ее жесткость возрастает, а остаточные деформации фиксируются и становятся упругими. В результате к концу процесса (момент 3) усадка на поверхности  $U_n$  окажется меньше, чем усадка внутри сортамента  $U_w$ . Размер поверхностных слоев (схема рис. 5.3, д) будет больше размера внутренних слоев, и в древесине, следовательно, появятся сжимающие напряжения снаружи и растягивающие напряжения внутри. Сечение, разрезанное или расколотое на две части, будет в этом случае деформироваться согласно схеме рис. 5.3, е. Если напряжения в той или иной точке по объему сортамента превысят предел прочности, произойдет разрушение материала. Предел прочности древесины при растяжении поперек волокон значительно меньше, чем при сжатии. Поэтому разрушение проявляется в виде разрыва волокон (растрескивания) в зоне действия растягивающих напряжений, т. е. в первой стадии процесса на поверхности, а в конечной стадии — внутри сортамента.

Совершенно избежать в древесине сушильных напряжений при конвективной сушке невозможно. Процесс сушки следует вести таким образом, чтобы возникающие напряжения не превосходили предела прочности.

Напряжения могут быть значительно уменьшены и даже ликвидированы увлажнением древесины поверхностных слоев сортамента в конце сушки. Такое увлажнение, с одной стороны, повышает пластичность древесины, а с другой — вызывает ее разбухание и возникновение дополнительных сжимающих напряжений на поверхности. Под действием суммарных сжимающих напряжений развиваются остаточные деформации укорочения, которые компенсируют (гасят) ранее появившиеся остаточные деформации удлинения.

Этот эффект можно получить, если древесину достаточно длительное время выдерживать в воздухе, имеющем повышенную степень насыщения сушильного агента. Такая операция называется кондиционированием. Степень насыщенности сушильного агента устанавливается на уровне, который соответствует равновесной влажности, равной влажности древесины, увеличенной на 3...5%. Кондиционирование обычно назначается в конце процесса. При сушке толстых пиломатериалов и, особенно, из древесины твердых пород его проводят дополнительно, в момент перемены знака напряжений. Кроме того, при кондиционировании проходит выравнивание влажности по толщине сортамента.

Для квалифицированного ведения процесса сушки необходимо уметь контролировать сушильные напряжения в древесине.

Качественная их оценка может быть произведена по изгибу пластинок расколотой секции (см. рис. 5.3) или путем выпилки специальных секций. Подробно методика такого контроля будет рассмотрена в гл. 9, посвященной технологии камерной сушки пиломатериалов.

При рассмотрении условий возникновения и развития сушильных напряжений в древесине не учитывалась анизотропия ее строения. В производственных сортаментах, помимо напряжений, вызванных перепадом влажности, возникают дополнительные напряжения, которые появляются из-за различной усушки материала в разных направлениях. Величина и распределение этих напряжений зависят от характера расположения годичных колец по сечению и объему сортамента.

В досках чисто радиальной распиловки дополнительных напряжений почти не возникает. В досках тангенциальной распиловки их лицевая (более удаленная от центра годичных колец) пласть, направление которой приближается к тангенциальному, усыхает больше задней пласти, направление которой ближе к радиальному. От этого нарушается симметричность сушильных напряжений, появляется внешний изгибающий момент, и доска изменяет свою форму (коробится).

Для предупреждения коробления необходимы специальные меры, о которых будет сказано ниже.

При сушке круглых сортиментов или брусьев, содержащих сердцевинную трубку, относительная усушка их по периметру оказывается больше относительной усушки по радиусу. Появляются дополнительные напряжения, растяжения в поверхностных и сжатия в центральных зонах сортамента. Они возникают независимо от перепада влажности. В первой стадии процесса эти дополнительные напряжения суммируются с влажностными напряжениями, имеющими тот же знак. Результирующие напряжения в поверхностных слоях для большинства сортиментов достигают величины, которая превышает предел прочности. Это вызывает появление радиальных трещин даже при очень медленном и осторожном ведении процесса.

### § 23. Принципы построения режимов сушки

Древесину необходимо сушить таким образом, чтобы были обеспечены требуемое качество высушенного материала и одновременно минимальные сроки сушки. Для этого в процессе суш-

ки того или иного древесного материала по особому расписанию изменяется состояние сушильного агента (его температуру и степень насыщенности), или, иными словами, сушка ведется 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 ( $W_{п.н} - W_n$ ), что достигается выдержкой в сушильном агенте с высокой степенью насыщения ( $\phi$ ).

По мере высыхания древесины величину  $\phi$  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 понижающей степенью насыщения и повышающей температурой агента в ходе сушки.

Режимы сушки шпона и измельченной древесины имеют иную структуру. Технология изготовления фанеры и древесностружечных плит не предъявляет жестких требований в отношении целостности высушенных листов или частиц. Режимы сушки должны обеспечивать минимальную продолжительность процесса при сохранении химических свойств и микроструктуры древесины. В этом случае рациональными будут высокотемпературные режимы, в которых температура в ходе сушки понижается.

Это объясняется следующим. В начале сушки, когда материал сырой, повышенная температура среды (200...500 °С) существенно интенсифицирует испарение влаги. Однако температура древесины, пока в ней содержится свободная влага, не может подняться выше температуры точки кипения воды (100 °С), и в древесине не происходит никаких химических изменений. По мере высыхания, когда начинает удаляться связанная влага и температура материала стремится к температуре среды, последняя должна быть снижена (до 120...180 °С) во избежание химического разложения или загорания древесины.

Конкретные режимы сушки для различных материалов будут рассмотрены в гл. 9, 11—14 учебного пособия.

## Контрольные вопросы

1. Какими физическими явлениями характеризуется процесс сушки древесины?
2. Дайте классификацию способов сушки древесины.
3. Каковы основные причины движения воды в древесине?
4. Назовите особенности низкотемпературного процесса сушки. Выделите основные стадии этого процесса.
5. Дайте характеристику высокотемпературного процесса сушки. Каковы условия, необходимые для протекания этого процесса?
6. Какова причина возникновения и развития в древесине сушильных напряжений при сушке?
7. Какова причина возникновения напряжений сжатия на поверхности материала в конце сушки?
8. С какой целью проводится кондиционирование?
9. Что называется режимом сушки?
10. В чем состоят особенности режимов сушки пиломатериалов, шпона и измельченной древесины?

## Глава 6

## КЛАССИФИКАЦИЯ СУШИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ. ТЕПЛОВОЕ И ЦИРКУЛЯЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### § 24. Классификация сушильных устройств

Сушильные устройства (сушилки) подразделяют на конвективные, жидкостные, кондуктивные, диэлектрические и радиационные.

Наибольшее распространение имеют конвективные сушилки, которые применяются во всех отраслях промышленности, где требуется высушивать тот или иной материал.

Они классифицируются по ряду признаков. Основными из них являются: конструктивное оформление сушилки, характер применяемого сушильного агента, кратность циркуляции сушильного агента (т. е. его движения по материалу), принцип действия сушилки.

По конструктивному оформлению число применяемых в технике типов сушилок очень велико. В деревообрабатывающей промышленности используются:

- камерные сушилки, которые представляют собой помещения (камеры), куда высушиваемую древесину, в основном пиломатериалы, загружают штабелями или пакетами;
- роликовые сушилки, в которых материал (шпон, тонкие доски, плиты) перемещается через сушильное пространство роликовыми конвейерами;
- барабанные сушилки, основным элементом которых является пустотелый барабан, при прохождении через который измельченная древесина (опилки, стружка, щепа) высушивается при ее перемешивании;

- пневматические сушилки, работающие по принципу сушки материала, движущегося в потоке воздуха или газа; применяются для сушки измельченной древесины;
- ленточные сушилки, материал через которые перемещается при помощи ленточного сетчатого транспортера; находят применение для сушки шпона, мелких сортиментов и измельченной древесины, особенно в тех случаях, когда недопустимо ее дополнительное измельчение или изменение формы.

По виду сушильного агента конвективные сушилки подразделяют на три группы:

- воздушные сушилки, агентом сушки в которых является воздух;
- газовые сушилки, где в качестве сушильного агента используются смеси топочного газа с воздухом;
- сушилки, действующие перегретым паром, агентом сушки в которых служит перегретый пар атмосферного или пониженного давления (вакуумные сушилки).

По кратности циркуляции сушильного агента различают сушилки с однократной и многократной циркуляцией.

В сушилке с однократной циркуляцией сушильный агент после прохождения через высушиваемый материал полностью выбрасывается в атмосферу. В сушилке с многократной циркуляцией он удаляется лишь частично. Основной же объем воздуха или газа проходит через штабель или слой материала многократно.

По принципу действия сушильных устройств различают сушилки периодического и непрерывного действия.

Сушилки периодического действия работают по принципу периодического чередования сушильных циклов, каждый из которых складывается из полной загрузки сушилки материалом, собственно сушки и полной его выгрузки из сушилки.

В сушилках непрерывного действия процесс сушки протекает непрерывно; материал загружается в сушилку, транспортируется через нее без прерывания сушки и выгружается из сушилки либо непрерывно, либо порциями.

Расход тепловой энергии на сушку древесины доходит до 80 % общих энергетических затрат деревообрабатывающих производств. В современных условиях дефицита источников энергии экономичность сушилок приобретает особое значение. Для оценки их экономичности необходимо уметь рассчитывать расход тепловой энергии на сушку и, в частности, на испарение влаги из материала.

При определении расхода тепла на испарение влаги учитываются только те затраты, которые сообщаются сушильному агенту от нагревательных устройств. Поэтому, например, процесс сушки древесины атмосферным воздухом без его подогрева происходит при нулевом расходе тепла.

Процесс сушки в той или иной сушилке характеризуется ее принципиальной схемой, которая определяет направление газового потока относительно материала, нагревательных и воздухообменных устройств, графиком изменения состояния сушильного агента на  $Id$ -,  $Ida$ - или  $is$ -диаграммах и расходом тепла на испарение влаги. Число принципиальных схем относительно невелико, поскольку они определяются только видом сушильного агента и кратностью циркуляции. Рассмотрим важнейшие из них.

## § 25. Воздушные конвективные сушилки

Для обеспечения нормальной работы сушильного устройства необходимо, чтобы состояние сушильного агента на входе в высушиваемый материал (штабель пиломатериалов, слой измельченной древесины, ряд листов шпона) было постоянным и соответствовало заданному режиму сушки. Проходя через высушиваемый материал, сушильный агент изменяет свое состояние, после чего его необходимо либо полностью удалить из сушилки, либо вновь подать к материалу. В последнем случае его первоначальное состояние восстанавливается с помощью нагревательных и воздухообменных устройств.

В воздушной сушилке с однократной циркуляцией принципиальная схема весьма проста (рис. 6.1, а). Свежий атмосферный воздух в состоянии  $\theta$  подается в нагревательное устройство. Как правило, таким устройством служит водяной или паровой калорифер. Процесс нагревания воздуха в нем изображается на  $Id$ -диаграмме отрезком  $\theta-1$  ( $d = \text{const}$ ). Далее воздух проходит через высушиваемый материал; в результате испарения влаги его параметры изменяются до состояния  $2$ ; процесс проходит при постоянном теплосодержании и изображается отрезком прямой  $1-2$ . Отработавший воздух (состояние  $2$ ) полностью удаляется в атмосферу.

Особенность этой схемы заключается в том, что параметры воздуха при входе в материал могут быть изменены только в пре-

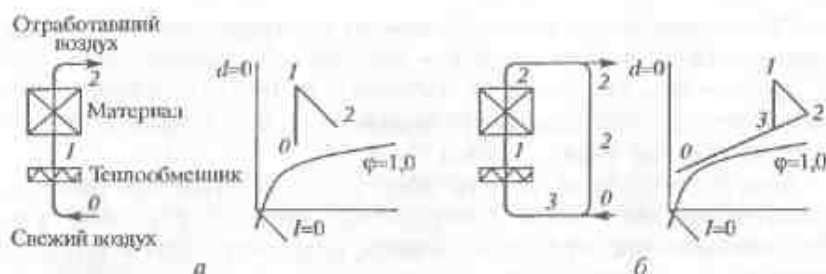


Рис. 6.1. Принципиальные схемы и графики процесса на  $I$ - $d$ -диаграмме воздушных сушилок с однократной (а) и многократной (б) циркуляцией

делах отрезка прямой  $\theta-I$ , что ограничивает возможности широкого регулирования процесса. Чтобы обеспечить эффективность ее применения, состояние 2 должно характеризоваться высокой степенью насыщенности ( $\varphi = 0,8 \dots 1,0$ ). В промышленности практически не используется.

Воздушная сушилка с многократной циркуляцией (рис. 6.1, б) работает следующим образом. Воздух в состоянии 1 поступает в материал. Испаряя влагу, он приобретает состояние 2. Отработавший воздух удаляется в атмосферу только частично. Значительная же часть его смешивается со свежим воздухом 0, подаваемым в сушилку. Этот процесс изображается на  $I$ - $d$ -диаграмме отрезком  $\theta-2$ . Полученная смесь 3 нагревается в калорифере до первоначального состояния 1, с которым воздух поступает в высушиваемый материал для повторного цикла.

В сушилках с многократной циркуляцией возможно очень гибко регулировать процесс сушки. Состояние воздуха, поступающего в слой или штабель материала, может изменяться в очень широких пределах за счет степени нагрева воздуха в калорифере и кратности воздухообмена. Рассмотренная схема применяется в большинстве воздушных сушилок.

Расход тепла на испарение влаги в воздушных сушилках определяется следующим образом. Предположим, что состояние свежего воздуха (см. рис. 6.1) характеризуется теплосодержанием  $I_0$  и влагосодержанием  $d_0$ , а отработавшего воздуха — соответственно,  $I_2$  и  $d_2$ . Один килограмм воздуха (по массе его сухой части), проходя через сушилку, поглощает  $(d_2 - d_0)$  г влаги. Количество воздуха, необходимого для удаления из сушилки 1 кг влаги, составляет  $1000/(d_2 - d_0)$  кг.

В свою очередь, приращение теплосодержания, т. е. количество тепла, затраченного на подогрев этого килограмма воздуха,

равно  $(I_2 - I_0)$  кДж/кг. Таким образом, удельный расход тепла на испарение влаги  $q_{\text{исп}}$  кДж/кг влаги, в сушилке составит

$$q_{\text{исп}} = 1000 \frac{I_2 - I_0}{d_2 - d_0}. \quad (6.1)$$

Существенный недостаток воздушных сушилок состоит в том, что в атмосферу с отработавшим воздухом полностью выбрасывается все то количество тепловой энергии ( $q_{\text{исп}}$ ), которое затрачено на испарение воды из древесины.

Этого недостатка частично можно избежать в воздушных сушилках, оборудованных рекуператорами. Они служат для подогрева свежего воздуха (рис. 6.2, отрезок  $\theta-0'$ ), поступающего в камеру, за счет тепла отработавшего сушильного агента ( $2-2'$ ).

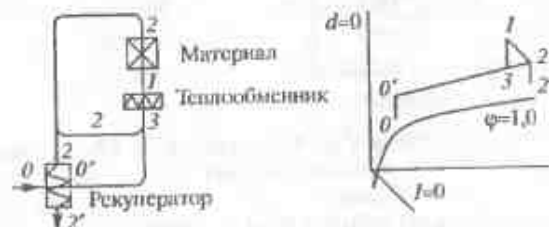


Рис. 6.2. Воздушная сушилка, снабженная рекуператором

В результате расход тепла на испарение уменьшается на величину

$$\Delta q_{\text{исп}} = 1000 (I_{0'} - I_0) / (d_2 - d_0). \quad (6.2)$$

Рекуператоры представляют собой теплообменные аппараты поверхностного типа, передача тепла в которых производится через стенку, разделяющую газовые потоки по схеме перекрестного тока или противотока.

Наибольшая экономия тепла имеет место зимой при сушке пиломатериалов при невысокой температуре ( $40 \dots 55$  °C), а наименьшая — летом и при сушке повышенной температурой воздуха. Максимальная экономия тепловой энергии, затраченной на испарение, не превышает 20 %.

В существенно большей степени (до 70 %) обеспечивается возврат тепловой энергии, расходуемой на испарение, в конденсационных сушилках. Они также относятся к воздушным конвек-

тивными сушилкам, но отличаются тем, что снабжены тепловыми насосами. Наибольшее распространение в лесосушильной технике получили тепловые компрессионные насосы, хладагентом в которых служит фреон. Принципиальная схема и график процесса на  $Id$ -диаграмме такой сушилки представлены на рис. 6.3.



Рис. 6.3. Принципиальная схема и график процесса на  $Id$ -диаграмме конденсационной сушилки

Часть отработанного сушильного агента (состояние 2) поступает в испаритель теплового насоса, где он охлаждается (отрезок 2—3) и обезвоживается в результате конденсации (3—4), содержащихся в нем водяных паров. Конденсат удаляется из камеры. Осушенный воздух (состояние 4) нагревается до состояния 5 в конденсаторе теплового насоса за счет тепла, выделившегося при конденсации хладагента. Далее он смешивается с остальной частью циркулирующего агента состояния 2. Полученная смесь (состояние 6) перед поступлением в высушиваемый материал дополнительно нагревается в калорифере до заданной температуры (состояние 1). Тепловой насос, таким образом, работает с закрытым циркуляционным контуром. Тепловая энергия воздуха, переданная хладагенту в его испарителе, возвращается обратно в конденсаторе. В камере полностью отсутствует воздухообмен с окружающей средой.

Расход тепла на испарение в конденсационных сушилках существенно ниже, чем в обычных сушильных камерах:

$$q_{\text{исп}} = \frac{r_0}{\eta_n} + c_p t_{\text{к}} \quad (6.3)$$

где  $\eta_n$  — коэффициент преобразования, равный 2,5...3,5; зависит от типа теплового насоса и хладагента;

$t_{\text{к}}$  — температура конденсата, отводимого из сушилки.

Он составляет 0,24...0,32 кВт · ч/кг воды. Для сравнения: расход тепла на испарение в воздушных сушилках колеблется в пределах от 0,75 до 1,2 кВт · ч/кг. Таким образом, расход тепла на испарение может быть снижен в 2,5...5 раза.

## § 26. Газовые сушилки

Газовые сушилки с однократной циркуляцией работают без калориферов. Основным тепловым устройством в них является топка, топочный газ из которой вводится непосредственно в сушилку. Схема сушилки с однократной циркуляцией и график процесса в ней показаны на рис. 6.4, а. Газ, выходящий из топки в состоянии  $T$ , смешивается с атмосферным воздухом  $\theta$  (линия смешения  $\theta$ — $T$  на  $Ida$ -диаграмме совпадает с линией постоянной влажности топлива  $W = \text{const}$ ). Полученная смесь 1 направляется в слой высушиваемого материала и испаряет из него влагу (линия испарения 1—2). Отработавшая смесь 2 полностью выбрасывается в атмосферу.

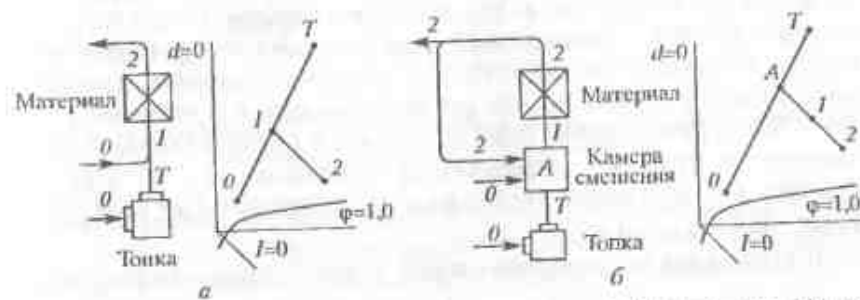


Рис. 6.4. Принципиальные схемы и графики процесса на  $Ida$ -диаграмме газовых сушилок с однократной (а) и многократной (б) циркуляцией

В сушилках, работающих по этой схеме, отсутствует возможность широкого регулирования процесса. Состояние газовой смеси, вступающей в соприкосновение с материалом, ограничено точками, лежащими на линии смешения  $\theta$ — $T$ .

Газовая сушилка с многократной циркуляцией, как видно из схемы (рис. 6.4, б), имеет дополнительное устройство, так назы-

васмую камеру смешения. В этой камере одновременно смешиваются атмосферный воздух, газ из топки и отработавшая смесь. Этот процесс можно рассматривать как два последовательных процесса: первый — смешивание топочного газа со свежим воздухом и второй — добавление в полученную смесь отработанного сушильного агента.

График процесса на  $I_d\alpha$ -диаграмме выглядит следующим образом. Топочный газ  $T$  смешивается со свежим воздухом  $\theta$  (линия смешения  $\theta-T$ ). Получается смесь  $A$ , к которой добавляется отработавший сушильный агент  $2$  (линия смешения  $A-2$ ). В результате образуется рабочая газовая смесь  $1$ , направляемая к материалу. В процессе испарения влаги состояние этой смеси изменяется по линии  $1-2$ . Для устойчивого восстановления состояния рабочей смеси точки  $A$  и  $1$  должны обязательно располагаться на одной линии  $I = \text{const}$ . Точка  $1$ , показывающая результат смешения  $A-2$ , в то же время означает начало процесса испарения  $1-2$ , который характеризуется постоянством теплосодержания.

В газовых сушилках с многократной циркуляцией возможно широкое регулирование состояния сушильного агента путем изменения пропорций смешения подводимой к материалу газовой смеси.

Расход тепла на испарение влаги определяется на основании тех же соображений, что и для воздушных камер. В частности, в газовой сушилке с однократной циркуляцией свежий воздух подается как в топку, где он участвует в процессе горения топлива, так и в камеру смешения, где он подмешивается к топочным газам. Общее приращение теплосодержания газовой смеси  $I$ , подаваемой в сушилку, определяется разностью  $(I_2 - I_0)$  кДж/кг (см. рис. 6.4, а). Расход этой смеси на испарение 1 кг влаги составит  $1000/(d_2 - d_1)$  кг.

Расход тепла на испарение влаги в этой сушилке будет равен

$$q_{\text{исп}} = 1000 \frac{I_2 - I_0}{d_2 - d_1}. \quad (6.4)$$

В газовой сушилке с многократной циркуляцией (рис. 6.4, б) для процесса собственно сушки используется смесь в состоянии  $A$ . Тогда

$$q_{\text{исп}} = 1000 \frac{I_2 - I_0}{d_2 - d_A}. \quad (6.5)$$

## § 27. Сушилки, действующие перегретым паром

В этих сушилках (преимущественно автоклавного типа) используется только многократная циркуляция сушильного агента. В прошлые годы некоторое распространение получили сушилки пиломатериалов, действующие перегретым паром атмосферного давления. Однако, как отмечалось выше (§ 10), сушка древесины в них (при температуре 110...120 °С) приводит к существенному снижению ряда ее прочностных показателей. В настоящее время в нашей стране она не применяется. Распространение получает вакуумная конвективная сушка пиломатериалов, процесс в которой проходит при существенно более низкой температуре, не приводящей к снижению прочностных показателей древесины.

На рис. 6.5 представлена принципиальная схема вакуумной сушилки, действующей перегретым паром, и график процесса в ней на  $is$ -диаграмме водяного пара.

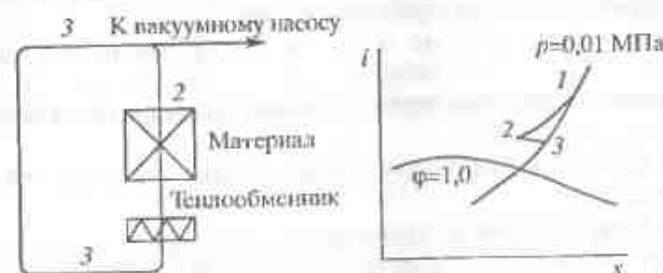


Рис. 6.5. Принципиальная схема вакуумной сушилки, действующей перегретым паром, и график процесса на  $is$ -диаграмме

Перегретый пар при давлении 0,01...0,02 МПа (глубина вакуума 0,09...0,08 МПа), заполняющий пространство сушильной камеры, непрерывно циркулирует в ней, проходя поочередно через калорифер и штабель с материалом. Циркулирующий пар заходит в штабель в состоянии  $1$ . В штабеле его температура вследствие испарения влаги уменьшается, а давление несколько повышается. После выхода из штабеля пар в состоянии  $2$  частично (в количестве, равном массе испаренной из древесины влаги) удаляется вакуумным насосом, после чего его давление вновь становится равным первоначальному (точка  $3$ ). Далее пар снова попадает в калорифер, где нагревается при постоянном давлении (отрезок  $3-1$ ) до первоначального состояния  $1$ . Нужно отметить,

что повышение давления циркулирующего пара в штабеле очень невелико, и поэтому в обычном масштабе  $i$ -диаграммы точки 2 и 3 можно считать практически совпадающими.

В сушилках, действующих перегретым паром, свежий воздух в сушильное пространство не вводится. Испаренная же из материала влага удаляется из сушильного пространства не в смеси с воздухом или газом, а в виде чистого перегретого пара состояния 2 (см. рис. 6.5). В этом случае расход тепла на испарение влаги будет равен теплосодержанию удаляемого пара:

$$q_{\text{исп}} = i_n \quad (6.6)$$

## § 28. Расчет расхода тепла на сушку

Расход тепла на сушку в основном складывается из затрат тепла на испарение влаги из материала, на его прогрев и компенсацию тепловых потерь через ограждения.

Задача расчета расхода тепла на сушку сводится к определению:

- удельного расхода тепла, отнесенного на один килограмм испаренной влаги;
- удельного расхода тепла, отнесенного на один кубометр древесины;
- тепловой мощности сушилки.

Расчет удельного расхода тепла на сушку  $q_{\text{суш}}$ , отнесенного на один килограмм испаренной влаги, кДж/кг влаги:

$$q_{\text{суш}} = (q_{\text{исп,р}} + q_{\text{пр}} + q_{\text{огр}}) \cdot 1,15, \quad (6.7)$$

где  $q_{\text{исп,р}}$  — расчетный удельный расход тепла на испарение;

$q_{\text{пр}}$  — удельный расход тепла на прогрев материала;

$q_{\text{огр}}$  — удельный расход тепла на компенсацию тепловых потерь через ограждения;

1,15 — коэффициент, характеризующий не учитываемые теоретическим расчетом дополнительные затраты тепла (нагрев транспортных средств, нагрев ограждений и пр.).

Этот показатель используется в технико-экономических расчетах при определении расходов на сушку и рассчитывается для среднегодовых условий. Кроме того, он определяется по зимним условиям для последующего установления тепловой мощности камер непрерывного действия.

По уравнениям (6.1—6.6) определяется полный расход тепла на испарение влаги, включающий скрытую теплоту парообразования, нагрев свежего воздуха (если он вводится в сушилку) и подогрев воды в древесине. Поскольку расход тепла на нагревание древесины (включая воду) рассчитывается отдельно, то из расхода тепла на испарение следует вычесть то количество тепла, которое пошло на нагревание этой воды до некоторой температуры  $t_w$ :

$$q_{\text{исп,р}} = q_{\text{исп}} - c_w t_w \quad (6.8)$$

Удельный расход тепла на нагревание  $q_{\text{пр}}$  находится по отношению

$$q_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр,м}^3}}{M_{\text{м}^3}}, \quad (6.9)$$

где  $Q_{\text{пр,м}^3}$  — расход тепла на прогрев единицы объема древесины, кДж/м<sup>3</sup>, определяется так же, как при тепловой обработке (см. § 24).

$M_{\text{м}^3}$  — количество влаги, испаряемой из 1 м<sup>3</sup> древесины.

В свою очередь,  $M_{\text{м}^3}$ , кг/м<sup>3</sup>, рассчитывается по выражению

$$M_{\text{м}^3} = \rho_B \frac{W_{\text{моч}} - W_{\text{веш}}}{100} \quad (6.10)$$

Удельный расход тепла на компенсацию тепловых потерь  $q_{\text{огр}}$  составляет

$$q_{\text{огр}} = \frac{Q_{\text{огр}}}{M_{\text{сек}}}, \quad (6.11)$$

где  $Q_{\text{огр}}$  — тепловые потери через ограждения, кВт; определяют, как и в устройствах для тепловой обработки (уравнение 4.17);

$M_{\text{сек}}$  — масса влаги, испаряемой в сушилке в секунду.

Масса влаги, удаляемой из высушиваемого материала в единицу времени, кг/с, определяется по формуле

$$M_{\text{сек}} = \frac{M_{\text{м}^3} E}{3600 \tau}, \quad (6.12)$$

где  $E$  — вместимость сушилки, выраженная в количестве высушиваемого материала, м<sup>3</sup>, за время  $\tau$ ;

$\tau$  — продолжительность процесса сушки, ч.

Удельный расход тепла на сушку, отнесенный на один кубометр высушиваемой древесины  $Q_{м,1}$ , кДж/м<sup>3</sup>, равен

$$Q_{м,1} = q_{суш} M_{м,1}. \quad (6.13)$$

Этот показатель находит применение при расчете себестоимости процесса сушки. Вычисления ведутся для среднегодовых условий.

Тепловая мощность сушилки определяется в зависимости от принципа действия и особенностей ее работы для зимних условий.

**Сушилки периодического действия.** Сушка и прогрев материала в них осуществляется раздельно. Расчет тепловой мощности сушилки обычно ведется по расходу тепловой энергии в процессе собственно сушки. Это объясняется тем, что, например, при расчете по расходу энергии в период прогрева получаются существенно завышенные мощности, их значение выше, чем это требуется для сушки, что, в конечном итоге, приводит к неоправданно повышенным капитальным вложениям.

Тепловая мощность сушилки  $Q_c$ , кВт, рассчитывается по выражению (для условий зимнего периода)

$$Q_c = (q_{исп,р} + q_{окр}) M_{сек} \cdot 1,15. \quad (6.14)$$

Если сушилка имеет рекуператор, то в расчете учитывается снижение расхода тепла на испарение в соответствии с уравнением (6.2).

При необходимости продолжительность прогрева  $\tau_{пр}$ , ч, находится по уравнению:

$$\tau_{пр} = \frac{Q_{пр,м^3} \cdot E}{3600 \cdot Q_c}. \quad (6.15)$$

Необходимая дополнительная мощность  $Q_{доп}$  калориферов в конденсационных сушилках с тепловым компрессорным насосом (§ 25) равна:

$$Q_{доп} = Q_c - N_{тн}, \quad (6.16)$$

где  $N_{тн}$  — мощность теплового насоса, определяемая по каталогу в зависимости от его производительности по влаге (л/ч).

Фактическая дополнительно установленная мощность  $Q_{ф,доп}$  обычно превышает расчетную в 4...6 раз. Это находит объяснение в том, что в период прогрева материала необходимо иметь повышенную мощность теплообменника.

В *сушилках непрерывного действия* нагревание материала и его сушка проходят одновременно. Их тепловая мощность в таком случае равна (расчет ведется для зимних условий)

$$Q_c = q_{суш} \cdot M_c. \quad (6.17)$$

## § 29. Классификация оборудования сушильных устройств

Оборудование сушилок по своему назначению может быть подразделено на пять основных групп: ограждения, транспортные устройства, тепловое, циркуляционное и воздухообменное оборудование.

**Ограждениями** называются устройства, которые отделяют сушильное пространство от окружающей среды. К ним относятся стены, перекрытия, полы, фундаменты, двери камер. Они сооружаются или из обычных строительных материалов (кирпич, ячеистый бетон, бетон, железобетон), или формируются из готовых деталей и панелей, облицованных металлом «сэндвич-панелей» и заполненных теплоизоляционным материалом.

**Транспортные устройства** — это машины и механизмы, предназначенные для формирования слоя, штабеля или пакета высушиваемого материала, для его загрузки в сушилку и выгрузки из нее, а также транспортировки. К ним относятся как общепромышленные грузоподъемные и транспортные механизмы, так и специальные устройства.

**Тепловое оборудование** предназначено обеспечивать тепловое снабжение сушилки. К этой группе оборудования относятся калориферы (теплообменники), конденсатоотводчики, водо-паропроводы, топки, запорно-регулирующая и контрольно-измерительная аппаратура.

**Циркуляционное оборудование** служит для создания организованной циркуляции сушильного агента в установке. Основными элементами этой группы являются вентиляторы.

**Воздухообменное оборудование** обеспечивает воздухообмен сушильной камеры с окружающей средой. Его роль обычно выполняют приточные и вытяжные каналы, которые работают, в основном, за счет давления, создаваемого циркуляционными вентиляторами.

В сушилках тепловое и циркуляционное оборудование монтируется из стандартных элементов. В учебной литературе по сушке

древесины эту группу оборудования принято изучать до рассмотрения конкретных конструкций сушилок. Ограждения, транспортное и воздухообменное оборудование специфичны для каждого типа сушилок, поэтому их целесообразно рассматривать при описании конструкций сушильных устройств определенного типа.

### § 30. Тепловое оборудование

**Калориферы.** Калориферами называются теплообменные аппараты, которые передают тепловую энергию от теплоносителя к сушильному агенту. Теплоносителем могут быть горячая вода, насыщенный водяной пар, топочные газы и некоторые органические жидкости, имеющие высокую температуру кипения.

В промышленных конвективных сушилках пиломатериалов используются преимущественно водяные калориферы, теплоносителем в которых является горячая вода. Реже применяют паровые (теплоноситель — насыщенный водяной пар) калориферы и электрические, в которых электрическая энергия эквивалентно преобразуется в тепловую, а теплоносителем служат проводники с высоким омическим сопротивлением.

Воздушные роликовые сушилки оборудуются, в основном, паровыми калориферами. Однако более перспективными для них являются теплообменники, в которых теплоносители — топочные газы или высококипящие органические жидкости (масла).

Тот или иной теплоноситель выбирается в зависимости от условий работы предприятия, на основании технико-экономических расчетов.

Современные сушилки имеют калориферы (воздухонагреватели) преимущественно заводского изготовления и общего назначения, которые предназначены для нагрева воздуха в системах вентиляции, воздушного отопления, кондиционирования и теплоснабжения. Теплопередающим элементом в калориферах служат оребренные биметаллические трубы. Они имеют высокий коэффициент теплопередачи, относительно долговечны (гарантийный срок службы от 6 до 11 лет в зависимости от металла трубы), хорошо ветраиваются в сушилки. Несущие трубы изготавливаются из углеродистой стали 10, 20, или легированной стали 12Х18Н10Т. Их оребрение выполняется путем спиральной накатки из алюминия или его сплавов, которые имеют удовлетворительную коррозионную стойкость в слабокислой среде ( $pH = 3..4$ ) сушильного агента.

По виду теплоносителя заводы изготавливают водяные и паровые калориферы, рассчитанные на давление до 1,2 МПа. В качестве примера на рис. 6.6 показано устройство водяного калорифера. Он состоит из пучка теплопередающих трубок 5, который подсоединен с противоположных концов к двум распределительным коробкам (коллекторам) 3, имеющим входной 6 и выходной 2 патрубки. Вода подается через нижний патрубок 6, в коллекторах 3 она распределяется по греющим трубкам 5 с помощью перегородок 1, передает тепловую энергию сушильному агенту, который движется перпендикулярно плоскости калорифера. Охлажденная вода удаляется через верхний патрубок 2. Поток сушильного агента через калорифер ограничен сверху и снизу щитками 4, а по бокам — коллекторами.

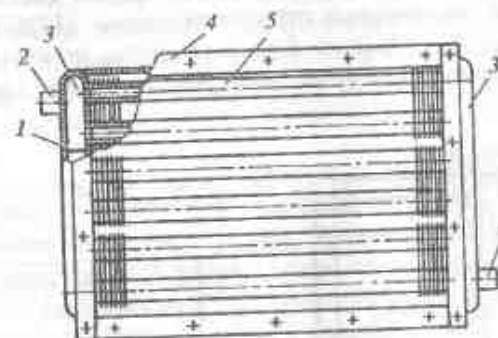


Рис. 6.6. Общий вид водяного калорифера: 1 — перегородки; 2 — выходной патрубок; 3 — коллектор; 4 — щиток; 5 — теплопередающие трубки; 6 — входной патрубок

Паровые калориферы изготавливаются только в одноходовом исполнении (рис. 6.7, а), с вертикальным расположением трубок, так, как это показано на примере. Водяные калориферы, при аналогичной конструкции, имеют многоходовое исполнение (рис. 6.7, б), которое реализуется путем установки перегородок в коллекторах. Трубки в них располагаются горизонтально, а патрубки — на одном или двух коллекторах в зависимости от числа ходов.

Одноходовые калориферы могут быть водяными. Воду следует подавать снизу вверх, при ее скорости движения не менее 0,25 м/с.

По ходу движения сушильного агента в калориферах может быть установлено от одного до четырех рядов труб.

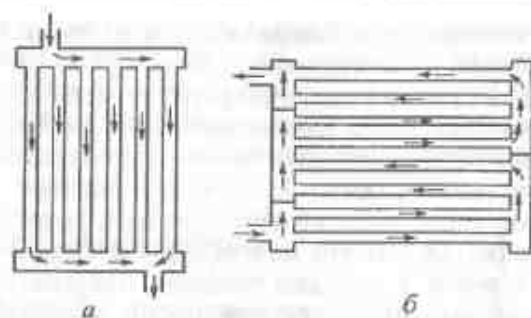


Рис. 6.7. Характер движения теплоносителя в одноходовом (а) и многоходовом (б) калориферах

Присоединительные размеры калориферов (воздухонагревателей) общего назначения стандартизованы (ГОСТ 7201—80). Эти размеры  $A$ ,  $A_1$  и  $L$  (рис. 6.8) в сечении, перпендикулярном движению воздуха, зависят от номера калорифера, они приведены в табл. 6.1.

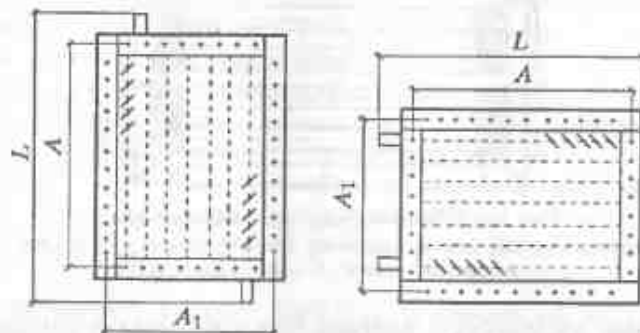


Рис. 6.8. Схемы паровых и водяных калориферов (ГОСТ 7201—80)

При подборе калориферов для конкретной сушилки необходимо знать их габаритные размеры, поверхность нагрева, площади фронтальных сечений по воздуху и теплоносителю, массу, диаметр патрубков. Кроме того, всегда требуется рассчитать коэффициент теплопередачи калорифера и его аэродинамическое сопротивление. Эти показатели устанавливаются заводами-изготовителями и приводятся в технических условиях и каталогах предприятий.

Ведущим предприятием страны по производству калориферов (воздухонагревателей) является Костромской калориферный

Таблица 6.1. Габаритно-присоединительные размеры калориферов согласно ГОСТ 7201—80

Обозначение размера	Номер калорифера			
	09	10	11	12
$A$	953	1203	1703	1703
$A_1$	551	551	1051	1551
$L$	1025	1275	1775	1775

Размер калориферов в направлении движения воздуха равен 180 мм

завод ([www.kkz.ru](http://www.kkz.ru)), который выпускает водяные и паровые калориферы, наиболее употребительные для сушилок.

Обозначение конкретного калорифера этого завода включает его сокращенное наименование (водяной — КСк, паровой — КПСк), цифру, показывающую число рядов труб, номер калорифера, регистрационный номер, климатическое исполнение, модификацию.

Воздухонагреватели имеют несколько иное обозначение: наименование (водяной — ВНВ, паровой — ВВП); далее цифры, которые характеризуют вид трубы, материал, из которого изготовлена несущая труба и ребра, количество рядов, номер воздухонагревателя, модификация, климатическое исполнение.

**Примеры.** Обозначение КСк3-8-02УЗБ читается так: калорифер водяной со спирально-накатными трубками; 3 — количество рядов трубок; 8 — номер калорифера; 02 — регистрационный номер; УЗ — климатическое исполнение; Б — модификация. Обозначение ВВП123-307-50АТЗ: воздухонагреватель паровой; 1 — трубы спирально-накатные; 2 — несущая труба из легированной стали; 3 — оребрение из алюминиевых сплавов; 3 — количество рядов трубок; 07 — номер воздухонагревателя; 50А — модификация; ТЗ — климатическое исполнение.

В последние годы завод начал выпуск по своим техническим условиям (ТУ) водяных калориферов базовой серии ТБЗ, характеристики которых наиболее пригодны для сушилок. Они отличаются малым аэродинамическим сопротивлением, повышенным коэффициентом теплопередачи, отсутствием боковых штыков, удобством монтажа. В настоящее время они установлены во многих десятках сушильных камер пилломатериалов, построенных по проектам профессора А. И. Расева.

Схема базового калорифера ТБЗ приведена на рис. 6.9, а техническая характеристика — в табл. 6.2.

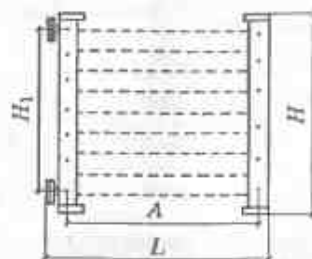


Рис. 6.9. Схема базового теплообменника ТБЗ

Таблица 6.2. Технические характеристики базовых калориферов модели ТБЗ

Обозначение	Число рядов труб	Габаритно-присоединительные размеры, мм				Площадь $F$ поверхности теплообмена, $m^2$	Площадь сечения $f$ для прохода теплоносителя, $m^2$	Площадь фронтального сечения $f_{фр}$ , $m^2$	Число ходов по греющему теплоносителю
		A	L	H	H <sub>1</sub>				
ТБЗ-10.10.01УЗ	1	876	1000	997	861	14,6	0,00163	0,826	4
ТБЗ-10.10.02УЗ		1703	1827			29,6			
ТБЗ-10.12.01УЗ		876	1000	1247	1109	18,4	0,00137	1,033	6
ТБЗ-10.12.02УЗ						37,3			
ТБЗ-10.15.02УЗ		1703	1827	1497	1365	45	0,00165	2,478	6
ТБЗ-10.20.02УЗ				1997	1869	60,4	0,00166	3,305	8
ТБЗ-15.10.01УЗ		1,5	876	1000	997	861	20,9	0,00234	0,826
ТБЗ-15.10.02УЗ	1703		1827	42,4			1,650		
ТБЗ-15.12.01УЗ	876		1000	1247	1109	27,2	0,00203	1,033	6
ТБЗ-15.12.02УЗ						55,3			
ТБЗ-15.15.02УЗ	1703		1827	1497	1365	65,5	0,00241	2,478	6
ТБЗ-15.20.02УЗ				1997	1869	88,7	0,00244	3,305	8

Окончание табл. 6.2

Обозначение	Число рядов труб	Габаритно-присоединительные размеры, мм				Площадь $F$ поверхности теплообмена, $m^2$	Площадь сечения $f$ для прохода теплоносителя, $m^2$	Площадь фронтального сечения $f_{фр}$ , $m^2$	Число ходов по греющему теплоносителю
		A	L	H	H <sub>1</sub>				
ТБЗ-20.10.01УЗ	2	876	1000	997	861	29,1	0,00326	0,826	4
ТБЗ-20.10.02УЗ		1703	1827			59,2			
ТБЗ-20.12.01УЗ		876	1000	1247	1109	36,8	0,00274	1,033	6
ТБЗ-20.12.02УЗ						74,6			
ТБЗ-20.15.02УЗ		1703	1827	1497	1365	90,0	0,00331	2,478	6
ТБЗ-20.20.02УЗ				1997	1869	120,8	0,00333	3,305	8

Тепловая мощность  $Q_c$ , кВт, калориферов конкретной сушки устанавливается по результатам расчетов, методика которых рассмотрена выше (§ 28). Из конструктивных соображений производится выбор типа калориферов, а из технико-экономического анализа — вид теплоносителя. После этого расчет сводится к определению площади теплообмена  $F$ ,  $m^2$ , калориферов и их числа.

$$F = \frac{Q_c}{K \Delta t \cdot 10^{-3}}, \quad (6.18)$$

где  $K$  — коэффициент теплопередачи,  $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ;

$\Delta t$  — температурный напор.

Коэффициент теплопередачи зависит от конструкции калорифера, вида теплоносителя, от параметров сушильного агента и скорости его движения. Его значения могут быть найдены по уравнениям, приводимым в курсе теплопередачи, или в заводских каталогах.

В качестве примера ниже приведены уравнения для расчета  $K$ ,  $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$ , для базовых калориферов ТБЗ (табл. 6.3).

Таблица 6.3. Коэффициенты теплопередачи калориферов ТБЗ

Марка теплообменника	Исполнение	$K$
ТБЗ-10...	4-ходовое	$K = 34,4(\omega p)_{\text{фр}}^{0,629} \cdot \omega_n^{0,127}$
ТБЗ-10...	6-ходовое	$K = 36,7(\omega p)_{\text{фр}}^{0,372} \cdot \omega_n^{0,304}$
ТБЗ-15...	4-ходовое	$K = 36,5(\omega p)_{\text{фр}}^{0,304} \cdot \omega_n^{0,112}$
ТБЗ-15...	6-ходовое	$K = 36,7(\omega p)_{\text{фр}}^{0,419} \cdot \omega_n^{0,102}$
ТБЗ-20...	4-ходовое	$K = 33,0(\omega p)_{\text{фр}}^{0,626} \cdot \omega_n^{0,127}$
ТБЗ-20...	6-ходовое	$K = 33,6(\omega p)_{\text{фр}}^{0,428} \cdot \omega_n^{0,113}$

$\omega_n$  — скорость потока воды в трубках калориферов, м/с.

$(\omega p)_{\text{фр}}$  — массовая скорость движения воздуха во фронтальном сечении (набегающем потоке), кг/(м<sup>2</sup>·с)

Температурный напор  $\Delta t$  для условий работы калориферов в сушильных установках определяется:

- для водяного теплоносителя как усредненный перепад температуры воды и сушильного агента на входе и выходе из теплообменника

$$\Delta t = \frac{(t_{n1} + t_{n2}) - (t_{c1} + t_{c2})}{2}, \quad (6.19)$$

где  $t_{n1}, t_{n2}$  — температура воды на входе и выходе из калорифера; разность  $t_{n1} - t_{n2}$  принимается равной 7...10 °С;

$t_{c1}, t_{c2}$  — температура сушильного агента на входе и выходе из калорифера; разность  $t_{c2} - t_{c1}$  может изменяться от 2 до 20 °С, в зависимости от принципа действия сушилки и ее конструкции;

- для водяного пара, при его температуре  $t_n$

$$\Delta t = t_n - (t_{c1} + t_{c2})/2. \quad (6.20)$$

**Системы увлажнения.** Для повышения степени насыщенности сушильного агента в сушилках, использующих водяной пар, прокладывают увлажнительные трубы, с помощью которых этот пар подают в сушильное пространство установки. Увлажнительные трубы монтируют из стальных труб диаметром 40...65 мм. В стенке трубы с шагом 300 мм высверливают отверстия диаметром 5 мм. Подача пара регулируется вентилем.

Сушилки, теплоносителем в которых является вода, снабжаются форсунками, распыляющими тонкодисперсную воду. Подаваемая в форсунки вода должна иметь по возможности минимальную жесткость. Для этого воду отстаивают в специальных баках (емкостью 0,3...1,0 м<sup>3</sup>). Из этих емкостей воду подают в форсунки насосами малой производительности, но высокого давления. Возможна также специальная подготовка воды. Прямая подача водопроводной воды в форсунки не рекомендуется. Она приводит к быстрому отложению солей, содержащихся в воде, в соплах форсунок и, как следствие, нарушению их работоспособности.

**Конденсатоотводчики.** Исходя из принципа действия парового калорифера назначение конденсатоотводчиков — пропускать конденсат, образовавшийся в калориферах, но не выпускать пар. Их устанавливают за калориферами на каждую самостоятельно работающую секцию. Применение нашли термостатические и термодинамические конденсатоотводчики.

**Водопроводы и паропроводы.** Их изготавливают из стандартных стальных труб. Выбор труб производится по условному проходу  $D_y$ , мм, регламентированному стандартом (ГОСТ 10704—76). Размеры труб даны в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Размеры стальных труб (сортамент по ГОСТ 10704—76. Параметры теплоносителя:  $P_y \leq 1,6$  МПа,  $t \leq 200$  °С)

$D_y$	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350
$d_n$	18	25	32	38	45	57	76	89	108	133	159	219	273	325	377
$s$	2	2	2	2	2	3	3	3	3,5	3,5	4,5	6	6	6	6

Примечание.  $d_n$  — наружный диаметр трубы, мм;  $s$  — толщина стенки трубы, мм.

Трубы диаметром до 50 мм соединяют с помощью муфт, отводов, тройников и крестовин. Трубы большего диаметра монтируют на фланцах или сваривают.

**Запорно-регулирующие и контрольно-измерительные устройства,** которые применяются в сушилках, имеют общепромышленное применение. К этим устройствам относятся:

- вентили для регулирования подачи воды или пара в калориферы, включения или отключения калориферов, конденсатоотводчиков, увлажнительных труб и других устройств; в системах автоматического регулирования процессов обра-

ботки вентили оборудуются исполнительными электрическими механизмами;

- редукционные клапаны для регулирования давления пара перед калориферами;
- манометры для измерения давления в водо-паропроводах;
- термометры, измеряющие температуру воды или пара;
- паромеры для измерения расхода пара;
- обратные клапаны.

**Топки.** Топочные газы, используемые в качестве агента сушки, получают в результате сжигания древесных отходов, природного газа или мазута в специальных устройствах, называемых топками. Основное требование, предъявляемое к топкам — получение в них чистого, бездымного топочного газа. Содержание в газе несгоревших частиц топлива недопустимо, так как они, поступая в сушилку, загрязняют поверхность высушиваемого материала, а иногда приводят к его возгоранию.

В наибольшей степени предъявленным требованиям соответствуют топки, разработанные на Ковровском заводе котельно-топочного и сушильного оборудования «СОЮЗ», ([www.georg.kovrov.ru](http://www.georg.kovrov.ru)), являющемся в настоящее время лидером отечественной промышленности по производству котельных и топков, работающих на отходах деревообрабатывающих производств. Завод выпускает топки мощностью от 0,5 до 5 МВт.

Сжигание топлива с относительной влажностью до 60 % осуществляется на колосниковых решетках специальной конструкции (рис. 6.10, поз. 5 и 7).

Мелкофракционное топливо (щепа, опилки, стружка и пр.) подается на наклонную часть колосника шнековым транспортом 8, а затем распределяется на горизонтальной его части. В этой зоне топки происходит частичное сгорание топлива с образованием горючих газов, после чего эти газы поступают в камеру дожига, в которую особым образом подается подогретый свежий воздух вентиляторами 10. При этом обеспечивается полное сгорание топлива и минимизируется унос твердых несгоревших частиц.

Для удаления золы горизонтальная часть колосника снабжена поворотным устройством.

Регулирование мощности топки по температуре отходящих топочных газов осуществляется дозированием подаваемого на сжигание топлива с помощью шнекового транспортера. Количество подаваемого топлива пропорционально скорости вращения шнека. Эта скорость регулируется частотным преобразователем,

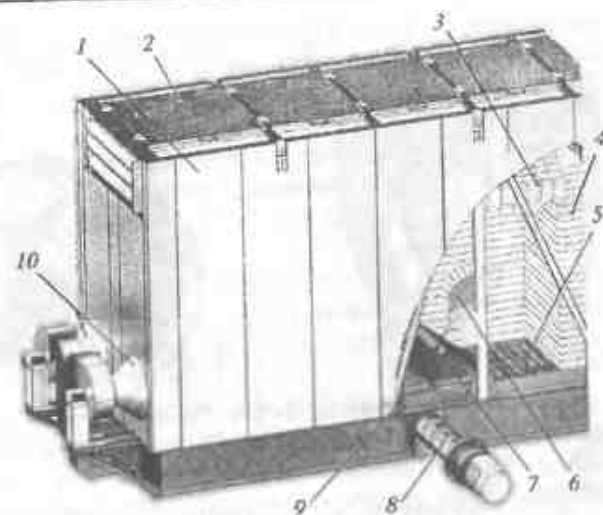


Рис. 6.10. Общий вид топки:

1 — корпус; 2 — технологический люк; 3 — свод топки; 4 — футеровка; 5 — поворотный колосник; 6 — топочная дверь; 7 — наклонный колосник; 8 — шнековый транспортер; 9 — теплоизоляция; 10 — вентиляторы подачи свежего воздуха

подключенным к электродвигателю привода шнека. Предусмотрена ручная подача кусковых отходов через топочную дверь 6.

## § 31. Циркуляционное оборудование

В конвективных сушилках вся тепловая энергия на сушку передается высушиваемому материалу нагретым воздухом или газом. Малая их теплоемкость и низкая плотность определяют большой объем циркулирующего сушильного агента. Большинство сушилок имеют систему циркуляции, характеризующуюся относительно малым аэродинамическим сопротивлением. Эти обстоятельства определяют целесообразность применения для циркуляции вентиляторов, которые обеспечивают перемещение больших масс воздуха или газа при малом перепаде создаваемого ими давления.

Вентиляторы подразделяются на *радиальные* (центробежные) и *осевые*. Перемещение воздуха радиальным вентилятором осуществляется за счет центробежного эффекта. Вентилятор (рис. 6.11, а) состоит из улиткообразного кожуха 4, укрепленного на станине 1. Внутри кожуха в направлении разворота его спирали вращается

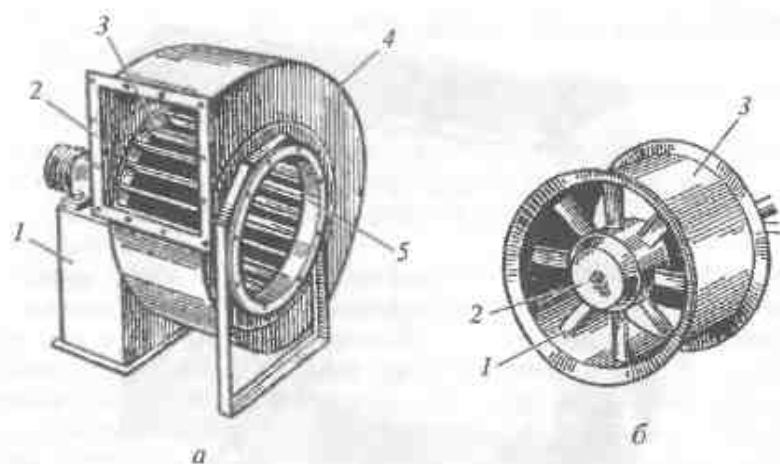


Рис. 6.11. а — радиальный вентилятор (1 — станина; 2 — выхлопной патрубок; 3 — ротор; 4 — кожух; 5 — всасывающий патрубок); б — осевой вентилятор (1 — лопасти; 2 — ротор; 3 — кожух)

ротор 3 с радиальными лопатками. При работе вентилятора воздух через всасывающий патрубок 5 попадает в середину ротора, нагнетается в результате его вращения в пространство между ротором и кожухом и выбрасывается через выхлопной патрубок 2. Со стороны кожуха, противоположной всасывающему патрубку, располагается привод вентилятора.

При вращении ротора вентилятор сообщает воздушному потоку избыточное давление, под действием которого и происходит движение воздуха.

В осевых вентиляторах перемещение воздуха основано на принципе работы воздушного винта. Вентилятор (рис. 6.11, б) состоит из ротора 2, вращающегося в кожухе 3, имеющем вид цилиндрического патрубка. Ротор составлен из лопастей 1 определенного профиля, насаженных на ступицу под углом к плоскости его вращения. Лопасти вращающегося ротора захватывают воздух своей вогнутой (в некоторых конструкциях — плоской) поверхностью и придают ему ускорение. В результате создается избыточное давление, действие которого (как и в радиальном вентиляторе) вызывает движение воздуха, который перемещается в направлении оси вращения ротора.

Система циркуляции сушилки состоит из вентилятора (вентиляторов) и подключенных к нему воздухопроводов. Их форма и размеры определяются конструкцией конкретного сушильного

устройства. Они могут состоять из труб всевозможных сечений. Роль воздухопроводов часто выполняют каналы, сформированные элементами ограждения сушилок, экранами, высушиваемым материалом.

Основными параметрами, характеризующими работу системы циркуляции являются: давление  $P_n$ , Па, развиваемое вентилятором и объем  $V_v$ , м<sup>3</sup>/с (ч), циркулирующего воздуха в единицу времени.

В зависимости от принципиальной схемы сушилки система циркуляции может быть разомкнутой (сушилки с однократной циркуляцией) и замкнутой (сушилки с многократной циркуляцией).

Давление вентилятора в разомкнутой системе равно сумме потерь давления в воздуховодах (аэродинамическое сопротивление) и динамического давления в выхлопном отверстии. Аэродинамическое сопротивление составляет сумму сопротивлений прямолинейных участков каналов, местных сопротивлений, которыми являются штабеля, калориферы, изменения площадей поперечного сечения каналов, изменения направления движения сушильного агента.

$$P_n = \sum_{i=1}^n \Delta P_i + P_d, \quad (6.21)$$

где  $\Delta P_i$  — падение давления на  $i$ -м участке аэродинамического сопротивления;

$P_d$  — динамическое давление на выхлопе.

В свою очередь,  $\Delta P_i$  и  $P_d$ , Па, равны

$$\Delta P_i = \xi_i \frac{\rho \cdot \omega_i^2}{2}, \quad (6.22)$$

$$P_d = \frac{\rho \cdot \omega_{\max}^2}{2}, \quad (6.23)$$

где  $\xi_i$  — коэффициент местного сопротивления; значения этих коэффициентов приводятся в главе 18 и в специальной литературе по проектированию [22, 23, 31];

$\omega_i$  — расчетная скорость на участке местного сопротивления, м/с;

$\omega_{\max}$  — скорость движения воздуха на выхлопе, м/с;

$\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Для замкнутой системы циркуляции давление, создаваемое вентилятором  $P_v$ , Па, равно только ее аэродинамическому сопротивлению:

$$P_v = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \quad (6.24)$$

Объем циркулирующего в сушилке агента в единицу времени определяется исходя из анализа технико-экономических расчетов и технологических соображений. Например, для сушильных камер пиломатериалов этот объем устанавливается по скорости циркуляции сушильного агента в штабеле, обеспечивающей допустимый перепад конечной влажности пиломатериалов. В сушилках для измельченной древесины — по скорости циркуляции, при которой не происходит уноса частиц определенных фракций. В сушилках для шпона — в зависимости от ее производительности и тепловой мощности.

Вентилятор в системе циркуляции должен по своим показателям работы соответствовать ее параметрам.

К основным показателям работы вентилятора относятся: давление вентилятора  $P_v$ , Па, (совпадает с давлением в системе циркуляции), производительность  $V_v$ , м<sup>3</sup>/с (ч), частота вращения рабочего колеса  $n_v$ , мин<sup>-1</sup>, мощность, потребляемая вентилятором  $N_v$ , кВт, коэффициент полезного действия  $\eta_v$ , потребляемая мощность электродвигателя  $N_{эл}$ , кВт.

Вентиляторы по своему аэродинамическому исполнению подразделяются на типы, которым завод-изготовитель присваивает условное обозначение. Вентиляторы одного типа производятся различных размеров. Размеры определяются его номером, выражающим диаметр ротора в дециметрах. Так, вентилятор с диаметром ротора 600 мм обозначается № 6.

Взаимосвязи между показателями работы вентилятора приводятся в заводских каталогах в виде графиков, называемых характеристиками вентиляторов.

Эти характеристики строятся по результатам испытаний вентилятора определенного типа и номера на «стандартном» воздухе, имеющем плотность  $\rho_n = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>. При выборе вентилятора для воздуха другой плотности  $\rho_\phi$  следует сделать пересчет давления  $P_{н.ф}$  на давление при «стандартных» условиях (характеристическое)  $P_{н.ст}$ :

$$P_{н.ст} = \frac{1,2 P_{н.ф}}{\rho_\phi} \quad (6.25)$$

где  $P_{н.ф}$  — давление вентилятора при плотности воздуха  $\rho_\phi$ .

По этому давлению, используя характеристику, определяют требуемые параметры. Мощность вентилятора рассчитывается по фактическому давлению:

$$N_v = \frac{V_v P_{н.ф}}{\eta_v} \quad (6.26)$$

Промышленностью изготавливаются радиальные вентиляторы низкого (до 1,0 кПа), среднего (1,0...3,0 кПа) и высокого (3,0...12,0 кПа) давления (ГОСТ 5976—73). По направлению вращения ротора различают вентиляторы правого и левого вращения. В вентиляторах правого вращения, если смотреть на них со стороны привода, спираль кожуха развернута по часовой стрелке, левого вращения — против часовой стрелки.

В сушилках применяются вентиляторы низкого и среднего давления общепромышленного применения типа Ц4-70, Ц14-46 и подобные им. Они монтируются в основном в тех сушилках, которые характеризуются относительно небольшой производительностью, но достаточно высоким аэродинамическим сопротивлением. К ним относятся сушилки для измельченной древесины, некоторые конструкции для сушки шпона. При температуре газовой смеси более 100 °С применяются специальные радиальные вентиляторы типа Д и ДН, называемые дымососами.

Осевые вентиляторы, также как и радиальные, различаются по типам и номерам. Они могут быть правого и левого вращения. При направлении движения воздуха к наблюдателю у правого вентилятора ротор вращается по часовой стрелке, у левого — против часовой стрелки.

Современные камеры в настоящее время снабжаются вентиляторами, которые вместе с электродвигателями находятся внутри сушильного пространства. Такие вентиляторы, рассчитанные на условия эксплуатации при температуре до 120 °С, выпускаются отечественными и зарубежными фирмами. Наиболее совершенными из отечественных являются осевые вентиляторы серии FTDA, выпускаемые ЗАО «ЛАДА-ФЛЕКТ» г. Тольятти ([www.lada-flakt.ru](http://www.lada-flakt.ru)), которые изготавливаются различных номеров, как реверсивные, так и нереверсивные, и комплектуются электродвигателями с классом изоляции Н ( $t_{\text{раб}} = 100$  °С) и F ( $t_{\text{раб}} = 70$  °С). В зависимости от заказа завод может поставлять их изготовленными как из конструкционной стали Ст3, так и из легированной стали 12Х18Н10Т, в двух вариантах исполнения (рис. 6.12).

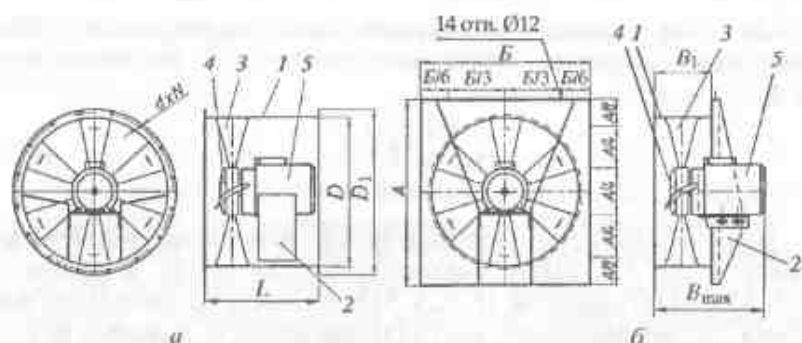


Рис. 6.12. Конструктивные схемы вентиляторов FTDA:

*a* — в цилиндрическом корпусе; *b* — в прямоугольном корпусе; 1 — корпус; 2 — опора электродвигателя; 3 — лопасть вентилятора; 4 — ступица; 5 — электродвигатель

При строительстве новых и реконструкции старых камер рекомендуется использование этих вентиляторов. Основные данные наиболее употребительных номеров приведены в табл. 6.5.

Уточненные данные работы вентилятора могут быть получены по характеристикам, приведенным в каталоге завода. Каталог содержит индивидуальные характеристики вентиляторов, отличающиеся по номеру, по числу лопаток вентилятора и частоте вращения электродвигателя. В качестве примера на рис. 6.13 дана индивидуальная характеристика вентилятора FTDA-071-6,  $n = 1450$  об/мин. График построен в координатах  $P_s - V_s$ . На него нанесены кривые мощности установленного электродвигателя вентилятора  $N_{зд}$ , кВт; угол установки лопаток  $\alpha$  и КПД вентилятора.

Выбор вентилятора производится в такой последовательности. По расчетной производительности вентилятора  $V_p$  и характеристическому давлению  $P_{сет}$  находится индивидуальная характеристика того вентилятора, который обеспечивает для данных параметров наименьшую мощность установленного электродвигателя. Далее по полученной рабочей точке на характеристике определяются: угол установки лопаток вентилятора —  $\alpha$ , его КПД —  $\eta_n$ , установленная мощность электродвигателя —  $N_{зд}$ .

Точка на характеристике может не совпадать с нанесенными на график кривыми. Фактические значения  $\alpha$ ,  $\eta_n$  и  $N_{зд}$  могут быть получены методом интерполяции. Мощность установленного электродвигателя выбирается по кривой, лежащей над полученной точкой. Расхождение между положениями точки и кри-

Таблица 6.5. Технические характеристики вентиляторов FTDA

Модель вентилятора	Исполнение корпуса 1					Исполнение корпуса 2			
	$D$ , мм	$D_1$ , мм	$d$ , мм	$n$ , шт	$L$ , мм	$A$ , мм	$B$ , мм	$B_{max}$ , мм	$B_1$ , мм
FTDA-REV-050-6	500	560	12	12	430	695	726	396	200
FTDA-REV-063-6	630	690	12	12	540	830	834	456	268
FTDA-REV-071-6	710	770	12	16	510	910	834	582	300
FTDA-REV-080-6	800	860	12	16	560	1000	924	577	300
Модель вентилятора	Мощность двигателя, кВт, 1500 об/мин	Класс изоляции обмоток двигателя	Максимальный расход, давление воздуха при нормальных условиях		Температура среды, °C				
			м³/час	Па					
FTDA-REV-050-6	1,5	H	8800	100	100				
FTDA-REV-050-6	2,2	F	9100	140	70				
FTDA-REV-063-6	1,5	H	15 500	125	100				
FTDA-RXV-063-6	2,2	F	18 500	165	70				
FTDA-REV-063-6	2,2	H	18 500	165	100				
FTDA-REV-071-6	2,2	F	20 000	125	70				
FTDA-REV-071-6	2,2	H	25 000	185	100				
FTDA-REV-071-6	3	F	25 000	185	70				
FTDA-REV-071-6	3	H	27 000	210	100				
FTDA-REV-071-6	4	F	27 000	210	70				
FTDA-REV-080-6	3,3	H	30 000	220	100				
FTDA-REV-080-6	4	F	30 000	220	70				
FTDA-REV-080-6	4	H	35 000	240	100				

В приведенных обозначениях: FTDA — серия вентилятора; REV — реверсивный вентилятор; XXX — номер вентилятора в см; X — число лопаток на роторе вентилятора.

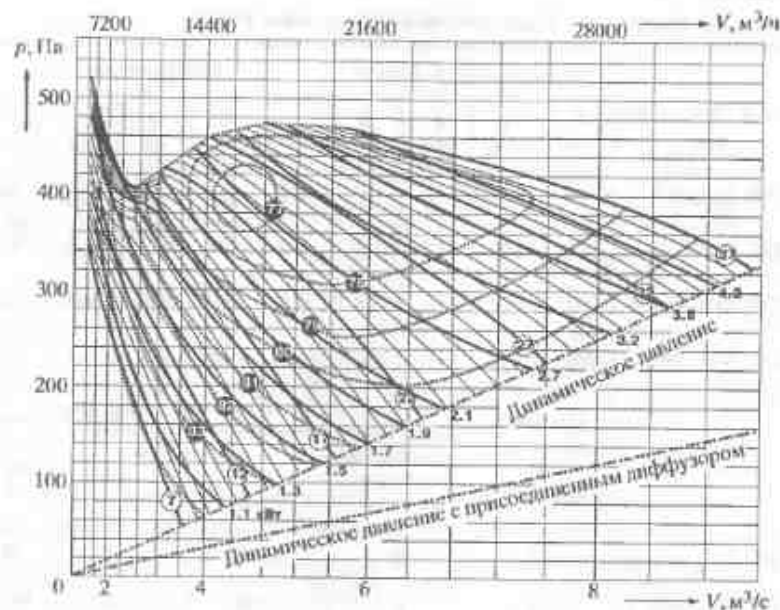


Рис. 6.13. Индивидуальная характеристика осевого вентилятора FTDA-071-6,  $n = 1450$  об/мин

вой мощности свидетельствует о том, что требуемая мощность  $N_p$  меньше установленной мощности  $N_{зд}$  электродвигателя.

В целях экономии электрической энергии в этом случае рекомендуется установить частотные регуляторы числа оборотов электродвигателя. Экономия может быть весьма существенной, поскольку снижение числа оборотов электродвигателя (при той же производительности и давлении) уменьшает потребление электроэнергии в кубичной зависимости.

Вполне возможно использование вентиляторов других заводов-производителей, которые могут быть найдены с помощью любой поисковой системы Интернет.

Если по условиям эксплуатации электродвигатель выносится за пределы внутреннего пространства камеры, то целесообразно применять осевые вентиляторы общего назначения (ГОСТ 11442—74) и общепромышленные трехфазные, асинхронные, короткозамкнутые, закрытые, обдуваемые электродвигатели серии АИР или 4А. При этом вентилятор монтируется внутри сушилки в соответствии с ее конструктивной схемой. Посредством вала, оснащенного подшипниками, и муфты он соединяется с электродвигателем, который устанавливается вне камеры.

### Контрольные вопросы

1. Дайте классификацию сушилок по конструктивному исполнению; по виду сушильного агента; по кратности циркуляции; по принципу действия.
2. Как изменяется состояние воздуха в сушилках с однократной циркуляцией, с многократной циркуляцией и в конденсационных сушилках?
3. Нарисуйте схемы перечисленных в п. 2 процессов на  $Id$ -,  $is$ -диаграммах.
4. Как изменяется состояние топочного газа в газовых сушилках с однократной и многократной циркуляцией? Нарисуйте схемы на  $Ida$ -диаграмме.
5. Назовите основные группы оборудования сушилок и дайте их краткую характеристику.
6. Что называется калорифером? Какие калориферы используют в сушилках?
7. Каковы преимущества водяных калориферов перед паровыми?
8. Для чего предназначены и как устроены конденсатоотводчики?
9. Какие основные требования предъявляются к топкам?
10. Каково назначение и как устроены радиальные и осевые вентиляторы?
11. Что называется системой циркуляции сушилки?
12. Что такое давление, развиваемое вентилятором?
13. Как рассчитывается давление, развиваемое вентилятором?
14. Какими параметрами характеризуется работа системы циркуляции?
15. Какие параметры характеризуют работу вентилятора?
16. Каким образом выбирают вентилятор?

## Глава 7

### СУШИЛЬНЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

#### § 32. Разновидности сушильных камер. Штабель пиломатериалов

В настоящее время на большинстве деревообрабатывающих предприятий сушка пиломатериалов осуществляется в воздушных конвективных сушильных камерах.

Камеры представляют собой постройки различных размеров, внутри которых находятся высушиваемые пиломатериалы или заготовки, загружаемые через специальные двери. Внутри камеры монтируется тепловое и циркуляционное оборудование. Камеры, как отмечалось выше, бывают как периодического, так и непрерывного действия, но только с многократной циркуляцией агента сушки.

Несмотря на многообразие сушильных камер, предлагаемых многими отечественными и зарубежными фирмами, число типов камер относительно невелико. Они различаются, кроме принципа действия, по виду ограждений, по способу загрузки штабелей в камеру и по характеру циркуляции воздуха относительно размещенного в камере циркуляционного оборудования.

Сушка пиломатериалов и заготовок в камерах осуществляется в штабелях. Различается два типа штабелей: пакетный (рис. 7.1, а), формируемый из нескольких (2...16) сушильных пакетов и целый (рис. 7.1, б), собираемый целиком на месте его формирования.

Штабель или пакет формируют из горизонтальных рядов досок, уложенных на прокладки. При укладке пиломатериалов в штабель должно быть обеспечено их равномерное обдувание сушильным агентом.

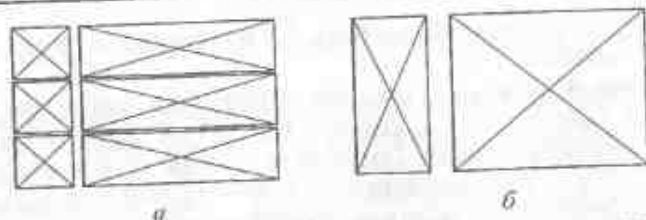


Рис. 7.1. Схема пакетного штабеля (а) и целого штабеля (б)

В зависимости от характера циркуляции воздуха через штабель, применяют два метода укладки: сплошными рядами без промежутков между досками (рис. 7.2, а) и с промежутками — шпациями — между досками ряда (рис. 7.2, б). Первый метод укладки, называемый укладкой без шпаций, используется в камерах, имеющих поперечное по отношению к штабелю движение агента сушки. Такая укладка повышает вместимость камеры, облегчает механизацию укладочных работ. Она применяется во всех современных камерах. При движении воздуха в вертикальном или продольном по отношению к штабелю направлении (камеры устаревших конструкций) материал укладывают со шпациями.

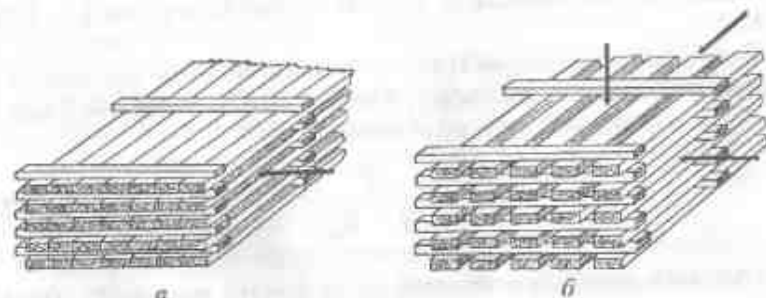


Рис. 7.2. Схема укладки досок в штабеле:  
а — без шпаций; б — со шпациями

Штабель выкладывают в виде параллелепипеда. Его боковые и торцовые поверхности должны быть строго вертикальны. Следует отметить, что по виду сформированного штабеля безошибочно определяется уровень культуры данного производства.

Размеры целого штабеля обычно составляют: ширина 1,8...2,4, высота 2,5...3,0, а длина 4,2...6,2 м — для пиломатериалов хвойных пород и 3,2...4,2 м — для пиломатериалов лиственных пород. При отсутствии устройств для формирования штабеля,

его высота не должна превышать 2,2 м. Заготовки укладывают в короткие штабеля (2,0...3,0 м).

Размеры поперечного сечения сушильного пакета, как правило, равны: высота 1,1...1,3, ширина 1,1...1,3 м — при его транспортировке автопогрузчиком (зависит от длины вилки погрузчика) или 1,8...2,0 м — при перемещении пакета краном или тельфером. Высота штабеля при пакетном формировании автопогрузчиком может достигать до 4,0...4,5 м.

Вместимость штабеля (пакета)  $E$ , м<sup>3</sup>, рассчитывается по выражению

$$E = BHL\beta_{ш}\beta_{в}\beta_{д}, \quad (7.1)$$

где  $B$ ,  $H$ ,  $L$  — ширина, высота и длина штабеля (пакета), м;

$\beta_{ш}$ ,  $\beta_{в}$ ,  $\beta_{д}$  — коэффициенты заполнения штабеля (пакета) по ширине, высоте и длине, соответственно.

Коэффициент заполнения штабеля (пакета) по ширине  $\beta_{ш}$  характеризует отношение суммарной ширины пиломатериалов в горизонтальном ряду штабеля к его ширине. Укладка штабеля со шпациями в настоящее время не применяется. Коэффициент  $\beta_{ш}$  зависит только от вида пиломатериалов и имеет значения: для обрезных пиломатериалов — 0,90...0,92, для необрезных — 0,65...0,67.

Величина коэффициента заполнения штабеля по высоте  $\beta_{в}$  зависит от толщины пиломатериалов  $S$ , мм, и толщины прокладок  $S_{пр}$  и определяется по выражению

$$\beta_{в} = \frac{S}{S + S_{пр}}. \quad (7.2)$$

Толщина прокладок обычно принимается равной 25 мм; допускается применение прокладок толщиной 22 мм.

Коэффициент заполнения штабеля по длине  $\beta_{д}$  принимается равным для пиломатериалов и заготовок: не сортированных по длине — 0,9...0,95, для материалов одинаковой длины (например, заготовок) — 1,0. Число штабелей (пакетов) в камере зависит от типа и конструкции камеры.

По виду ограждений сушильные камеры могут быть стационарными и сборными, заводского изготовления. Стационарные камеры строятся по специальным (индивидуальным) проектам, при разработке которых требуется: установить размеры камер и их количество, рассчитать и выбрать тепловое и циркуляционное

оборудование, выбрать источник теплоснабжения и определить его мощность.

**Стационарные камеры** представляют собой специальные здания, сооружаемые как из традиционных строительных материалов (кирпича, ячеистого бетона, бетона, железобетона), так и из панелей типа «сэндвич». Каркас таких панелей делается из швеллерного или уголкового проката, он заполняется внутри теплоизоляционным материалом (пенопластами или минеральными материалами) и облицовывается с двух сторон листовым, жёстко несущим, некорродирующим металлом. Широко применяются «сэндвич-панели» заводского изготовления.

**Сборные камеры** изготавливаются на специальных заводах, их монтируют на месте строительства из готовых «сэндвич-панелей» и секций.

Элементами ограждений сушильных камер являются полы, стены, перекрытия и загрузочно-разгрузочные двери. Ограждения камер должны иметь малую теплопроводность, быть долговечными и герметичными.

Полы камер обычно настилают в четыре слоя: нижний слой — балластный толщиной 200...250 мм, затем подготовительный — из щебня толщиной 60...100 мм, на нем — слой армированного бетона толщиной 150...200 мм, верхний слой — цементный (толщиной 20 мм). Полу камер придается уклон 0,01...0,005 по направлению к канавкам, идущим вдоль камеры и имеющим слив в канализацию или сточный колодец.

При транспортировке штабелей на тележках в камере прокладывают рельсовый путь. Рельсы укладывают на шпалах заподлицо с поверхностью пола.

Стены формируют из керамического кирпича или блоков ячеистого бетона на цементном растворе с полным заполнением швов.

При применении кирпича наружные стены делают толщиной ~640 мм, внутренние стены, выходящие в отапливаемые помещения, — ~500 мм, промежуточные, между камерами, — ~380 мм. Стены выкладываются на ленточный фундамент из бетонных блоков, заложённый на глубину промерзания.

Блоки ячеистого бетона применяют с плотностью не ниже 600 кг/м<sup>3</sup>. Толщина стен камеры должна быть равной ~400 мм. Основанием камеры в таком варианте служит пол, выполненный по рекомендациям, данным выше.

Стены камер штукатурят с внутренней стороны. Для повышения герметизации стен на штукатурку целесообразно нано-

суть водостойкие смеси (например, глисс) толщиной не более 5 мм, используя монтажную сетку. Удовлетворительные результаты дает затирка оштукатуренной поверхности цементом с последующим ее покрытием 2...3 слоями битумного лака.

При использовании «сэндвич-панелей» их толщину выбирают в зависимости от места строительства. Для средней полосы России она должна быть не менее 150 мм, а для северных районов и Сибири — 200 мм. Основанием таких камер, в том числе и заводского изготовления, служит армированная бетонная плита (см. устройство пола).

Потолочные перекрытия камер выполняются из железобетонных плит толщиной 120...150 мм, поверх которых наносится 2...3 слоя гидростеклоизола. Перекрытие утепляется слоем керамзита толщиной 250...350 мм, либо используются для этой цели другие изоляционные материалы. Практика строительства камер показала возможность замены железобетонных плит листами, изготовленными из профильной стали («профнастила»).

Загрузочно-разгрузочные двери, кроме требований изложенных выше, должны быть герметичными в притворах, иметь надежные и простые запоры и обладать стабильностью формы. Предъявляемым требованиям в наибольшей степени отвечают двери, изготовленные из «сэндвич-панелей».

Наиболее широкое применение имеют створные двери. Дверное полотно 2 (рис. 7.3, а) на массивных петлях 1 крепится к металлической дверной коробке 3. С внутренней стороны полотно по периметру окантовано уголком 7 (рис. 7.3, б), который при закрывании двери нажимает на уплотнительную прокладку 5, выполненную из резины марки ТМКЩ-М или силикона. Прокладка заложена в канавку, образованную уголком 6. Герметизация двери в притворе осуществляется винтовыми прижимами 4. Достаточно герметичный притвор обеспечивает полоса профильной термостойкой резины, проложенная по периметру дверной коробки (рис. 7.3, в).

Двери одностворчатой конструкции более рациональны по сравнению с двухстворчатыми, так как у них отсутствует средний вертикальный створ. В результате герметизация притвора оказывается проще и надежнее.

В ряде сушильных камер применяют сдвижные щитовые, подъемно-щитовые и подъемно-шторные двери.

Сдвижные щитовые двери (рис. 7.4, а) представляют собой щит 3, полностью перекрывающий дверной проем камеры; этот щит с помощью подъемно-передвижной каретки 4 навешивается

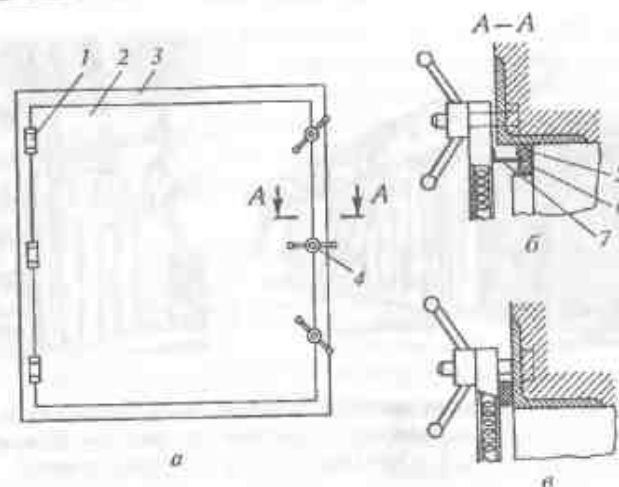


Рис. 7.3. Схема устройства створной двери (а) и варианты герметизации притвора (б, в):

1 — петля; 2 — дверное полотно; 3 — дверная коробка; 4 — винтовые прижимы; 5 — уплотнительная прокладка; 6 — уголок; 7 — уголок дверного полотна

на металлическую коробку 1, снабженную уплотнительной прокладкой. Для прижима дверного щита используют различные устройства (рычажно-поворотные, винтовые, клиновые прижимы). Подъемно-передвижная каретка движется по монорельсу 2. Некоторые конструкции камер имеют каретку, снабженную электромеханическими приводами подъема дверного полотна и перемещения каретки по монорельсу.

Подъемно-щитовые двери (рис. 7.4, б) имеют дверное полотно 3, которое может перемещаться в вертикально расположенных направляющих 6 с помощью небольшой тросовой лебедки 5.

При открывании двери полотно перемещается вверх по направляющим и фиксируется в верхнем положении стопорным устройством.

Подъемно-шторные двери имеют дверное полотно, состоящее из набора щитков, которые шарнирно связаны друг с другом. Применяются они сравнительно редко.

По способу загрузки штабелей в камеру различают два варианта.

**1 вариант:** камеры с продольной загрузкой штабелей в камеру на тележках по рельсовому пути; штабель применяется либо целый, либо состоящий из сушильных пакетов; для формирования

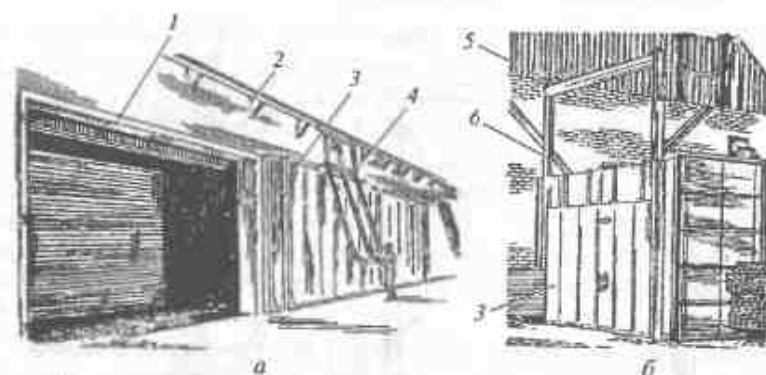


Рис. 7.4. Сдвижная дверь с кареткой (а) и подъемно-щитовая дверь (б): 1 — дверная коробка; 2 — монорельс; 3 — дверное полотно; 4 — подъемно-передвижная каретка; 5 — тросовая лебедка; 6 — направляющие

и транспортировки штабелей используется как специальное оборудование (транспортные тележки, подъемники, траверсные тележки) так и грузоподъемное оборудование общего назначения.

**2 вариант:** камеры с фронтальной (поперечной) загрузкой материала; штабель формируется внутри камеры из предварительно собранных сушильных пакетов; транспортировка пакетов и формирование штабеля обеспечивается автопогрузчиком с вилочными захватами. Этот вариант предпочтителен, поскольку резко снижается расход металла (рельсы, транспортные тележки), нет необходимости в закупке дорогого оборудования (подъемников, траверсных тележек), но он требует больших производственных площадей.

### § 33. Камеры периодического действия

Современным сушилкам предшествовали камеры с естественной циркуляцией, которая осуществляется за счет разности плотности нагретого и охлажденного воздуха. Нагретый в калорифере воздух поднимается вверх, проходит через штабель, уложенный со шпациями. В результате испарения влаги из древесины он становится более плотным и опускается вниз, где малая его часть удаляется в атмосферу, а большая — снова поступает в калорифер. В эту же зону подается соответствующее количество свежего воздуха. Сушилка работает по принципиальной схеме, показанной на рис. 6.1, б (§ 25).

Камеры чрезвычайно просты в устройстве и обслуживании. Их недостатками являются существенная неравномерность сушки пиломатериалов в штабеле и большая продолжительность процесса из-за малой скорости циркуляции (0,1...0,2 м/с), а также нерациональная укладка (со шпациями) пиломатериалов в штабеле. По этим причинам они в настоящее время, за редким исключением, не применяются.

Большое распространение в 40—70-х гг. XX в. получили эжекционные камеры, которые имели циркуляционные установки, основанные на принципе эжекции. Воздух выходит из сопла эжектора со скоростью 25...35 м/с. В зоне выхлопа создается разрежение, под действием которого приходит в движение окружающий воздух, масса которого значительно превышает массу эжектируемого. В результате через вентилятор проходит лишь 20...25 % общего количества циркулирующего воздуха в камере. Скорость движения сушильного агента в штабеле выше (до 0,6 м/с), чем в сушилках с естественной циркуляцией. Штабель укладывается без шпаций.

Недостатком камер является повышенный расход электроэнергии на привод эжекторной установки и недопустимая с точки зрения качества неравномерность сушки пиломатериалов. В настоящее время эти камеры не строятся, а уже имеющиеся на предприятиях реконструируются на основе более совершенных конструктивных схем.

Современные сушилки по характеру циркуляции сушильного агента подразделяются на камеры с поперечно-вертикальной и поперечно-горизонтальной циркуляцией. Во всех камерах циркуляция сушильного агента осуществляется осевыми вентиляторами, а укладка штабеля — без шпаций. Скорость циркуляции воздуха в штабеле 1,5...2,5 м/с (и более) обеспечивает равномерную сушку пиломатериалов, при расходе электроэнергии в 3...5 раз меньше по сравнению с эжекционными камерами.

В камерах с поперечно-вертикальной циркуляцией сушильный агент движется поперек штабеля по кольцу в вертикальной плоскости, а в камерах с поперечно-горизонтальной циркуляцией — также поперек штабеля, но в горизонтальной плоскости. В первом случае циркуляционные вентиляторы находятся, как правило, в верхнем циркуляционном канале (над штабелем), а во втором — в торце штабеля, на одном с ним уровне. Достоинство первого варианта в том, что имеет место экономия производственных площадей, а второго — в экономии строительных материалов и относительно малой высоте камеры.

Конструктивная схема камеры с вертикально-поперечной циркуляцией и продольной загрузкой штабеля приведена на рис. 7.5, а. В верхнем циркуляционном канале, отделенном от сушильного пространства экраном 1, монтируются циркуляционные осевые реверсивные вентиляторы 2, водяные калориферы 5, вентиляционные приточно-вытяжные каналы 3, 4 и труба с форсунками 6 системы увлажнения. В сушильном пространстве находятся высушиваемые пиломатериалы в штабеле 7. Штабель находится на рельсовой вагонетке 8. В камере устанавливается 2...3 вентилято-

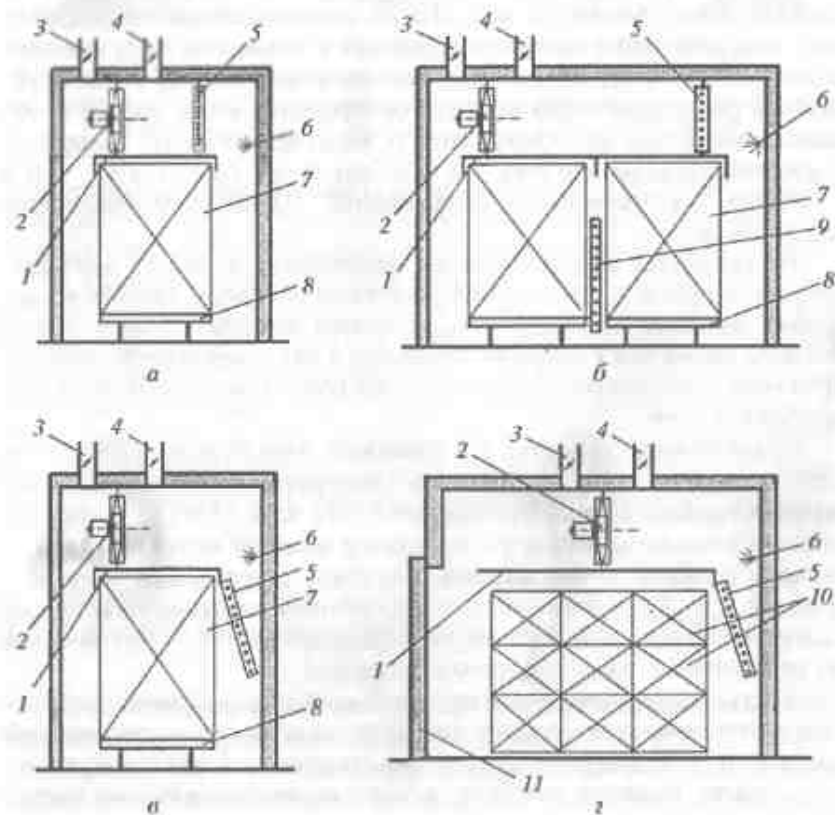


Рис. 7.5. Конструктивные схема сушильной камеры с вертикально-поперечной циркуляцией:

а, б, в, г — варианты устройства камеры; 1 — экран; 2 — осевой вентилятор; 3, 4 — приточно-вытяжные каналы; 5 — калорифер; 6 — труба с форсунками; 7 — штабель; 8 — тележка; 9 — дополнительный калорифер; 10 — сушильные пакеты; 11 — дверь сдвижная.

ра на каждые 6 м ее длины. Камеры строятся длиной, рассчитанной на 1...2 штабеля. При сушке на предприятии пиломатериалов хвойных и лиственных пород длина камеры должна обеспечивать полную ее загрузку. В этом случае рационально иметь камеры, вмещающие либо два штабеля длиной 6 м, либо три штабеля длиной 4 м. Таким образом, длина камеры с учетом технологических зазоров должна быть равна ~13 м. Сушильный агент движется поперек камеры, проходя последовательно через калорифер и штабель под действием давления, создаваемого вентилятором.

При циркуляции по часовой стрелке в левой части циркуляционного канала (до вентилятора) создается разрежение, а в правой — повышенное давление. В этом случае левый вентиляционный канал 3 служит для притока свежего, а правый 4 — для удаления отработанного воздуха. Каналы меняют свое назначение на обратное при реверсировании потока.

Для увлажнения воздуха, что требуется при проведении процесса сушки древесины, через форсунки трубы 6 подается мелкодисперсная вода, которая превращается в пар за счет тепловой энергии циркулирующего воздуха и повышает его степень насыщенности.

Для равномерного распределения циркулирующего воздуха по фронту штабеля ширина каналов, образованная его боковыми поверхностями и внутренними поверхностями стен камеры, должна быть не менее 500 мм.

В камере с продольной загрузкой может быть установлено параллельно два штабеля (рис. 7.5, б). В таком варианте между штабелями устанавливаются дополнительные калориферы 9, которые повторно нагревают воздух после его прохода через первый штабель. Тем самым обеспечивается равномерное высушивание обеих штабелей.

Более рациональное размещение калориферов в камере показано на рис. 7.5, в. Их установка под наклоном на боковой стенке камеры обеспечивает более удобный монтаж и эксплуатацию.

Разновидностью камер с продольной загрузкой является схема, согласно которой калориферы и циркуляционные вентиляторы располагаются в боковых каналах (рис. 7.6). При этом объем циркулирующего воздуха уменьшается в два раза. Соответственно, снижается расход электроэнергии. К их недостаткам следует отнести встречные потоки воздуха и, как следствие, вероятность неравномерной сушки по объему штабеля. Однако реверсирование потока существенно снижает эту вероятность.

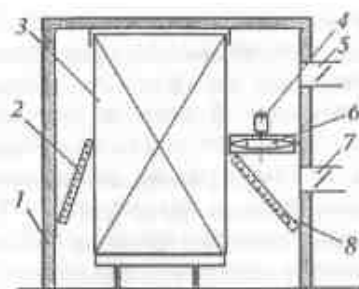


Рис. 7.6. Конструктивная схема камеры с продольной загрузкой и боковым расположением циркуляционных вентиляторов:  
1 — корпус; 2, 8 — калориферы; 3 — штабель; 4 — электродвигатель; 5, 7 — приточно-вытяжные каналы; 6 — вентилятор

Сушильная камера с вертикально-поперечной циркуляцией и фронтальной загрузкой (см. рис. 7.5, з) отличается тем, что штабель формируется непосредственно в сушильной камере из сушильных пакетов автопогрузчиком. Ширина камеры соответствует длине штабеля. Все технологическое оборудование размещается также как в камерах с продольной загрузкой.

По ходу движения сушильного агента устанавливаются от 3 до 5 пакетов, а по высоте штабеля — 2...4 пакета. Между штабелем и горизонтальным экраном предусматривается технологический зазор высотой 300...400 мм, который дает возможность автопогрузчику беспрепятственно устанавливать верхний пакет.

Камеры оборудуются, как правило, щитовыми сдвижными дверями. Реже применяются двухстворчатые двери. Подъемно-щитовые и шторные двери используются сравнительно редко.

Схема монтажа калориферов и системы увлажнения такой камеры приведена на рис. 7.7.

Схема камеры с поперечно-горизонтальной циркуляцией и продольной загрузкой приведена на рис. 7.8, а. Агент сушки в этих камерах проходит через штабель в поперечном направлении. Внутри камеры его движение проходит по замкнутой траектории, которая лежит в горизонтальной плоскости.

Рециркуляционный канал размещен в торце камеры и отделен от сушильного пространства поперечным экраном 1. В канале размещаются циркуляционные вентиляторы 2. Обычно устанавливаются два осевых реверсивных вентилятора один над другим. При малой высоте камеры возможна установка одного вентилятора. В том же канале монтируются водяные или паровые калориферы 5.

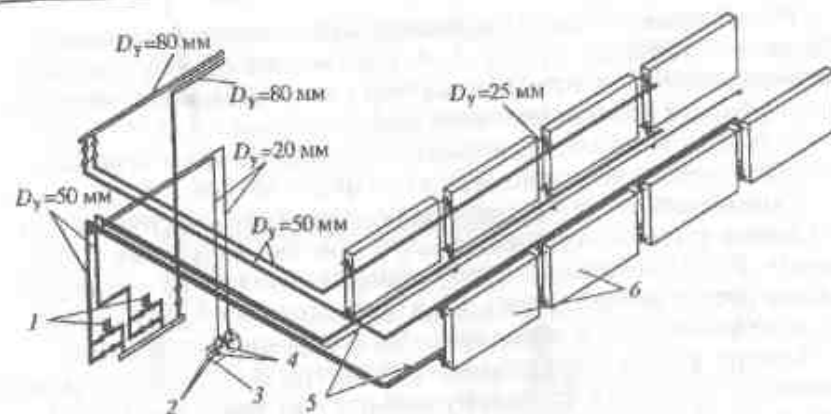


Рис. 7.7. Схема монтажа калориферов в сушильной камере; увлажнение сушильного агента осуществляется распыленной водой с помощью форсунок:  
1 — регулирующие клапаны; 2 — насосы системы увлажнения; 3 — бак; 4 — фильтры; 5 — форсунки; 6 — калориферы

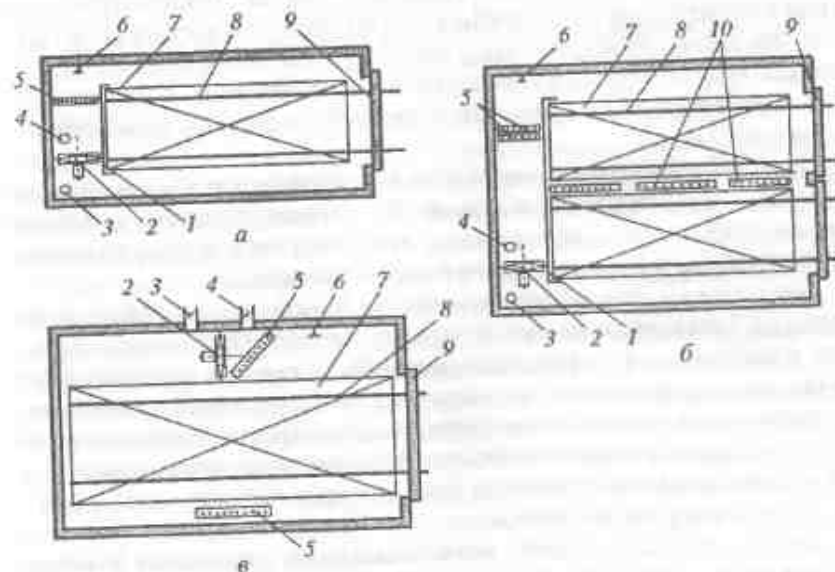


Рис. 7.8. Конструктивная схема камеры с горизонтально-поперечной циркуляцией и продольной загрузкой:  
а, б, в — варианты устройства камеры; 1 — поперечный экран; 2 — вентилятор; 3, 4 — приточно-вытяжные каналы; 5 — калориферы; 6 — труба с форсунками; 7 — штабель; 8 — рельсы; 9 — дверь; 10 — калориферы

На перекрытии перед вентиляторами и за ними установлены две вентиляционные трубы 3, 4, работающие поочередно (при реверсировании) на приток и вытяжку воздуха. Камера оборудована системой увлажнения воздуха 6.

В камере с двумя параллельно установленными штабелями монтируются дополнительные калориферы 10 (рис. 7.8, б).

Существенный недостаток этого типа камер состоит в том, что длина сушильного пространства камеры не должна превышать 6...8 м. При большей длине очень сложно обеспечить равномерное распределение циркулирующего воздуха по длине сушилки, а следовательно, и равномерность сушки пиломатериалов.

Вполне удовлетворительные результаты по качеству сушки получены в камерах, переоборудованных из морских контейнеров по схеме, приведенной на рис. 7.8, в. Два, иногда три, осевых вентилятора 1 малых номеров (№ 4 или № 5), установленных один над другим, расположены в боковом канале примерно по середине длины камеры.

Нагревание воздуха осуществляется калориферами 5, находящимися в противоположных боковых каналах. Циркулирующий воздух последовательно проходит через первый калорифер 5, первую половину штабеля, затем через второй калорифер 5, далее, пройдя вторую половину, поступает в вентиляторы 2. Достоинства и недостатки этой схемы такие же, как у варианта, приведенного на рис. 7.6.

Хорошо зарекомендовали себя в производстве стационарные камеры с фронтальной загрузкой. В отличие от камер с вертикально-поперечной циркуляцией, технологическое оборудование располагается в боковом циркуляционном канале.

Управление рассмотренных выше камер осуществляется из коридора управления, который располагается в помещении, смежном с камерами. Там предусматривается установка системы контроля и регулирования процесса сушки: вентиля, клапанов, регулирующих подачу воды (пара) в калориферы, клапанов приточно-вытяжных каналов с исполнительными механизмами, системы увлажнения, регуляторов температуры, таймеров и силового электрического оборудования.

Особое место занимают конденсационные сушильные камеры, снабженные тепловым насосом. В большинстве случаев они имеют вертикально-поперечную циркуляцию и как продольную, так и фронтальную загрузку штабелей.

В отличие от обычных камер, в которых испарившаяся из древесины вода удаляется в виде пара посредством воздухообме-

на в атмосферу, в этой камере (рис. 7.9) испарившаяся влага конденсируется и удаляется в жидком виде (§ 25), а выделившаяся при конденсации скрытая теплота парообразования используется для подогрева осушенного воздуха.

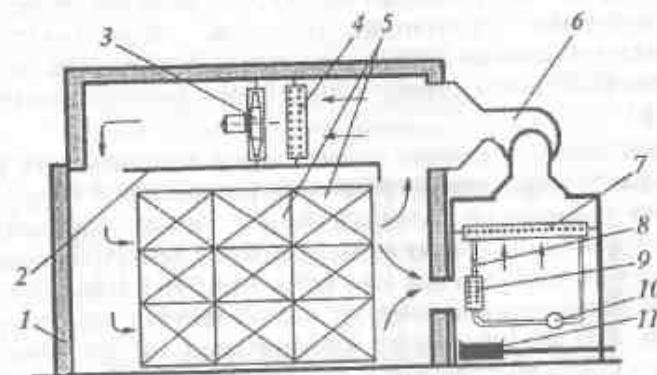


Рис. 7.9. Схема конденсационной сушильной камеры:  
1 — дверь; 2 — экран; 3 — циркуляционный вентилятор; 4 — калорифер вторичного подогрева; 5 — сушильные налеты; 6 — вентилятор; 7 — конденсатор теплового насоса; 8 — регулирующий клапан; 9 — конденсатор; 10 — компрессор; 11 — поддон со сливной трубой

Для этой цели камеру снабжают тепловым насосом. Его основные узлы: компрессор 10, испаритель хладагента (фреона) 9, регулирующий клапан 8, конденсатор хладагента 7. Часть отработавшего в штабеле воздуха омывает трубы испарителя и охлаждается, при этом содержащийся в нем водяной пар конденсируется, а конденсат удаляется через поддон и сливную трубу 11. Проходя затем через конденсатор, воздух подогревается и направляется вентилятором 6 обратно в камеру, где смешивается с оставшимся отработавшим воздухом. Полученная смесь дополнительно нагревается в калорифере 4. Циркуляция воздуха в самой камере осуществляется осевыми вентиляторами 3, так же, как в сушильных камерах рассмотренных выше конструктивных схем.

Для начального подогрева воздуха, таким образом, используется теплота конденсации испарившейся из древесины влаги, которая поглощается хладагентом в испарителе и выделяется в конденсаторе. Расход тепла на испарение может быть снижен в 2,5...5 раз.

Работа теплового насоса предусматривает обязательное использование электроэнергии на привод компрессора. Расчеты, однако, показывают, что при существующих ценах на электро-

энергию даже столь существенный эффект не делает их рентабельными.

Кроме того, имеют место большие капитальные вложения и повышенные эксплуатационные расходы. Температура в этих сушилках обычно не превышает 40...45 °С (связано с особенностями применяемых хладагентов), что также следует отнести к их недостаткам. Имеются тепловые насосы (фирма «NYLE»), которые позволяют вести сушку и при более высокой температуре (до 75...80 °С).

До настоящего времени на некоторых предприятиях работают камеры с аэродинамическим подогревом. Они оборудованы мощными роторными вентиляторами с низким аэродинамическим коэффициентом полезного действия. Воздух нагревается в самом вентиляторе, так как при вращении его ротора значительная доля механической энергии эквивалентно преобразуется в тепловую. Тот же вентилятор одновременно осуществляет циркуляцию сушильного агента в камере, где энергия воздушного потока также переходит в тепловую.

Камеры просты в устройстве. Однако они не обеспечивают требуемого качества сушки из-за нерациональной циркуляции воздуха в штабеле; в них неудовлетворительно регулируются температура и степень насыщенности сушильного агента; они имеют высокую себестоимость сушки, так как для сушки используется дорогая электроэнергия. В настоящее время производство этих камер прекращено. Имеющиеся же на предприятиях камеры подлежат модернизации путем их перевода на другие источники теплоснабжения.

### § 34. Камеры непрерывного действия

Камеры непрерывного действия представляют собой сооружения в виде длинного туннеля, вмещающего несколько штабелей. Штабеля пиломатериалов загружают с одного конца камеры, называемого загрузочным («сырым»), и выгружают с противоположного, который называется разгрузочный («сухим»). Применяют два типа камер непрерывного действия: противоточные и с поперечной циркуляцией сушильного агента.

Наиболее распространены противоточные камеры (рис. 7.10, а). Они получили такое название потому, что сушильный агент в них движется навстречу движению высушиваемого материала.

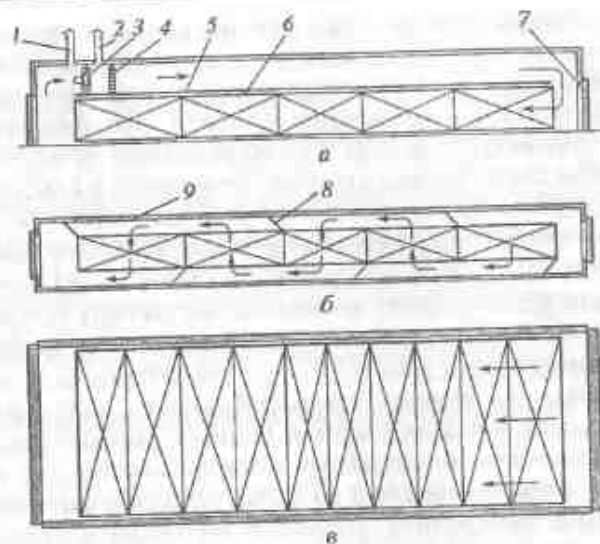


Рис. 7.10. Противоточная камера непрерывного действия: а — продольный разрез, б, в — варианты устройства камеры; 1 — приточный канал; 2 — вытяжной канал; 3 — вентилятор; 4 — calorifier; 5 — горизонтальный экран; 6 — штабеля; 7 — дверь; 8 — экран; 9 — корпус

Помещение камеры разделено горизонтальным экраном 5 на сушильное пространство, где размещена группа штабелей 6 пиломатериалов, и циркуляционный канал, в котором смонтированы осевой нереверсивный вентилятор 3 и батарея calorifierов 4. Вентилятор приводится в движение электродвигателем, расположенным в камере. На перекрытии камеры перед и за вентилятором устанавливаются приточный 1 и вытяжной 2 каналы.

Воздух, нагнетаемый вентилятором 3, нагревается в calorifierах 4, далее по циркуляционному каналу поступает в разгрузочный конец камеры. Затем он проходит последовательно через все штабеля 6 и возвращается к вентилятору. Камера работает по принципиальной схеме воздушной камеры с многократной циркуляцией (§ 25). В отличие от камер периодического действия, в которых стремятся к минимальному температурному перепаду (1...2 °С) в штабеле, для камер непрерывного действия этот перепад должен быть достаточно большим (20...25 °С), что обеспечивает, как это будет показано ниже, рациональный режим сушки.

Штабель сырых пиломатериалов, загруженный в камеру со стороны «сырого» конца, находится в среде с повышенной степенью насыщенности и относительно низкой температурой. В процес-

се сушки штабель периодически перемещается на новые места в направлении «сухого» конца камеры, где он попадает каждый раз в среду с более высокой температурой и низкой степенью насыщения. На древесину последнего штабеля, предназначенного к выкатке, воздействует воздух с максимальной температурой и минимальной степенью насыщения. Тем самым в камере обеспечивается соблюдение рационального режима сушки (см. § 23).

Рассмотренный принцип работы характерен для всех противоточных камер. Однако по способу загрузки в них штабелей и характеру движения воздуха возможны следующие варианты:

- камеры с продольной загрузкой штабелей и зигзагообразной циркуляцией (рис. 7.10, б); пиломатериалы укладывают в штабель без шпаций; зигзагообразные стены (или система экранов, примыкающих к прямым стенам) обеспечивают поперечную реверсивную циркуляцию воздуха по материалу; движение воздуха на схеме показано стрелками;
- камеры с поперечной загрузкой штабелей и прямолинейной циркуляцией (рис. 7.10, в); штабель, как и в первом варианте, занимает всю площадь поперечного сечения сушильного пространства, но движение воздуха относительно штабеля поперечное, поэтому пиломатериалы укладывают в штабель без шпаций.

Имеются, кроме того, камеры с продольной транспортировкой штабелей и прямолинейной циркуляцией. Они были построены в стационарном исполнении и в небольшом количестве. В связи с нерациональной схемой циркуляции (требуется укладка пиломатериалов со шпациями) и низким качеством сушки пиломатериалов, они широкого применения не получили и в настоящее время не эксплуатируются.

Камеры с зигзагообразной циркуляцией (впервые предложены проф. И. В. Кречетовым) построены в стационарном исполнении и эксплуатируются до настоящего времени (рис. 7.11).

Для обеспечения качественной сушки пиломатериалов в этих камерах требуется тщательное формирование штабеля при строгом соблюдении требуемых габаритных размеров. Это необходимо для предотвращения утечек воздуха между выступами зигзагообразных стен и боковой поверхностью штабеля, а также между потолком и верхом штабеля. При длине камеры 37 м они вмещают пять шестиметровых штабелей. Коридор управления располагается в помещении, находящемся над загрузочным концом сушилки. Для создания циркуляции воздуха устанавливаются осевые вентиляторы № 14 или № 16, мощностью привода 14...22 кВт.

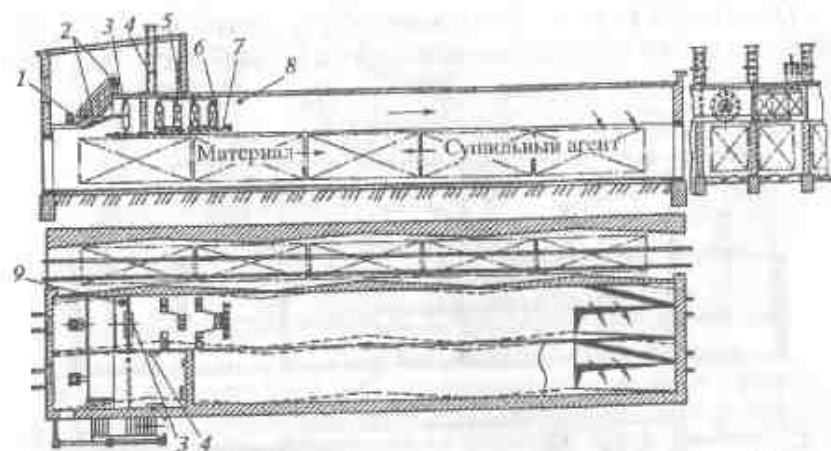


Рис. 7.11. Противоточная камера с зигзагообразной циркуляцией (проф. И. В. Кречетов):

- 1 — электродвигатель; 2 — поворотный экран с лебедкой; 3 — вентилятор; 4 — вытяжной канал; 5 — парораспределительный коллектор; 6 — calorifer; 7 — увлажнительная труба; 8 — датчики психрометра; 9 — конденсатоотводчик.

Эти камеры имеют некоторые недостатки. Возникают определенные сложности при строительстве зигзагообразных стен. Часто нарушается целостность уступов таких стен в результате заклинивания штабеля при его передвижении внутри камеры. Циркуляционный вентилятор 3 установлен на валу и имеет вынесенный за пределы сушильного пространства электродвигатель 1. Регулирование количества циркулирующего воздуха осуществляется поворотным щитом 2.

Современные камеры, значительная часть которых построена по проектам проф. А. И. Расева, практически не имеют указанных выше недостатков. Камеры имеют прямолинейные стены. Зигзагообразную циркуляцию обеспечивают металлические экраны, установленные соответствующим образом по длине сушилки. Применены вентиляторы типа FTDA № 10 с высокотемпературными электродвигателями, имеющие мощность 7 кВт. Регулирование объема циркулирующего воздуха достигается изменением числа оборотов электродвигателя частотным преобразователем.

На предприятиях большой производственной мощности, построенных до 1990 г., распространены камеры с фронтальной загрузкой штабелей. Часть этих камер построена в стационарном исполнении, имеются также сборные, заводского изготовления.

Они имеют (рис. 7.12) относительно короткий (24...32 м), но широкий (~7 м) туннель, вмещающий до 12 шестиметровых штабелей.

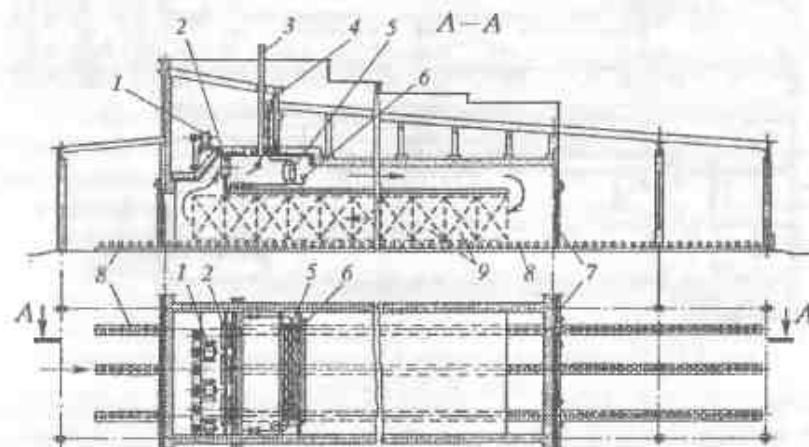


Рис. 7.12. Противоточная камера с поперечной загрузкой (проект ЦНИИМОД): 1 — электродвигатели; 2 — вентиляторы; 3 — вытяжной канал; 4 — широраспределительный коллектор; 5 — калориферы; 6 — увлажнительная труба; 7 — двери; 8 — роликовый конвейер; 9 — штабеля

Циркуляция воздуха осуществляется тремя осевыми вентиляторами 2. Для привода вентиляторов применяются многоскоростные электродвигатели 1, что дает возможность создавать, в зависимости от характеристики высушиваемого материала, различную скорость циркуляции сушильного агента. Воздух в камере нагревается батареей калориферов 5. Штабеля 9, перемещаются либо по роликовым конвейерам 8, имеющим уклон 1 : 230 в направлении «сухого» конца камеры, либо на специальных рельсовых вагонетках.

При сушке пиломатериалов с относительно низкой температурой (40...55 °С) сушильного агента интенсивность воздухообмена камеры с окружающей средой существенно возрастает. Подогрев свежего воздуха за счет тепла удаляемого из камеры отработанного воздуха (см. § 25) позволяет получить 15...20 % экономии тепловой энергии на сушку. В таких случаях камеры снабжаются рекуператорами.

Например, рекуператор, установленный в камерах фирмы «Валмет» (рис. 7.13), работает следующим образом. Часть циркулирующего воздуха, прошедшего через штабеля вспомога-

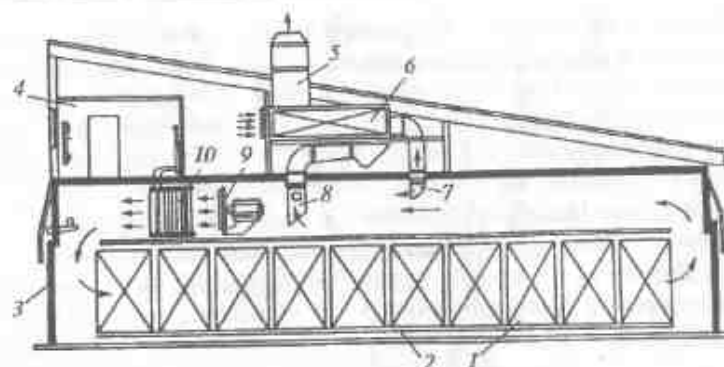


Рис. 7.13. Противоточная камера с поперечной загрузкой фирмы «Валмет»: 1 — штабеля; 2 — роликовый конвейер; 3 — дверь; 4 — коридор управления; 5 — вытяжная труба; 6 — рекуператор; 7 — приточный канал; 8 — вытяжной канал; 9 — вентилятор; 10 — калорифер

ным осевым вентилятором рекуператора удаляется из камеры через вытяжной канал 8, обтекает теплообменные трубки 6 рекуператора, нагревает при этом свежий воздух, и затем выбрасывается в атмосферу. Свежий воздух за счет разрежения, создаваемого циркуляционными вентиляторами 9, проходит через теплообменные трубки 6 рекуператора, нагревается там и далее поступает в камеру через трубу 7.

Очень часто в камерах иностранных фирм для плавного регулирования температуры теплоснабжение делают не паровым, а пароводяным. Через калориферы камеры циркулирует вода, которая нагревается паром в теплообменнике 5 (рис. 7.14), обслуживающем несколько камер. Вода из калорифера 1 подается насосом 3 в обратную («холодную») магистральную трубу 2, а затем в теплообменник 5, нагревается в нем и поступает в прямую («горячую») магистральную трубу 6. Из нее вода направляется в калориферы, а затем в обратную магистральную трубу.

Предусмотрено автоматическое и, в аварийных случаях, ручное регулирование температуры в калориферах.

Камеры с позонной и поперечной циркуляцией имеют вертикально-поперечную циркуляцию и продольную загрузку штабелей. Поперечный разрез камеры аналогичен разрезу камеры периодического действия, схема которой приведена на рис. 7.5, а. В них предусматривается позонное регулирование состояния воздуха, т. е. автономное поддержание в сыром конце камеры пониженной температуры и повышенной степени насыщения по сравнению с сухим концом.

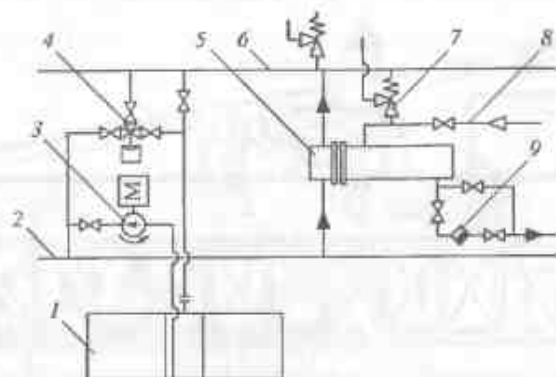


Рис. 7.14. Схема трубопроводной системы теплоснабжения калориферов:  
1 — калорифер; 2 — трубопровод обратной воды; 3 — водяной насос; 4 — регулирующий клапан; 5 — пароводяной теплообменник; 6 — трубопровод прямой воды; 7 — предохранительный клапан; 8 — паропровод; 9 — конденсатоотводчик

По длине камера имеет 5...8 зон. В каждой зоне монтируются два-три вентилятора. Путем регулирования подачи воды (пара) в калориферы этой зоны и кратности воздухообмена автоматически поддерживается заданное состояние сушильного агента.

В камерах этого типа имеются оптимальные условия просыхания пиломатериалов с их прогревом после загрузки в камеру, кондиционированием и охлаждением перед выгрузкой из камеры. Опыт эксплуатации таких камер показывает возможность бездефектной сушки пиломатериалов даже твердых лиственных пород (ясеня, дуба) толщиной 25...30 мм.

В камерах непрерывного действия одновременно можно сушить лишь однородные по характеристике пиломатериалы.

### § 35. Выбор типа сушильных камер

При проектировании нового предприятия или реконструкции действующего ставится задача выбора типа сушильных камер. Дать четкие и однозначные рекомендации невозможно, так как необходимо учитывать профиль предприятия, его производственную мощность, характер выпускаемой продукции, особенности организации транспортных работ, источник теплоснабжения и другие условия. Возможны лишь общие рекомендации.

По своему профилю деревообрабатывающие предприятия могут быть подразделены на две основные группы: предприятия,

готовой продукцией которых являются товарные пиломатериалы, и предприятия, перерабатывающие пиломатериалы в готовые изделия или полуфабрикаты (заготовки, клееные брусья, мебельные щиты). На предприятиях первой группы пиломатериалы сушат до транспортной влажности (18...22%), на предприятиях второй группы — до эксплуатационной влажности, величина которой (7...14%) определяется назначением и условиями службы изделий.

По производительности предприятия условно могут быть подразделены на предприятия малой мощности (перерабатывающие до 10 тыс. условных м<sup>3</sup> пиломатериалов в год), средней мощности (от 10 тыс. до 60 тыс. м<sup>3</sup> условных/год) и большой мощности (более 60 тыс. условных м<sup>3</sup>/год).

В зависимости от этих признаков устанавливаются принцип работы и тип камер, вид транспорта, требуемые производственные участки цеха.

К первой группе относятся, как правило, предприятия большой производственной мощности и частично средней мощности. Такие предприятия оборудуются либо камерами непрерывного действия, либо камерами периодического действия повышенной вместимости (до 200 м<sup>3</sup> пиломатериалов) с фронтальной загрузкой штабеля.

Предприятия второй группы и средней производственной мощности используют камеры периодического действия различной вместимости с фронтальной загрузкой материала.

Предприятия второй группы малой производственной мощности оснащаются камерами периодического действия с продольной загрузкой штабелей, однако при производственной мощности, близкой к предельному значению, целесообразно иметь камеры периодического действия с фронтальной загрузкой сушильного штабеля. В некоторых случаях возможны отступления от приведенных рекомендаций. В частности, авторы имеют большой опыт сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности 7...8%, в том числе древесины твердых лиственных пород, в камерах непрерывного действия.

Вид транспорта определяется принятой на предприятии системой организации транспортных работ и типом установленных сушильных камер. Все камеры непрерывного действия и камеры периодического действия с продольной загрузкой имеют рельсовый транспорт. Камеры с фронтальной загрузкой штабелей с помощью автопогрузчика не требуют использования вагонеток и рельсовых путей. Такая система транспорта является, как отмечалось выше, наиболее перспективной.

Выбору источника теплоснабжения предшествуют технико-экономические расчеты, в которых учитываются цены на топливо, пар, электроэнергию, стоимость теплогенерирующего оборудования, его монтажа и эксплуатации. В настоящее время наиболее экономичными являются котельные, которые в качестве топлива используют отходы собственного предприятия, а теплоносителем является горячая вода.

При сжигании 1 кг отходов получается, в зависимости от влажности древесины, 2,5...5,0 кВт·ч тепловой энергии. Добавив к тому, что древесина является экологически чистым и возобновляемым источником энергии, можно считать, что при существующих ценах на другие энергоносители (табл. 7.1), древесные отходы являются безальтернативным источником тепла для большинства деревообрабатывающих предприятий.

Таблица 7.1. Цены на различные источники тепловой энергии\*

Источник тепловой энергии	Цена 1 кВт·ч тепловой энергии на сушку, руб.
Электроэнергия	2,0...3,0
Технологический водяной пар (от ТЭЦ)	0,5...0,7
Природный газ	0,18...0,25
Отходы деревообрабатывающих производств	0,09...0,12

\* Данные кафедры сушки и защиты древесины МГУЛ, 2008 г.

В отдельных случаях, при наличии лимитов на природный газ, могут быть использованы газовые водяные котельные. Если на предприятии уже имеются паровые котельные, то целесообразно применять технологический водяной пар. Более того, при выпуске продукции с большой добавленной стоимостью, где цена древесины, и тем более стоимость ее сушки, составляет небольшую долю, вполне возможно применение электроэнергии.

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой сушильная камера?
2. Что является ограждением сушильных камер? Дайте характеристику этим ограждениям.
3. Какие конструкции дверей используются в сушильных камерах?
4. В чем различие между пакетным и целым штабелем?
5. В каких случаях штабель укладывают без шпаций и со шпациями?

6. Каким образом рассчитывается вместимость штабеля?
7. Опишите принцип действия сушильной камеры с естественной циркуляцией и эжекционной сушильной камеры.
8. Опишите устройство и принципы действия воздушных камер с вертикально-поперечной, с горизонтально-поперечной циркуляцией.
9. В чем состоит отличие камер с продольной и поперечной загрузкой штабелей?
10. Расскажите об устройстве и принципе действия конденсационной сушильной камеры.
11. В чем заключается особенность конструкции камеры с аэродинамическим подогревом?
12. Каков принцип работы противоточных камер?
13. В чем состоит особенность камер непрерывного действия с полой циркуляцией?
14. Каким образом работает рекуператор?
15. Как подразделяются деревообрабатывающие предприятия по профилю и по производительности?
16. Какие камеры могут быть рекомендованы для сушки пиломатериалов на деревообрабатывающих предприятиях различного профиля и производительности?

## Глава 8

### ТРАНСПОРТ В СУШИЛЬНЫХ ЦЕХАХ

#### § 36. Основные понятия о транспорте в сушильных цехах

От того, как организована связь между отдельными участками производства, зависит эффективная работа любого предприятия. Для цехов и участков сушки основу этой связи составляют транспортные операции, включающие перемещение и складирование пиломатериалов с помощью различных грузоподъемных и транспортных средств. От уровня организации этих операций в значительной степени зависят как бесперебойная работа смежных цехов, так и величина трудозатрат на этом участке, а в конечном итоге — издержки производства (себестоимость продукции).

К транспортным операциям в сушильном цехе относятся:

- подвоз сырых пиломатериалов на участок формирования штабелей или пакетов;
- перемещение сформированных штабелей или пакетов на склад сырых пиломатериалов;
- транспортировка пиломатериалов к сушильным камерам, загрузка и разгрузка сушильных камер;
- размещение сухих штабелей на складе;
- подача пиломатериалов в цех последующей обработки или для пакетирования на склад готовой продукции.

В качестве транспортных средств используется общепромышленное оборудование — автопогрузчики, краны различных типов, тельферы, рельсовый транспорт. В ряде случаев применяется оборудование, специфичное для лесосушильных цехов: траверсные тележки, погрузочные лифты-подъемники, машины, формирующие пакет или штабель.

Организация транспортных работ в значительной степени определяется планировкой сушильного участка или цеха. При ее

разработке необходимо учитывать множество факторов, отражающих структуру предприятия, площадь его территории, объем производства, климатические условия, перспективы развития предприятия. Расположение сушильного цеха и организация в нем транспортных работ должны быть увязаны с общей структурой предприятия, расположением цехов и участков, линий электропередачи, трубопроводов.

#### § 37. Формирование сушильного штабеля

Транспортной единицей в сушильном цехе является штабель, конструкция которого достаточно подробно рассмотрена ранее (§ 32).

В один штабель укладывают доски только одной породы и толщины. Допускается формировать штабель из древесины одной группы древесины мягких хвойных пород (сосна, ель, пихта).

При формировании штабеля необходимо учитывать разную толщину досок, получаемую при раскрое по заданной спецификации, которая связана как с допусками на распиловку, так и с точностью работы распиловочного оборудования. Укладка досок разной толщины в горизонтальном ряду приводит к тому, что более тонкие доски окажутся не зажатыми и, как следствие, при сушке покоребятся. Поэтому при формировании штабеля доски с большими положительными (более +1,5 мм) и отрицательными (менее -1,5 мм) допусками должны быть отсортированы и уложены в штабель отдельными рядами.

Не рекомендуется двояная укладка тонких пиломатериалов по высоте штабеля. При этом снижается качество сушки из-за значительной разницы влажности на противоположных лицевых поверхностях доски.

Необрезные доски укладывают концами в разные стороны.

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

Допускается укладка в один штабель пиломатериалов, различных по длине, в разбежку. При этом длинные доски укладывают по краям штабеля, короткие — в середине. Стыкуемые пиломатериалы располагаются не менее чем на двух прокладках, при этом внешние торцы выравниваются по торцам штабеля (рис. 8.1).

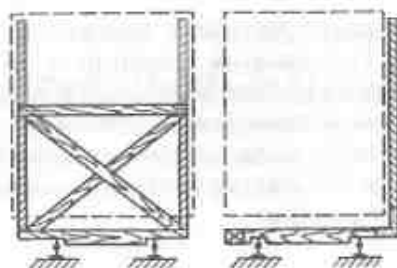


Рис. 8.1. Укладка штабеля в разбежку

Чтобы сформировать штабель правильной формы и заданных размеров, рекомендуется пользоваться габаритными шаблонами (рис. 8.2). Их изготавливают из деревянных брусков или металлического профиля.



Рис. 8.2. Габаритные шаблоны

Недогрузка штабеля по высоте не допускается. Как исключение допускается формирование неполных по ширине, но обязательно полноформатных по длине и высоте штабелей.

Основание под штабелем должно быть прочным, жестким, а верх его — горизонтальным. Длина основания должна равняться длине штабеля.

Прокладки, используемые для формирования штабелей, подразделяются на межрядовые, которые разделяют горизонтальные ряды пиломатериалов штабеля или пакета, и межпакетные, служащие для разделения пакетов при формировании штабеля.

Количество прокладок по длине пакета или штабеля устанавливается в зависимости от породы древесины, толщины пиломатериалов и длины штабеля (табл. 8.1).

Количество межпакетных прокладок по длине пакетного штабеля должно быть таким же, как и количество межрядовых прокладок. При формировании штабеля межпакетные прокладки должны размещаться в одном вертикальном ряду с межрядовыми прокладками пакетов. Размеры прокладок приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.1. Рекомендуемое количество прокладок в горизонтальном ряду пиломатериалов по длине штабеля

Толщина пиломатериалов, мм	Хвойные породы			Лиственные породы		
	Длина пакета или штабеля, м					
	2,5	4,0—4,5	6,5—6,8	2,5	4,0—4,5	6,5—6,8
16—19	5	8	12	7	10	14
22—25	5	7	10	6	9	12
32—40	4	5	7	6	8	10
50 и более	4	5	7	6	8	10

Таблица 8.2. Размеры прокладок

Назначение прокладок	Размеры		
	толщина, мм	ширина, мм	длина, м
Межрядовые	25	40	По ширине штабеля или пакета
Межпакетные	75; 100	75; 100	

При укладке в штабель заготовок в качестве прокладок допускается использовать сами заготовки при их толщине не более 32 мм и ширине не более 70 мм. Крайние прокладки рекомендуется укладывать на расстоянии не более 50 мм от торцов пиломатериалов. Концы прокладок не должны выступать за боковые поверхности штабеля более чем на 25 мм.

Прокладки изготавливаются из древесины хвойных и лиственных пород, не имеющей гнили и синевы при влажности не более 10%. Применение прокладок из сырой древесины недопустимо, особенно при сушке лиственных пород. Прокладки следует хранить в контейнерах, где они должны быть уложены параллельно. На участке формирования штабелей или пакетов следует предусмотреть места для размещения этих контейнеров.

Производительность работ по формированию цельных штабелей и сушильных пакетов приведена в табл. 8.3. В таблице указаны средние значения производительности при допустимых отклонениях  $\pm 10\%$ .

При укладке со шпациями производительность на 20% ниже по сравнению с данными, приведенными в табл. 8.3. При формировании штабеля или пакета из заготовок производительность снижается в два раза. При разборке штабелей и пакетов произ-

Таблица 8.3. Производительность работы по формированию штабелей и пакетов

Способ укладки	Число рабочих	Производительность	
		в смену, м <sup>3</sup>	рабочего, м <sup>3</sup> /ч
Ручная укладка цельного штабеля с применением эстакады	2	32/42	2,0/2,7
штабелера	4	42/52	1,3/1,6
лифта-подъемника	2	37/53	2,3/3,3
Формирование пакета: ручная укладка	2	32/42	2,0/2,7
на ПФМ-10	3(6)*	150/300	8,0/13,0 (4,0/6,0)*

*Примечание.* Показатели в числителе относятся к обрезным доскам, имеющим толщину 25 мм, а в знаменателе — к доскам толщиной 50 мм. В скобках со знаком \* дано фактическое количество рабочих и их удельная производительность.

водительность примерно в два раза выше по сравнению с приведенными нормативами.

Для предотвращения коробления верхних рядов досок на сформированный штабель строго над прокладками необходимо укладывать грузы из расчета: 80...100 кг/м<sup>2</sup> площади штабеля для досок из древесины хвойных пород и 180...200 кг/м<sup>2</sup> — из древесины лиственных пород.

Грузы могут быть изготовлены из стальной полосы размером (длина × ширина × толщина) (1000—1800) × 250 × 20 (мм) или железобетона размером (1000...1800) × 300 × 50 (мм).

Допускается в качестве грузов использовать швеллеры № 12, уложенные рядами без шпаций. Для удобства укладки их длина не должна превышать 3,0 м. При сушке пиломатериалов или заготовок твердых лиственных пород швеллеры укладываются в два ряда. Полки швеллеров располагаются навстречу друг другу.

Удовлетворительный опыт получен при применении отрезков рельса № 65, по длине равных ширине пакета или штабеля, укладываемых над прокладками. Число отрезков должно быть равно числу прокладок.

Возможно применение других устройств при соблюдении требуемого давления и учета усадки штабеля.

## § 38. Транспортные средства в сушильных цехах

В сушильных цехах до последнего времени широко применялся рельсовый транспорт. Все переместительные операции осуществлялись на рельсовых транспортных тележках с использованием как общезаводского (краны, тали, лебедки), так и специального оборудования: траверсных тележек, погрузочных лифтов, штабелеформирующих машин и другого оборудования. Такой вид транспорта позволяет рационально организовать транспортный поток, особенно когда площадь производственных помещений ограничена. Его недостатками являются большие расходы металла на рельсовые пути и транспортные тележки, высокая стоимость специального оборудования, которое изготавливается в ограниченных объемах и по заказу. Этих недостатков можно избежать, применяя систему пакетного формирования штабелей.

В последнее время широко распространение получили сушильные камеры с фронтальной загрузкой пакетных штабелей. В этом случае отпадает необходимость в рельсовом транспорте. Основным видом транспорта становится автопогрузчик с вилочными захватами, который транспортирует сушильные пакеты в камеру, формирует штабель непосредственно в камере и их расформировывает после сушки. Им же осуществляется перемещение сырых и сухих сушильных пакетов в смежные цеха. При наличии сменного подвешенного оборудования автопогрузчик становится единой транспортной единицей всего предприятия.

Система безрельсового транспорта, базирующаяся на использовании автопогрузчика, имеет большие преимущества перед рельсовым транспортом. Ее достоинством является существенное снижение числа транспортных операций. Сушильный пакет может формироваться непосредственно на сортировочной площадке лесопильного цеха, а разбираться уже в цехе обработки сухого материала или на складе готовой продукции. Отпадает необходимость в следующих операциях: формирование плотного пакета на сортировочной площадке, его разборка в сушильном цехе и формирование штабеля (пакета), расформирование сухого штабеля (пакета), сборка плотного пакета пиломатериалов.

Рассмотрим конструкции и краткие характеристики рельсового и безрельсового транспорта, применяемого в сушильных цехах.

Транспортные (подштабельные) тележки. Наиболее рациональными являются рельсовые цельносварные тележки, длина и ширина которых соответствует размерам штабеля. Тележка со-

стоит из рамы, сваренной из швеллеров или уголков, и трех пар колес. Эти тележки должны иметь высоту (расстояние от головки рельса до низа штабеля) 200...250 мм. Этим обеспечивается максимально полное использование сушильного пространства камеры. Их грузоподъемность находится в пределах от 5 до 20 т в зависимости от вместимости штабеля, породы, толщины и влажности материала.

К недостаткам этих тележек следует отнести снижение вместимости камер при формировании штабеля из пиломатериалов разной длины (например, из досок длиной 6 и 4 м). Более универсальны тележки длиной 2,0 м. При этом штабель из шестиметровых досок формируется на трех тележках, а из четырехметровых — на двух. Допускается формирование штабелей другой длины, однако при этом расстояние между тележками не должно превышать расстояния между прокладками штабеля.

На некоторых предприятиях продолжают применять вагонетки, собранные из треков. Трек представляет собой двухколесную тележку (рис. 8.3, а), устанавливаемую на один рельс. Штабель длиной шесть метров формируют на трех парах треков (рис. 8.3, б). При этом два парных трека связывают поперечными брусками, образующими основание штабеля. Основным недостатком такой конструкции является отсутствие жесткого основания штабеля,

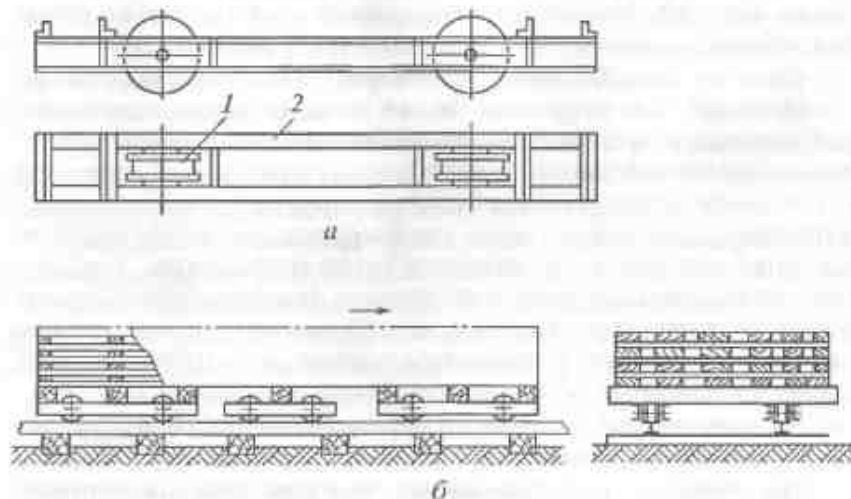


Рис. 8.3. Сушильные треки:  
а — общий вид трека; б — сборка трекерной платформы

что приводит к частым сходам треков с рельсового пути. Другой недостаток состоит в том, что трекерная вагонетка вместе с брусками, имея высоту 350...400 мм, снижает вместимость штабеля.

Ширина рельсовой колеи в сушильных цехах равна 1000 мм. В камерах периодического действия рельсы укладывают горизонтально, а в камерах непрерывного действия рельсам придают уклон в сторону движения штабелей от 1 : 500 до 1 : 200 для облегчения их перемещения.

При расчете числа транспортных тележек  $m$  учитываются тележки, находящиеся в камерах, на складах сырого и сухого пиломатериалов, на местах формирования и расформирования штабеля:

$$m = m_k + m_1 + m_2 + m_3, \quad (8.1)$$

где  $m_k$  — число тележек находящихся в камере;

$m_1, m_2$  — число тележек на складах сырого и сухого пиломатериалов;

$m_3$  — число тележек на участке формирования и расформирования штабеля.

При применении треков их количество при длине штабеля 6,2 м утраивается, а при длине 4,2 м удваивается.

Устройства для формирования цельного штабеля. Погрузочный лифт. Основным устройством для формирования цельного штабеля является вертикальный подъемник или погрузочный лифт (рис. 8.4).

Его устанавливают в котловане, глубина которого составляет около 3 м. Он состоит из платформы 3, которая жестко связана с неподвижными резьбовыми втулками подъемных винтов 2. Винты опираются на упорные подшипники. Они получают вращение от валов 4 и редуктора с электродвигателем 5 (в некоторых конструкциях лифтов используется цепная передача). При этом платформа может перемещаться вверх или вниз. На платформе уложены рельсы с шириной колеи, которая соответствует колее рельсового пути цеха.

Лифт работает следующим образом. Платформу устанавливают так, чтобы строго совпали рельсы лифта и цехового пути. На лифт закатывают транспортную тележку, после чего рабочие начинают формировать горизонтальные ряды штабеля. По мере его укладки платформу постепенно опускают, поддерживая фронт работ на наиболее удобном уровне (700...800 мм). После окончания формирования штабеля платформу поднимают до исходного

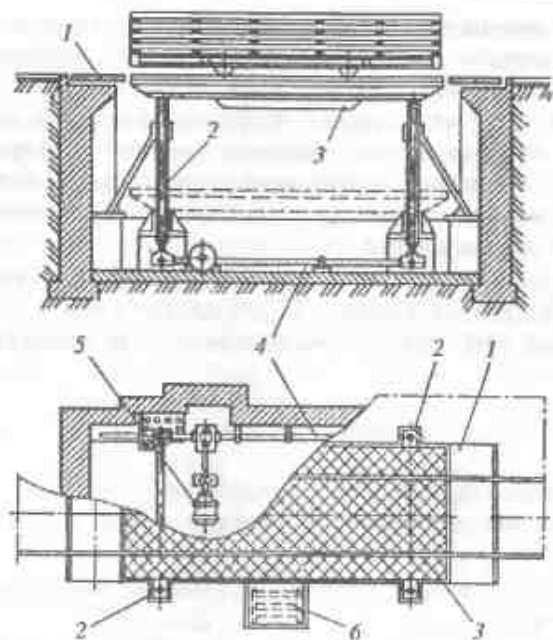


Рис. 8.4. Вертикальный подъемник:

1 — настил; 2 — подъемные нити; 3 — платформа; 4 — валы привода; 5 — электродвигатель; 6 — люк лаза в котлован

положения и далее скатывают штабель на рельсовый путь цеха. Лифт можно использовать и для разборки штабелей. Работа при этом выполняется в обратной последовательности.

При отсутствии погрузочного лифта прибегают к ручной укладке, в том числе и высокого штабеля. Наиболее трудоемким является формирование его верхней части, когда доски приходится поднимать на высоту до 3 м. В этом случае для укладки верхней половины штабеля применяют эстакады (рис. 8.5).

Вдоль эстакады прокладывают рельсовый путь длиной на 1...2 штабеля. Первоначально на транспортной тележке формируют нижнюю часть штабеля до высоты 1,7...2,0 м, а затем с эстакады, имеющей высоту 1,5 м, верхнюю его часть. Плотные пакеты пиломатериалов подают на эстакаду автопогрузчиками и другими грузоподъемными средствами. Для подъема досок при укладке верхней части штабеля иногда применяют штабелеры (рис. 8.6). Требуемое количество эстакад или штабелеров определяется в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл. 8.3.

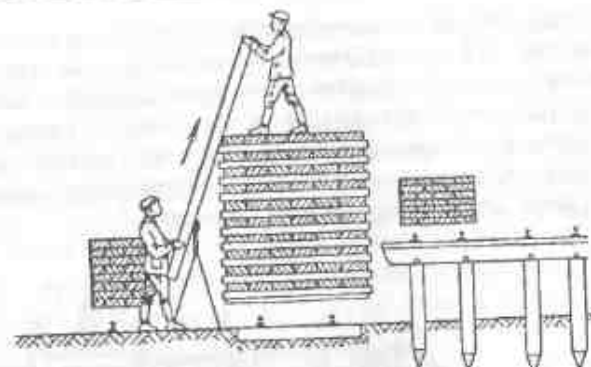
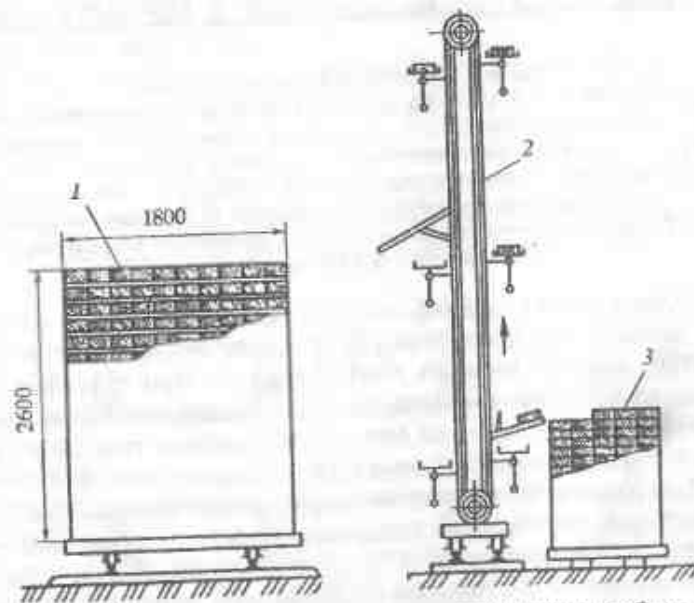


Рис. 8.5. Укладка штабеля с помощью эстакады

Рис. 8.6. Штабелер для формирования верхней части штабеля:  
1 — штабель; 2 — штабелер; 3 — плотный пакет пиломатериалов

**Пакетоформирующая машина.** Пакетный способ формирования сушильных штабелей, как отмечалось выше, более производительен и экономичен по сравнению с укладкой цельным штабелем. Для предприятий небольшой производственной мощности вполне допустима ручная укладка сушильных пакетов. Для

больших предприятий целесообразно применение пакетоформирующих машин. На предприятиях используются машины как отечественного, так и зарубежного производства. Устройство, основные узлы и принцип действия этих машин примерно одинаковы. Рассмотрим процесс формирования сушильного пакета на пакетоформирующей машине отечественного производства ПФМ-10, схема которой приведена на рис. 8.7.

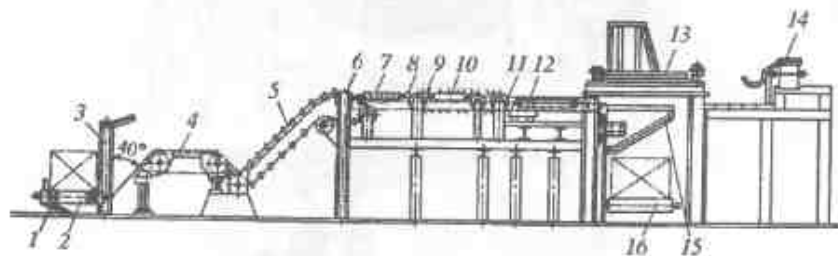


Рис. 8.7. Пакетоформирующая машина:

1 — цепной конвейер; 2, 16 — роликовые конвейеры; 3 — наклонный подъемник; 4 — приемный конвейер; 5 — наклонный конвейер; 6 — горизонтальный конвейер; 7 — правый концевик; 8 — механизм поштучной подачи досок; 9 — горизонтальный конвейер с разновысокой цепью; 10 — левый концевик; 11 — щитонаборный конвейер; 12 — каретка; 13 — механизм выдачи прокладок; 14 — конвейер подачи прокладок; 15 — кронштейн вертикального подъемника; 16 — роликовый конвейер.

Плотный пакет сырых пиломатериалов цепным конвейером 1 подается на ролики 2. Далее пакет снимается с роликов кронштейнами наклонного подъемника 3. При его наклоне и подъеме на нем пакета доски рядами соскальзывают на приемный конвейер 4, а затем на наклонный цепной транспортер 5 с упорами, с которого доски попадают на горизонтальный конвейер 6. При движении на нем пиломатериалы выравниваются по правому торцу роликовым концевиком 7. Далее они через механизм поштучной подачи 8 поступают на второй горизонтальный конвейер 9 с разновысокой цепью, попадая в его высокие и низкие ячейки.

Доски, находящиеся в нижних ячейках, выравниваются по левому торцу вторым концевиком 10. Затем доски попадают на цепи щитонаборного конвейера 11. Когда щит достигнет требуемой ширины, вводится в действие механизм перемещения каретки 12, снабженной вилчатыми рычагами. Рычаги поднимаются в верхнее положение, снимают сформированный щит с цепей конвейера 11, и каретка перемещается вперед к верти-

кальному подъемнику 15. Рычаги имеют приводные цепи, которые при движении каретки вперед остаются неподвижными. В конце хода каретки рычаги опускаются в нижнее положение, и она получает обратный ход. Одновременно приводятся в движение приводные цепи, которые движутся в обратном направлении со скоростью каретки. Щит из досок по мере отхода каретки ложится на прокладки формируемого пакета. При возвращении каретки 12 в исходное положение включается привод кассетного механизма 13, который укладывает новые прокладки на щит. После этого кронштейны вертикального подъемника опускаются на высоту одного ряда пакета. Полностью сформированный пакет поступает на роликовый конвейер 16 и удаляется из машины.

Транверсная тележка (рис. 8.8). Она служит для перестановки сушильных штабелей с одного пути на другой, для их загрузки в камеры и выгрузки из них.

Тележка представляет собой платформу, на которой уложены рельсы, колея которых точно совпадает с цеховыми путями.

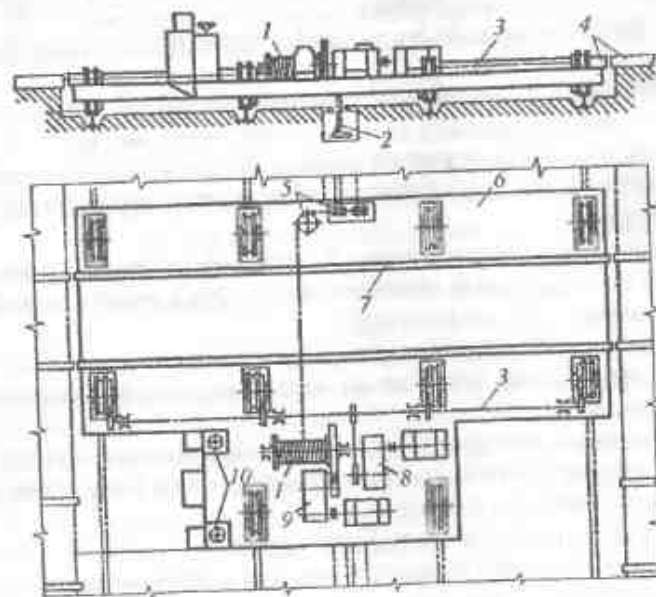


Рис. 8.8. Транверсная тележка:

1 — лебедка; 2 — кабель электропитания; 3 — вал механизма передвижения; 4, 7 — рельсы; 5 — блоки; 6 — платформа; 8 — привод механизма передвижения; 9 — привод лебедки; 10 — пульт управления

Платформа движется вдоль фронта сушильных камер по трех- или четырехниточному рельсовому пути, уложенному в углублении, называемом траверсной траншеей. Тележки оборудуются механизмом передвижения по траншее, грузовой тросовой лебедкой с блоками для перемещения штабелей.

Грузоподъемность тележек колеблется от 10 до 20 т. Тележки могут выпускаться машиностроительными заводами по специальному заказу.

Сменная производительность  $\Pi_c$ , м<sup>3</sup>/смена, траверсной тележки рассчитывается по выражению

$$\Pi_c = \frac{T_c E k}{2\tau_u}, \quad (8.2)$$

где  $T_c$  — продолжительность рабочей смены, ч;

$E$  — вместимость штабеля, м<sup>3</sup>;

$k$  — коэффициент использования рабочего времени; из-за большой разницы между сроками сушки и временем загрузки и выгрузки принимается равным 0,3;

$\tau_u$  — продолжительность транспортного цикла траверсной тележки, ч.

Цикл работы траверсной тележки включает транспортные операции, выполняемые в такой последовательности:

- холостой ход тележки от камеры до места закатки штабеля; в расчеты закладывается расстояние от наиболее удаленной камеры;
- сматывание тягового троса с барабана лебедки, установленной на траверсной тележке, обвод троса вокруг блока и зацепление его с вагонеткой;
- закатка штабеля на тележку;
- ход траверсной тележки от места закатки до загружаемой камеры;
- сматывание тягового троса с барабана лебедки, обвод троса вокруг направляющего блока и зацепление его с вагонеткой;
- закатка штабеля в камеру;
- наматывание троса на барабан лебедки.

Без большой погрешности средняя продолжительность транспортного цикла  $\tau_u$  может быть принята равной 0,25 ч.

Поскольку перед загрузкой штабеля в камеру из нее необходимо выгрузить сухой штабель, продолжительность  $\tau_u$  в выражении (8.2) удваивается.

**Лебедка.** Лебедкой называют подъемно-транспортный механизм, состоящий из барабана 2 с канатом, редуктора 4 с электродвигателем 3 и тормоза 6 (рис. 8.9).

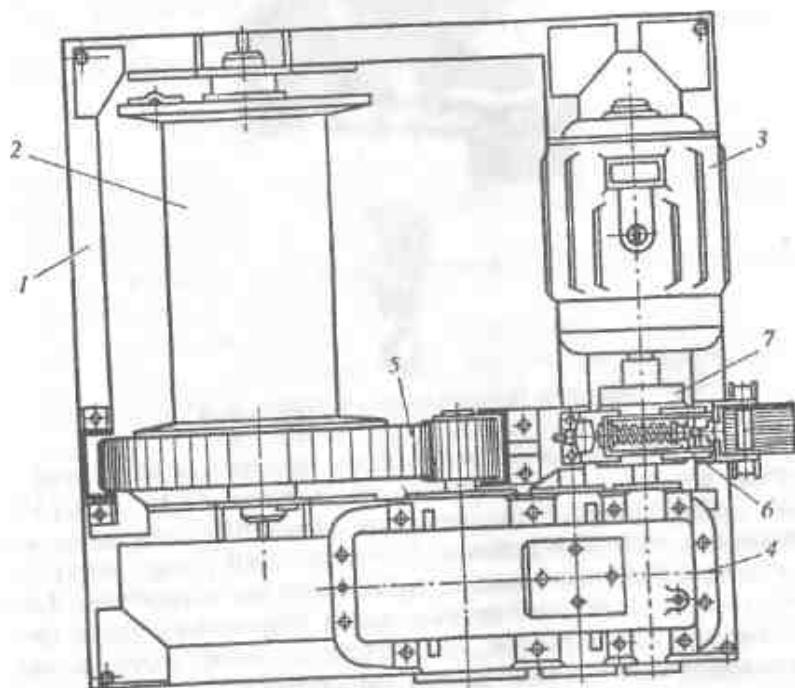


Рис. 8.9. Общий вид тяговой лебедки:  
1 — рама; 2 — барабан; 3 — электродвигатель; 4 — редуктор; 5 — шестеренчатая пара; 6 — тормозное устройство; 7 — муфта

В сушильных цехах лебедки используются для тяговых операций. Они стационарно устанавливаются либо на траверсной тележке, либо на площадке перед фронтом выгрузки сушильных штабелей. Для перемещения транспортных тележек, кроме лебедки, дополнительно используется система блоков. Лебедка выбирается по тяговому усилию  $F$ , величина которого составляет примерно 10 % веса перемещаемой тележки со штабелем.

**Таль электрическая.** Таль электрическая (электроталь) представляет собой компактный грузоподъемный механизм, включающий электродвигатель, малогабаритный редуктор (цилиндрический или планетарный), грузовой барабан с канатом и крюковой подвеской, тормоз и пульт управления (рис. 8.10).



Рис. 8.10. Общий вид тали электрической

Таль перемещается по подвесному монорельсовому пути, в качестве которого используются двутавровые балки № 24М... 36М, (ГОСТ 19425—74\*). Этот путь может быть как прямолинейным, так и криволинейным. Минимальный радиус закругления указывается в технической характеристике устройства. Таль может являться составной частью крана. Управление талью осуществляется, как правило, посредством кнопочного пульта управления (4-кнопочный — для монорельса, 6-кнопочный — для крана). Электротали могут иметь исполнение с уменьшенной строительной высотой. Они рекомендуются, когда требуется увеличить расстояние от пола до максимально поднятого крюка.

Тали оборудованы электродвигателями и аппаратурой защищенного или открытого исполнения. Они могут работать в помещениях или под навесом при температуре окружающей среды от  $-20^{\circ}$  до  $+40^{\circ}$  С. Не допускается эксплуатация талей во взрывоопасной и пожароопасной средах, если это не отражено в их технической документации.

Расчет сменной производительности электротали производится по выражению

$$\Pi_c = \frac{T_c E k}{\tau_{\text{ц}}}, \quad (8.3)$$

где  $T_c$  — продолжительность рабочей смены, ч;

$E$  — вместимость перемещаемого пакета,  $\text{м}^3$ ;  
 $k$  — коэффициент использования рабочего времени (0,8...0,9);

$\tau_{\text{ц}}$  — продолжительность транспортного цикла электротали, ч.

В свою очередь, продолжительность одного транспортного цикла составляет

$$\tau_{\text{ц}} = 2l_1 / (60 \cdot \omega_1) + 2l_2 / (60 \cdot \omega_2) + \tau_{\text{ст}} + \tau_{\text{пр}}, \quad (8.4)$$

где  $l_1$  — длина пути электротали по монорельсу на холостом или рабочем ходу (расчет ведется по длине монорельса, в соответствии с планировкой цеха), м;

$\omega_1$  — скорость движения электротали по монорельсу, м/мин;

$l_2$  — высота подъема пакета, м;

$\omega_2$  — скорость подъема крюка электротали, м/мин;

$\tau_{\text{ст}}$  — время, необходимое для того, чтобы застропить пакет пиломатериалов, принимается равным 0,033 ч (2 мин);

$\tau_{\text{пр}}$  — время, потребное для освобождения пакета от строп и равное 0,025 ч.

**Краны.** На деревообрабатывающих предприятиях получили распространение опорные мостовые однобалочные краны с электроталими (рис. 8.11). Они используются для выполнения подъемно-транспортных работ в сушильных и деревообрабатывающих цехах и на складах. Кран состоит из главной балки, на концах которой закреплены тележки. С их помощью эта балка перемещается вдоль цеха или склада на рельсах. Рельсы монтируют на опорах такой высоты, которая позволяла бы поднимать груз на заданную величину. На главной балке устанавливают электроталь. Управление краном осуществляется, как правило, с

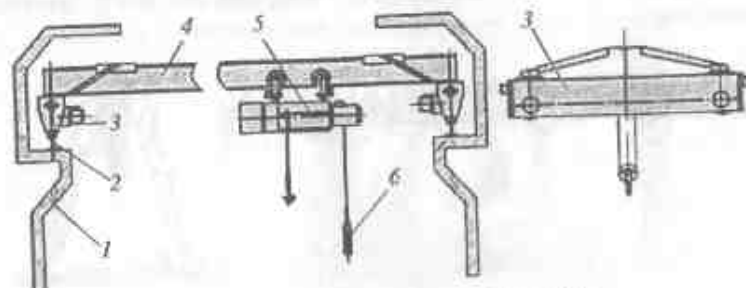


Рис. 8.11. Общий вид мостового крана:

1 — опорная колонна; 2 — рельс; 3 — тележка; 4 — главная балка; 5 — таль электрическая; 6 — пульт управления

пола. Такой кран обычно называют **кран-балкой** (возможна поставка крана с управлением из кабины).

Скорость передвижения опорных кранов — 0,4...1,0 м/с (24...60 м/мин). При установке частотного преобразователя эту скорость можно изменять, осуществляя главный разгон и торможение крана. При этом значительно возрастает ресурс мотор-редукторов крана, уменьшается износ путей и, в конечном итоге, экономятся денежные средства.

Опорные краны выпускаются с высотой подъема 6...18 м.

В кранах, которые работают на открытом воздухе, электроталь и привод механизма передвижения крана должны быть защищены от непосредственного воздействия атмосферных осадков.

Краны эксплуатируются при температуре окружающего воздуха от -20 до +40 °С.

Скорости подъема груза и перемещения талей соответствуют технической характеристике примененной тали.

Производительность кран-балки в смену рассчитывается по выражению (8.3), а продолжительность транспортного цикла — по следующей формуле:

$$\tau_{ii} = 2l_1/(60\omega_1) + 2l_2/(60\omega_2) + 2l_3/(60\omega_3) + \tau_{ct} + \tau_{пр} \quad (8.5)$$

где  $l_1$  — рабочая длина главной балки, м;

$l_2$  — длина кранового пути, определяемая планировкой сушильного цеха, м;

$\omega_3$  — скорость движения кран-балки, м/мин.

На складах атмосферной сушки широко используются **козловые краны**. Как правило, применяются двухконсольные краны (рис. 8.12). Это позволяет размещать краны вдоль железнодорожных путей, используя последние как для отгрузки товарных

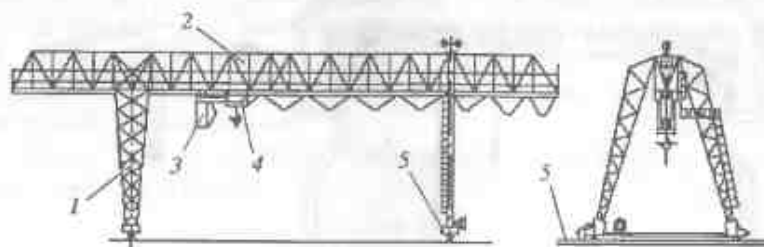


Рис. 8.12. Общий вид консольного крана:

1 — опора-нога; 2 — несущая балка; 3 — кабина; 4 — таль электрическая; 5 — рельсы

пиломатериалов, так и для выгрузки поступившего на предприятие пиловочника.

Козловой кран имеет несущую мостовую конструкцию, опирающуюся на высокие опоры (ноги). Несущая часть выполняется в виде одной или двух балок, решетчатой фермы или трубы, к нижнему поясу которых прикреплена двутавровая балка для электрической тали и тележки.

Управление подъемом груза, перемещением тележки вдоль балки, движением самого крана по рельсовым путям осуществляется крановщиком из кабины, установленной на тележке. Механизм передвижения крана располагается на одной или двух его опорах.

Основные параметры козловых кранов с талью и грузовой тележкой регламентированы ГОСТ 7352—88.

К положительным сторонам использования кранов можно отнести: большие пролеты между крановыми путями; широкий диапазон рабочей высоты подъема; рациональное использование производственных площадей.

Отрицательной стороной их применения является необходимость предварительного строительства подкрановой эстакады или путей.

Производительность козлового крана определяется расчетом по выражениям (8.3) и (8.5).

**Погрузчики.** Погрузчики подразделяются на автопогрузчики и электропогрузчики. Автопогрузчик представляет собой, как правило, четырехколесное самоходное транспортное средство (рис. 8.13). При работе в тесных помещениях и потребности в небольшой, до 1,5 т, грузоподъемности, используются трехколесные автопогрузчики. На их шасси крепятся следующие основные узлы и агрегаты: дизельный или газ/бензиновый двигатель внутреннего сгорания, гидродинамическая или механическая передача, передающая движение от двигателя к ведущему



Рис. 8.13. Общий вид автопогрузчика

мосту; управляемый задний мост; грузоподъемная мачта и кабина для водителя, где находятся органы управления.

Электропогрузчик вместо двигателя внутреннего сгорания имеет электродвигатель и тяговую аккумуляторную батарею. Он имеет определенные преимущества перед автопогрузчиком, так как практически бесшумен, в отличие от первого не требуют регистрации в государственных органах. Их устройство и управление намного проще. При эксплуатации нет выделения выхлопных газов.

Однако электропогрузчики дороже автопогрузчиков в среднем на 30%. Кроме того, им требуется отдельное помещение для зарядки тяговых аккумуляторов со специально обученным обслуживающим персоналом. Без подзарядки эти погрузчики работают, как правило, не более 12 ч. Электропогрузчики при их эксплуатации в обычном исполнении не допускают большого перепада температуры.

По этим причинам на сегодняшний день автопогрузчики находят наиболее широкое применение на различных предприятиях (как в помещениях, так и на улице). При этом предпочтение отдается газ/бензиновым погрузчикам, которые, в отличие от дизельных, можно эксплуатировать в помещениях без установки катализаторов. Кроме того, газ/бензиновый погрузчик менее шумный, чем дизельный погрузчик.

Основным подъемным устройством погрузчика любого типа являются вилы, смонтированные на грузоподъемной мачте. Обычно длина вил погрузчиков зависит от типа транспортируемого груза и колеблется в диапазоне от 730 до 1400 мм. Наиболее распространены вилы длиной 1100...1200 мм. На месте вил могут быть установлены другие сменные приспособления: стелкиватели, ковши, каретки смещения и другие устройства.

Грузоподъемность вилочных погрузчиков определяется по массе и высоте поднимаемого груза.

Для работы погрузчиков полы или открытые площадки должны иметь твердое и гладкое покрытие (асфальт, бетон).

Автопогрузчики эксплуатируются при температуре окружающего воздуха от  $-25$  до  $+35$  °С.

Производительность авто- или электропогрузчика рассчитывается по выражению (8.3), где  $\tau_n$  — продолжительность транспортного цикла погрузчика. В свою очередь, эта продолжительность определяется по формуле

$$\tau_n = 2l_1 / (1000\omega_1) + \tau_{\text{под}} + \tau_{\text{от}} \quad (8.6)$$

где  $l_1$  — длина холостого или рабочего пути погрузчика, м, расчет ведется по максимальной длине пути, в соответствии с планировкой цеха;

$\omega_1$  — скорость движения погрузчика, км/ч; на предприятии, как правило, она ограничена и составляет 5 км/ч;

$\tau_{\text{под}}$  — время на захват пакета вилками погрузчика и его подъем; принимается равным 0,025 ч;

$\tau_{\text{от}}$  — время на опускание пакета и освобождение его от вилки погрузчика; принимается равным 0,025 ч.

**Технологический расчет транспортного оборудования.** Расчет проводится с целью определения требуемого количества подъемно-транспортного оборудования, обеспечивающего ритмичную бесперебойную работу сушильного цеха.

На большинстве деревообрабатывающих предприятий пиломатериалы на сушку поступают из лесопильного цеха. Фактический объем транспортируемых сырых пиломатериалов  $\Phi_p$  может быть равен производительности лесопильного цеха  $\Pi_{\text{лп}}$  или определяться техническим заданием на проектирование сушильного цеха.

Для предприятия, которое получает сырые пиломатериалы из другого места, необходимо учитывать неравномерность поставки. В таком случае объем грузопотока  $\Phi_p$  на склады сырых пиломатериалов или их атмосферной сушки необходимо корректировать путем введения коэффициента неравномерности поставки  $\eta_{\text{ин}}$ , величина которого варьирует от 0,6 до 0,9,

$$\Phi_p = \Phi_n / \eta_{\text{ин}} \quad (8.7)$$

где  $\Phi_n$  — объем годовой поставки сырых пиломатериалов.

Последующие транспортные операции (после указанных выше) рассчитываются из условия  $\Phi_p = \Phi_n$ , поскольку на следующих технологических операциях соблюдается ритмичность поставки.

Потребное количество единиц транспортного оборудования  $n$  в смену рассчитывается по выражению

$$n = \Phi_p / (T m_c k \Pi), \quad (8.8)$$

где  $T$  — число дней работы оборудования в году; с учетом праздничных и выходных дней; число рабочих дней равно 265;

$m_c$  — число рабочих смен;

$k$  — коэффициент неравномерности грузопотока (0,6...0,9);

П — сменная производительность транспортного или грузоподъемного оборудования; рассчитывается в соответствии с рекомендациями, данными выше для каждого вида оборудования.

### § 39. Состав сушильного цеха.

#### Планировка сушильных цехов

Сушильный цех имеет следующие производственные участки:

- склад сырых пиломатериалов;
- участок формирования сушильных штабелей или пакетов;
- блок сушильных камер с коридором управления;
- участок расформирования штабелей или пакетов;
- склад сухих пиломатериалов или заготовок.

Кроме того, в состав цеха входят лаборатория и служебно-бытовые помещения.

Склад сырых пиломатериалов предназначен для создания запаса сформированных пакетов или штабелей, который обеспечивает ритмичную загрузку камер.

В том случае когда предприятие закупает пиломатериалы или получает их со смежного предприятия, вместимость склада должна обеспечивать не менее чем недельную производительность сушильного цеха.

При производстве на лесопильном предприятии товарных пиломатериалов площадь склада зависит от принятой схемы их сортировки. Целесообразно вести расчет на накопительное хранение пиломатериалов, предварительно рассортированных по толщине и породам древесины, для обеспечения полной своевременной загрузки сушильных камер. Окончательная сортировка по сортам пиломатериалов, их ширине и длине будет осуществлена на участке сортировки и упаковки готовой продукции.

На складе лесопильно-деревообрабатывающего предприятия необходимо хранить материал в объеме равном двух-трехсуточной производительности сушильного цеха. Его минимальная вместимость должна обеспечивать полную загрузку одной сушильной камеры.

Участок для формирования целого штабеля располагается в сушильном цехе. Участок же формирования сушильных пакетов может находиться как на сортировочной площадке лесопильного цеха (что наиболее рационально), так и под навесом на площад-

ке перед сушильным цехом или непосредственно в сушильном цехе. Его площадь зависит от числа рабочих мест, которое, в свою очередь, определяется производительностью сушильного цеха (см. табл. 8.3). Участок формирования штабелей включает место для размещения плотного пакета сырых пиломатериалов, площадку, где формируется штабель или пакет и место для контейнера с прокладками (рис. 8.14). Необходимо предусмотреть площади, обеспечивающие подъезд транспортных средств к этому участку.

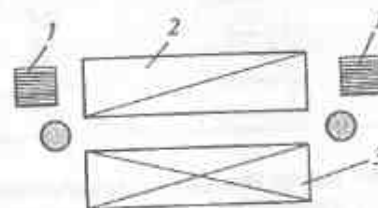


Рис. 8.14. Схема участка формирования пакетов:  
1 — контейнеры с прокладками; 2 — плотный пакет; 3 — сушильный пакет

Сушильные камеры размещаются блоками. В непосредственной близости от них должен находиться коридор управления. Его обычно располагают вдоль заднего фронта камер периодического действия, а для камер непрерывного действия — на втором этаже со стороны загрузки камер. Коридор управления должен иметь дневное освещение.

Склад сухих пиломатериалов служит для хранения пиломатериалов после сушки. В цехах с камерами непрерывного действия он, кроме того, используется для остывания штабелей после окончания сушки. Помещение склада должно быть отделено от других участков сушильного цеха и быть отапливаемым. Состояние воздуха на складе должно быть равносильно заданной конечной влажности пиломатериалов. Для этого склад должен иметь системы приточно-вытяжной вентиляции или кондиционирования.

При температуре 10...20 °С степень насыщенности (относительная влажность) воздуха в помещении склада не должна превышать величины, приведенные в табл. 8.4.

Вместимость склада рассчитывается на хранение не менее трех-четырехсуточного запаса пиломатериалов, что приблизительно соответствует 60...70 % суммарной вместимости всех сушильных камер цеха. Объем материала на складе может быть

Таблица 8.4. Рекомендуемая степень насыщенности воздуха на складе сухих пиломатериалов

Категория качества сушки	Конечная влажность пиломатериалов, %	Длительность хранения		
		до 1 месяца	от 1 до 3 месяцев	свыше 3 месяцев
%		Степень насыщенности, ф, %		
I	6	55	50	45
I	8	65	60	55
II	6	55	50	45
II	8	65	60	55
II	10	75	70	65

рассчитан достаточно точно исходя из ритмичной работы обрабатывающих цехов или склада готовой продукции, в зависимости от числа размерно-породных групп пиломатериалов, их сортности и прочих факторов.

При расчете площади склада следует учитывать применяемые транспортные средства. При хранении пиломатериалов в штабелях на вагонетках определяется требуемое число этих вагонеток и количество рельсовых путей. При хранении в сушильных пакетах, при известном их числе, площадь склада вдвое больше площади занимаемой пакетами.

Лабораторию обычно располагают рядом с коридором управления и ближе к участку формирования штабелей или пакетов для облегчения выполнения контрольных операций по определению влажности пиломатериалов.

Служебно-бытовые помещения удобно располагать в одном блоке. Их площадь определяется количеством работающих, требованиями санитарных норм и правилами проектирования деревообрабатывающих предприятий.

Примерное соотношение площадей производственных участков сушильного цеха приведено в табл. 8.5. Данные этой таблицы могут быть использованы для укрупненных расчетов площади сушильного цеха.

Планировка сушильного цеха определяется типом сушильных камер, принятой системой организации транспортных работ. Должны быть учтены как расположение других производственных цехов, так и их транспортные связи. Эти факторы определяют большое разнообразие планировок цеха.

Таблица 8.5. Производственные участки, бытовые и вспомогательные помещения сушильного цеха и примерное соотношение их площадей

Производственный участок или помещение	Процент общей площади цеха
Сушильные камеры	20...50
Транверсный коридор	0...20
Склад сырых пиломатериалов	10...15
Участок формирования сушильных штабелей или пакетов	0...10
Участок расформирования сухих штабелей или пакетов	0...10
Склад сухих материалов	30...40
Коридор управления	0...5
Лаборатория (15...18 м <sup>2</sup> )	—
Офис (9...12 м <sup>2</sup> )	—
Бытовые помещения (площадь определяется нормативами, в зависимости от числа работающих)	3...5

Однако можно выделить основные варианты планировок по принципу действия камеры и принятой системы организации транспортных работ. Такие варианты будут рассмотрены ниже. При составлении планировки цеха следует избегать встречных грузопотоков и транспортных петель, кроме возврата порожних тележек и освободившихся прокладок на место формирования штабелей или пакетов.

Организация транспортных работ и планировка сушильного цеха при системе целого штабеля. Рассмотрим особенности погрузочно-транспортной системы целого штабеля. В сушильном цехе, оснащенном камерами периодического действия, планировка которого дана на рис. 8.15, штабель пиломатериалов формируют на подъемнике 1. Затем его закатывают на траверсную тележку 2, с ее помощью устанавливают напротив одной из камер блока 4 и загружают в камеру.

При таком варианте все транспортные операции выполняются лебедкой 9 траверсной тележки с использованием комплекта блоков 10.

После сушки штабель выгружают из камеры и подают на склад сухих пиломатериалов, расположенный напротив сушиль-

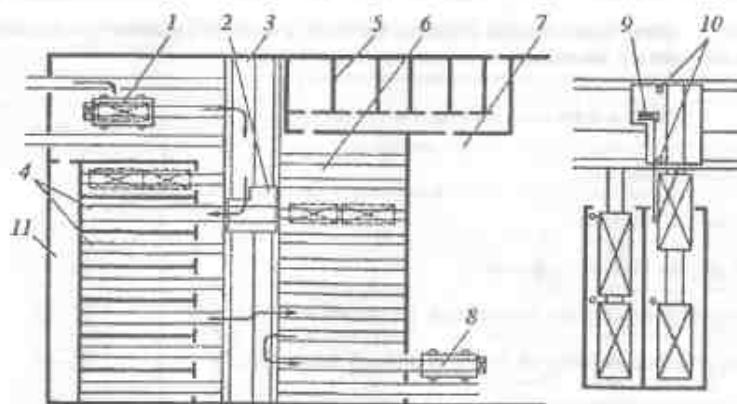


Рис. 8.15. Планировка сушильного цеха, оснащенного камерами периодического действия при системе цельного штабеля:

1, 8 — лифт-подъемник; 2 — траверсная тележка; 3 — траверсная траншея; 4 — блок сушильных камер; 5 — служебно-бытовые помещения, включая лабораторию; 6 — склад сухих пиломатериалов; 7 — деревообрабатывающий цех; 9 — лебедка титовая; 10 — блоки; 11 — коридор управления

ного блока, и со склада по мере надобности — в деревообрабатывающий цех, где перед станком первичной обработки может быть установлен второй подъемник.

В цехах с камерами непрерывного действия применяют аналогичную систему транспорта, однако в этом случае требуются две траверсных тележки, расположенные со стороны загрузочного и разгрузочного концов сушильного блока.

Особенности организации транспортных работ и планировок сушильного цеха при системе сушильного пакета. Планировка сушильного цеха, оснащенного камерами периодического действия с продольной загрузкой и годовой производительностью около 5,0 тыс. м<sup>3</sup>/год изображена на рис. 8.16. Сырые пиломатериалы в плотных пакетах подают в цех по рельсовому пути 3 на транспортной тележке в зону действия электротали. Пакет 4 формируют вручную, организуя работу в соответствии со схемой (рис. 8.14). Готовый сушильный пакет при помощи электротали устанавливают на транспортную тележку перед фронтом камеры, подлежащей загрузке.

Штабель собирают, устанавливая на первый пакет еще один или два пакета, в зависимости от грузоподъемности тали и высоты камеры.

Предварительно сформированные пакеты хранятся на свободных местах в зоне действия электротали. Загрузка штабелей в

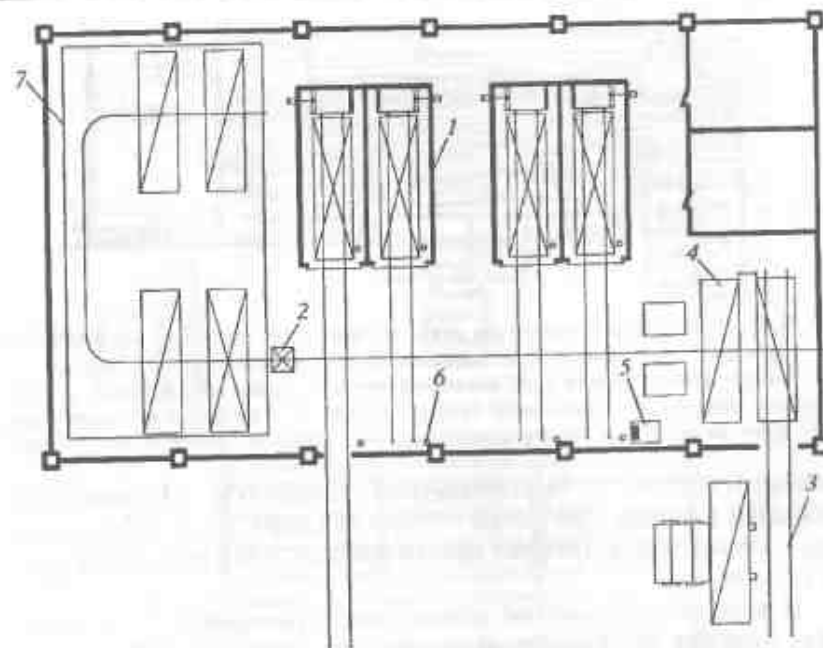


Рис. 8.16. Планировка цеха, оснащенного камерами периодического действия, при системе единого пакета:

1 — сушильные камеры; 2 — таль электрическая; 3 — рельсовый путь; 4 — место формирования сушильного пакета; 5 — лебедка; 6 — блоки; 7 — участок разборки сушильных пакетов и хранения сухого материала

камеры и их разгрузка производятся при помощи лебедки 5 и системы блоков 6 по схеме, приведенной на рис. 8.15. Высушенные пакеты далее подаются на место 8 формирования плотных пакетов с последующей их транспортировкой в цех дальнейшей обработки или сразу, без их разборки, в тот же цех.

В сушильных цехах, оснащенных камерами непрерывного действия, при системе сушильного пакета целесообразно применение как электроталей, так и кран-балок. На рис. 8.17 показана планировка цеха, имеющего камеры непрерывного действия с зигзагообразной циркуляцией и продольной загрузкой, производительностью около 30,0 тыс. м<sup>3</sup>/год. Со стороны загрузки камер все подъемно-переместительные операции выполняются электроталью, которая размещается под навесом. Там же находится склад сырых сушильных пакетов.

Штабеля формируются из пакетов на тележке, стоящей на рельсовом пути перед камерой. Сушильные пакеты подвозятся

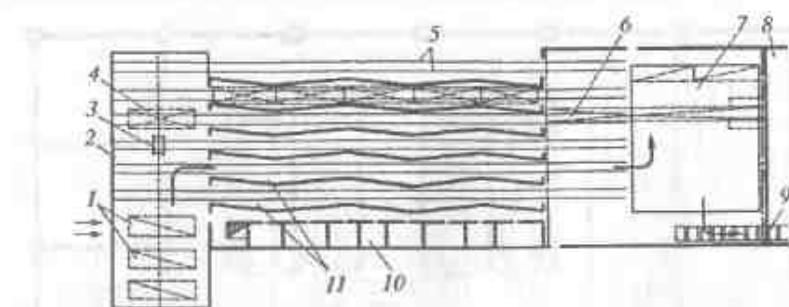


Рис. 8.17. Планировка сушильного цеха, оснащенного камерами непрерывного действия с зигзагообразной циркуляцией при системе единого пакета:

1 — участок формирования сушильных пакетов; 2 — таль электрическая; 3 — сушильные камеры; 4 — рельсовый путь обгонный; 5 — склад сухих материалов; 6 — кран-балка; 7 — конвейер напольный; 8 — служебно-бытовые помещения

автопогрузчиком с сортировочной площадки. Перемещение штабелей в камере производится при помощи троса лебедки, установленной в помещении, примыкающем к выгрузочному концу сушилок.

В этом же помещении установлена кран-балка. С ее помощью штабеля расформировываются на пакеты, которые далее перемещаются на технологическую выдержку и на место переформирования в плотные пакеты. По мере надобности эти пакеты устанавливаются на рольганг и подаются на склад готовой продукции или в цех последующей обработки. Освободившиеся тележки возвращают на место загрузки камеры по специальному рельсовому пути.

Организация транспортных работ в сушильных цехах, оснащенных камерами с фронтальной загрузкой штабелей. Цех имеет относительно простую планировку. На рис. 8.18 показан план цеха производительностью около 25 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Цех имеет два блока сушильных камер, установленных напротив друг друга. Камеры разделяет проезд, ширина которого должна быть достаточной для маневрирования погрузчика с сушильным пакетом. Для защиты пиломатериалов от атмосферных осадков проезд перекрыт двухскатной кровлей.

Сушильные пакеты формируются из сырых пиломатериалов на сортировочной площадке лесопильного цеха и после выгрузки одной из камер подаются в сушильный цех автопогрузчиком. Число этих пакетов должно быть достаточным для полной загрузки камеры. Сборка штабелей из пакетов производится в камере, куда автопогрузчик заезжает вместе с пакетом. По высоте

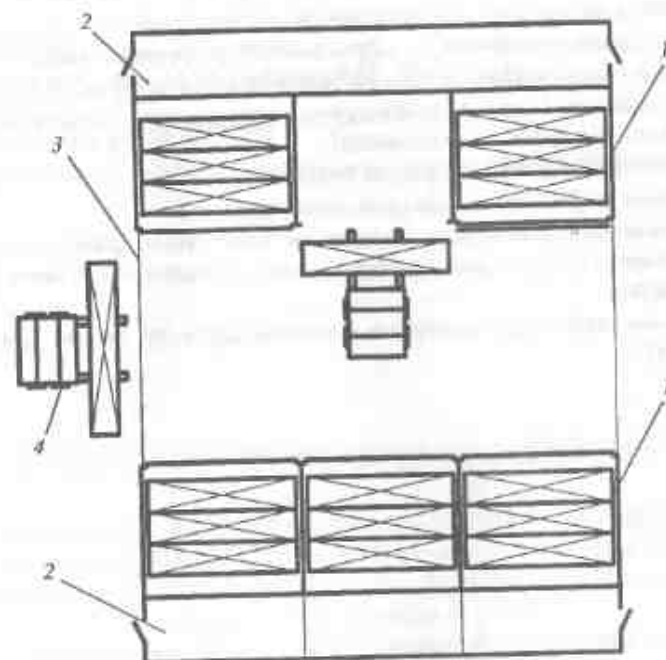


Рис. 8.18. Планировка сушильного цеха, имеющего камеры периодического действия с фронтальной загрузкой сушильных пакетов:

1 — сушильные камеры; 2 — коридоры управления; 3 — настил; 4 — автопогрузчик

обычно устанавливают три или четыре пакета, а по ширине штабеля — от трех до пяти. После сушки штабель разбирают и пакеты сухого материала тем же автопогрузчиком транспортируют на склад сухих пиломатериалов.

### Контрольные вопросы

1. Что относится к транспортным операциям в сушильном цехе?
2. Какими факторами определяется организация транспортных работ сушильного цеха?
3. Назовите методы укладки пиломатериалов в штабель или пакет; охарактеризуйте их особенности, перечислите их достоинства и недостатки.
4. Проведите анализ производительности работ по формированию штабеля в зависимости от способа укладки.
5. Каковы достоинства и недостатки рельсового транспорта?
6. В чем состоят достоинства безрельсового транспорта?

7. Каковы устройство и принцип работы погрузочного лифта?
8. Расскажите об особенностях работы пакетоформирующей машины.
9. Какие грузоподъемные устройства применяются в сушильных цехах?
10. По каким признакам классифицируются предприятия в соответствии с особенностями сушки пиломатериалов?
11. Какие производственные участки имеет сушильный цех?
12. Каковы особенности склада сухих пиломатериалов?
13. Перечислите особенности организации транспортных работ при системе цельного штабеля в цехах, имеющих камеры периодического и непрерывного действия.
14. Каковы особенности планировки сушильных цехов при системе единого пакета?



## Глава 9 ТЕХНОЛОГИЯ КАМЕРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

### § 40. Принципы проведения сушки пиломатериалов

Производственный цикл камерной сушки складывается из ряда транспортных, технологических и контрольных операций, выполняемых в последовательности, приведенной ниже:

- производится подготовка камеры к работе;
- из материала, подлежащего сушке, формируется штабель;
- одновременно подготавливаются контрольные образцы влажности и силовые образцы, которые закладываются в штабель;
- назначается режим сушки материала;
- устанавливаются режимы его начального прогрева и кондиционирующей обработки;
- производится закатка штабеля в камеру;
- последовательно производятся технологические операции — начальный прогрев материала, сушка, кондиционирование по выбранным режимам;
- в процессе сушки осуществляется контроль влажности древесины;
- при необходимости по силовым секциям, выпиленным из силовых образцов, ведется контроль сушильных напряжений;
- в процессе всего цикла сушки контролируется состояние сушильного агента в камере, принимаются меры по установлению соответствия фактического состояния с заданным режимом обработки;
- при соответствии фактического и заданного состояния древесины (влажности, сушильных напряжений) производится остановка камеры и выгрузка из нее штабеля.

В ряде случаев часть технологических и контрольных операций не проводится. В частности, в камерах непрерывного действия начальный прогрев и собственно сушка объединяются в один непрерывный процесс, а проведение кондиционирования оказывается невозможным, не ведется текущий контроль влажности и напряжений. В камерах периодического действия иногда (в зависимости от требуемого качества сушки) не контролируются напряжения.

Цикл камерной сушки начинается с подготовки камеры к работе. Камеру и ее оборудование очищают от пыли и мусора. Производят пробные включения системы циркуляции. При наличии неисправностей (стука в подшипниках, биения вала и рабочего колеса вентилятора, задевания крыльчатки за корпус вентилятора и др. дефектов) эксплуатация камеры запрещена. Должны быть приняты меры к их устранению. Производится проверка функционирования теплообменников, работоспособность форсунок. Проверяется работа заслонок приточно-вытяжных каналов. Проверяется работа психрометра. При необходимости производится планово-предупредительный ремонт камеры и системы регулирования.

Транспортные работы выполняются в соответствии с рекомендациями и по правилам, изложенным в гл. 8.

#### § 41. Технологические режимы сушки пиломатериалов

Технологические режимы регламентируют процесс собственно сушки, начального прогрева и кондиционирования пиломатериалов (заготовок) в зависимости от породы и размеров пиломатериалов, а также требований, предъявляемых к качеству высушенной древесины.

**Режимы сушки.** Режимом сушки называется расписание параметров сушильного агента по времени или по состоянию (влажности, сушильным напряжениям) древесины. Приводимые далее режимы составлены с учетом обеспечения как бездефектной сушки, так и практически полного сохранения природной прочности древесины с возможным незначительным изменением ее цвета. Режимы сушки экспортных пиломатериалов рассчитаны на сушку древесины без изменения ее цвета.

Приводимые далее таблицы режимов сушки в камерах периодического действия (табл. 9.1—9.6) координированы по влажности древесины. Они позволяют сушить пиломатериалы или заготовки до любой конечной влажности. В таблицах в качестве определяющих параметров режима приняты температура  $t$ , степень насыщенности  $\varphi$ , психометрическая разность  $\Delta t = t - t_m$ , где  $t_m$  — температура смоченного термометра психрометра. Дополнительно даны значения равновесной влажности древесины  $W_p$ , %. Режимы сушки регламентируют состояние сушильного агента при входе его в штабель. Это обуславливает место установки в камере психрометра.

Таблица 9.1. Режимы сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, кедра и пихты

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	22—32	25—32	32—40	40—50	50—60
>35	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	75	73	71
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	9	7	6	5	5	4
	$\varphi$	0,66	0,73	0,77	0,80	0,80	0,83
	$W_p, \%$	9,4	10,8	12,0	12,5	12,5	14,0
35—25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	75	75	75
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	14	12	11	10	9	8
	$\varphi$	0,52	0,57	0,61	0,64	0,66	0,70
	$W_p, \%$	7,4	8,0	8,7	9,0	9,4	10,0
<25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	75	75	75
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	28	28	28	28	28	27
	$\varphi$	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,25
	$W_p, \%$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,3

Таблица 9.2. Режимы сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, кедра и пихты (на экспорт)

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	22—32	25—32	32—40	40—50	50—60
>35	$t, ^\circ\text{C}$	57	57	55	55	55	55
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	6	5	4	4	4	4
	$\varphi$	0,73	0,77	0,81	0,81	0,81	0,81
	$W_p, \%$	12,0	12,5	14,5	14,5	14,5	14,5

Оформление табл. 9.2

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	22—32	25—32	32—40	40—50	50—60
35—25	$t, ^\circ\text{C}$	61	61	61	58	58	58
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	10	9	8	7	7	7
	$\varphi$	0,59	0,52	0,66	0,69	0,69	0,69
	$W_{\text{пр}}, \%$	9,0	8,0	10,0	11,0	11,0	11,0
<25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	75	75	75
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	26	25	24	24	24	24
	$\varphi$	0,27	0,28	0,28	0,30	0,30	0,30
	$W_{\text{пр}}, \%$	4,5	4,8	4,8	5,0	5,0	5,0

Таблица 9.3. Режимы сушки пиломатериалов из древесины лиственницы

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	22—32	25—32	32—40	40—50	50—60
>35	$t, ^\circ\text{C}$	70	70	70	65	60	60
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	9	8	6	5	4	3
	$\varphi$	0,64	0,68	0,76	0,78	0,81	0,86
	$W_{\text{пр}}, \%$	9,4	10,1	11,8	13,0	14,2	16,0
35—25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	70	65	65
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	15	15	15	10	9	7
	$\varphi$	0,49	0,49	0,49	0,61	0,63	0,71
	$W_{\text{пр}}, \%$	7,0	7,0	7,0	8,9	9,6	11,0
<25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	75	70	70
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	26	25	25	20	19	19
	$\varphi$	0,28	0,29	0,30	0,38	0,39	0,39
	$W_{\text{пр}}, \%$	4,8	4,9	4,9	5,8	6,0	6,0

Таблица 9.4. Режимы сушки пиломатериалов из древесины березы, осины, ольхи, липы, тополя

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм				
		до 22	22—32	32—40	40—50	50—60
>35	$t, ^\circ\text{C}$	74	70	64	62	56
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	6	5	4	4	3
	$\varphi$	0,76	0,79	0,82	0,82	0,84
	$W_{\text{пр}}, \%$	11,4	12,8	14,0	14,2	16,0

Оформление табл. 9.4

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм				
		до 22	22—32	32—40	40—50	50—60
35—25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	68	66	59
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	11	10	8	7	6
	$\varphi$	0,61	0,64	0,68	0,71	0,73
	$W_{\text{пр}}, \%$	8,5	9,1	10,3	11,0	12,0
<25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	75	75
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	28	28	26	24	22
	$\varphi$	0,23	0,23	0,27	0,30	0,34
	$W_{\text{пр}}, \%$	4,0	4,0	4,0	4,1	5,3

Таблица 9.5. Режимы сушки пиломатериалов из древесины бука и клена

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм				
		до 22	22—32	32—40	40—50	50—60
>35	$t, ^\circ\text{C}$	74	70	64	62	56
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	6	5	4	4	3
	$\varphi$	0,76	0,79	0,82	0,82	0,84
	$W_{\text{пр}}, \%$	11,6	12,9	14,0	14,4	16,0
35—25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	68	66	59
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	10	9	7	6	5
	$\varphi$	0,64	0,66	0,71	0,75	0,77
	$W_{\text{пр}}, \%$	9,2	9,4	10,9	11,8	12,5
25—20	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	74	72	63
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	23	20	11	10	6
	$\varphi$	0,31	0,33	0,60	0,62	0,74
	$W_{\text{пр}}, \%$	4,9	5,2	8,6	8,9	12,0
20—15	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	74	72	69
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	23	22	11	10	11
	$\varphi$	0,31	0,33	0,60	0,62	0,64
	$W_{\text{пр}}, \%$	4,9	5,2	8,6	9,0	9,5
<15	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	75	75
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	23	22	21	21	21
	$\varphi$	0,31	0,33	0,34	0,34	0,36
	$W_{\text{пр}}, \%$	4,9	5,2	5,2	5,2	5,5

Таблица 9.6. Режимы сушки пиломатериалов из древесины дуба, ясеня и граба

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм				
		до 22	22—32	32—40	40—50	50—60
>35	$t, ^\circ\text{C}$	57	53	50	47	43
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	4	3	3	2	2
	$\varphi$	0,81	0,84	0,84	0,89	0,89
	$W_p, \%$	14,2	16,2	16,5	19,5	20,0
35—25	$t, ^\circ\text{C}$	61	56	53	50	45
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	6	5	4	4	3
	$\varphi$	0,73	0,76	0,80	0,80	0,83
	$W_p, \%$	11,7	12,5	14,5	15,0	17,0
25—20	$t, ^\circ\text{C}$	75	70	57	55	49
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	22	20	8	7	4
	$\varphi$	0,34	0,35	0,65	0,68	0,79
	$W_p, \%$	5,3	5,5	10,3	11,0	15,0
20—15	$t, ^\circ\text{C}$	75	70	57	55	53
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	22	20	8	7	8
	$\varphi$	0,34	0,35	0,65	0,68	0,74
	$W_p, \%$	5,3	5,5	10,3	11,1	12,3
<15	$t, ^\circ\text{C}$	75	70	66	62	61
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	22	20	18	17	17
	$\varphi$	0,34	0,35	0,38	0,38	0,38
	$W_p, \%$	5,3	5,5	6,0	6,2	6,3

Режимы предусматривают трех-пятиступенчатое изменение параметров сушильного агента в зависимости от влажности древесины. Такая структура учитывает особенности развития сушильных напряжений в древесине.

В начальной стадии процесса, когда растягивающие напряжения на поверхности сортамента возрастают (см. § 22), необходимо поддерживать высокую степень насыщенности (первая ступень режима). После того, как напряжения, достигнув максимума, начинают снижаться, степень насыщенности  $\varphi$  допустимо несколько снизить, а температуру  $t$  повысить (вторая — для трехступенчатых режимов; вторая, третья, отчасти четвертая — для пятиступенчатых режимов). В конечной стадии процесса, когда на поверхности начинают действовать сжимающие напря-

жения, следует резко снизить  $\varphi$  и повысить  $t$  (последняя ступень режима). На этой стадии интенсификация процесса будет способствовать не росту, а уменьшению сушильных напряжений.

Влажность, при которой осуществляется переход с одной ступени на другую, называется переходной влажностью. Если начальная влажность древесины ниже переходной влажности, то сушку начинают со следующей за этой переходной влажностью ступени. Время перехода со ступени на ступень определяется по фактической влажности, которая устанавливается по контрольным образцам или с помощью дистанционных электровлагомеров. Процесс сушки заканчивают при достижении древесиной заданной конечной средней влажности.

Режимы, приведенные в табл. 9.1...9.6, предназначены для камер, имеющих скорость циркуляции воздуха в штабеле от 1,0 до 2,5 м/с. При скорости ниже 1,0 м/с психометрическая разность на первой и второй ступенях режима увеличивается по сравнению с табличной на  $1^\circ\text{C}$ .

Для выбора режима сушки необходимо знать породу, толщину и назначение материала.

Режимы сушки в камерах непрерывного действия. В противоточных камерах состояние сушильного агента в процессе сушки изменяется в результате перемещения штабелей от загрузочного конца камеры, где поддерживается высокая степень насыщенности и относительно низкая температура, к разгрузочному концу, где степень насыщенности значительно ниже, а температура выше. Режимы сушки пиломатериалов определяют состояние сушильного агента при входе его в штабеля (загрузочный конец) и при выходе из штабелей (разгрузочный конец).

Противоточные камеры предназначены в основном для массовой сушки пиломатериалов хвойных пород. В табл. 9.7 приведены режимы сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, кедра и пихты. Наиболее целесообразна сушка в этих камерах товарных пиломатериалов до транспортной (18...22 %) влажности. Вполне возможно также сушить древесину мягких хвойных и лиственных пород до эксплуатационной (10...12 %) влажности. Производственный опыт авторов учебного пособия показал возможность сушки до влажности 7...9 % пиломатериалов из древесины лиственницы и твердых лиственных пород, но режимами, несколько отличными от приведенных выше.

Состояние воздуха в разгрузочном конце регламентируется температурой  $t$ , психометрической разностью  $\Delta t$  и дополнительно степенью насыщенности  $\varphi$ . Температура смоченного термо-

Таблица 9.7. Режимы сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, тополя и кедра в противоточных камерах непрерывного действия

Индекс режима	Конечная влажность древесины $W_k$ , %	Толщина пиломатериалов, мм	Состояние сушильного агента в разгрузочном конце камеры			$\Delta t_{\text{max}}$ , °C, в загрузочном конце камеры	
			$t_s$ , °C	$\Delta t_s$ , °C	$\varphi_1$	$W_{\text{н}} > 50$ , %	$W_{\text{н}} \leq 50$ , %
<b>Мягкие режимы</b>							
1-М	18...22	До 22	55	15	0,40	4	6
2-М	18...22	От 22 до 25	55	14	0,44	4	5
3-М	18...22	От 25 до 32	55	12	0,50	3	5
4-М	18...22	От 32 до 40	55	11	0,53	3	4
5-М	18...22	От 40 до 50	55	10	0,57	3	4
6-М	18...22	От 50 до 60	55	9	0,60	2	3
7-М	18...22	От 60 до 75	55	8	0,64	2	3
<b>Нормальные режимы</b>							
1-М	18...22	до 22	75	21	0,35	7	9
2-М	18...22	От 22 до 25	75	20	0,38	6	9
3-М	18...22	От 25 до 32	75	17	0,43	5	8
4-М	18...22	От 32 до 40	75	16	0,46	5	8
5-М	18...22	От 40 до 50	75	15	0,50	5	8
6-М	18...22	От 50 до 60	75	13	0,54	4	7
7-М	18...22	От 60 до 75	75	11	0,61	4	6
8-М	10...12	До 22	75	27	0,25	7	9
9-М	10...12	От 22 до 25	75	25	0,28	6	9
10-М	10...12	От 25 до 32	75	23	0,31	5	8
11-М	10...12	От 32 до 40	75	21	0,35	5	8
12-М	10...12	От 40 до 50	75	19	0,39	5	8
13-М	10...12	От 50 до 60	75	16	0,46	4	7
14-М	10...12	От 60 до 75	75	14	0,51	4	6

Примечание. При сушке пиломатериалов из древесины мягких лиственных пород применяют режимы по ближайшей большей группе толщин.

метра  $t_n$  по длине камеры практически не меняется. Поэтому в загрузочном конце регламентируется только один параметр воздуха. Обычно в этом случае задают психрометрическую разность, что и сделано в таблицах.

В одной камере разрешается одновременно сушить только однородные по характеристике (порода, толщина, назначение, группа начальной влажности) материалы. При переводе камеры на сушку пиломатериалов другой характеристики или сушке одновременно пиломатериалов двух характеристик в камере поддерживают тот из режимов, который предусматривает меньшую психрометрическую разность.

Для камер непрерывного действия с позонной циркуляцией сушильного агента применяют режимы, предназначенные для камер периодического действия. В зонах, примыкающих к сырому концу, поддерживают параметры по первой ступени режима, а к сухому концу — по 3...5 ступени (в зависимости от уровня требуемой конечной влажности).

Кроме рассмотренных выше режимов, которые предназначены для сушки пиломатериалов общехозяйственного назначения, применяются иные режимы, учитывающие условия работы предприятия.

В значительной степени это относится к режимам импульсной сушки пиломатериалов. Они нашли широкое применение в промышленности, особенно на тех предприятиях, где отсутствует технологический водяной пар.

Режимы построены в зависимости от влажности древесины. Их особенность состоит в следующем. Сушка производится циклами, каждый из которых включает две стадии: «импульс» и «пауза». На стадии импульса происходит аккумулятивное тепло материала; сушка происходит в воздухе повышенной температуры и низкой влажности при циркуляции сушильного агента через штабель. Приточно-вытяжные каналы открыты. Эта стадия характеризуется высокой интенсивностью процесса за счет большого градиента влажности по толщине материала. Ввиду малой продолжительности возникающие сушильные напряжения сравнительно малы, а деформации носят в основном упругий характер.

На стадии паузы теплообменники и циркуляционная установка отключаются. Приточно-вытяжные каналы остаются открытыми.

Для этой стадии характерно:

- возрастание степени насыщенности воздуха вследствие продолжающегося испарения воды из материала;

- увлажнение поверхности древесины из-за роста величины равновесной влажности; влажность по толщине материала выравнивается, снижаются сушильные напряжения; градиент влажности несколько уменьшается;
- понижение температуры на поверхности материала, что ведет к появлению положительного градиента температуры, ускоряющего движение влаги к поверхности. Это полностью компенсирует некоторое снижение интенсивности перемещения влаги при пониженном градиенте влажности.

Таким образом, сушка происходит при малом перепаде влажности по толщине и малых остаточных напряжениях.

Число циклов зависит от характеристики материала: его породы, толщины, начальной и конечной влажности. Авторами учебного пособия разработаны режимы импульсной сушки для всех основных отечественных пород. Накоплен опыт их применения при сушке древесины мореного дуба, а также некоторых тропических пород, таких как эбен, махагони, сипо, меранти, венге и др. В качестве примера в табл. 9.8 приведены режимы импульсной сушки пиломатериалов мягких хвойных пород.

Таблица 9.8. Режимы импульсной сушки пиломатериалов из древесины сосны, ели, пихты, кедр

Влажность древесины, %	Параметры режима	Толщина пиломатериалов, мм				
		16 19	22 25	32 40	50	60
> 35	$\tau_{имп}$ , ч	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	$t$ , °C	75	75	75	75	75
	$\tau_{па}$ , ч	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
35—20	$\tau_{имп}$ , ч	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	$t$ , °C	75	67	75	75	75
	$\tau_{па}$ , ч	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
< 20	$\tau_{имп}$ , ч	4,0	3,0	2,0	2,0	2,0
	$t$ , °C	75	75	75	75	75
	$\tau_{па}$ , ч	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Режимы составлены с учетом обеспечения бездефектной сушки при практически полном сохранении природной прочности древесины, с возможным незначительным изменением ее цвета.

В качестве определяющих параметров режима приняты температура воздуха  $t$ , продолжительность импульса  $\tau_{имп}$ , ч, и продол-

жительность паузы  $\tau_{па}$ , ч. Применение импульсной сушки существенно сокращает расходы электроэнергии на циркуляцию (при сушке пиломатериалов твердых лиственных пород до 70...80 %), упрощает систему автоматического контроля и регулирования, обеспечивает более высокое качество сушки при тех же сроках по сравнению с традиционной.

**Режимы начального прогрева.** Первой технологической операцией является начальная обработка древесины, производимая с целью быстрого прогрева пиломатериалов. Для этого в камеру с паровым обогревом подают насыщенный пар через увлажнительные трубы при включенных калориферах, работающих вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных трубах. В камере создается высокая степень насыщенности среды при повышенной (на 5...8 °C по сравнению со ступенью режима сушки, которая последует за прогревом) температуре.

В камерах, имеющих водяной теплоноситель, вместо пара периодически подают распыленную воду при температуре, соответствующей той ступени, с которой начинается сушка. В этот период камера работает при полной тепловой мощности теплообменников, включенных циркуляционных вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных каналах.

Режим начального прогрева регламентирует температуру сушильного агента  $t$ , психрометрическую разность  $\Delta t$ , соответствующие этому состоянию степень насыщенности  $\phi$  и продолжительность обработки.

Древесину рекомендуется прогревать при психрометрической разности равной 1,2 °C, что соответствует степени насыщенности 0,95...0,99. Допускается вести прогрев древесины при психрометрической разности 4...6 °C. Это относится к камерам с водяным теплоносителем. Попытки получить более низкую психрометрическую разность приводит к неоправданно высокому расходу воды, а требуемый результат не достигается.

Длительность прогрева ориентировочно составляет (в неостывшей камере) для пиломатериалов мягких хвойных пород летом 1—1,5 ч, а зимой 1,5—2 ч на каждый сантиметр толщины материала. Для пиломатериалов мягких лиственных пород (береза, ольха, липа, осина и др.) время прогрева увеличивается на 25 %, а твердых лиственных — на 50 %. Точный расчет производится по методике, разработанной проф. Г. С. Шубиным [39].

При сушке очень сырых, и особенно тонких (22...25 мм), пиломатериалов камера может работать в дефиците тепловой мощ-

ности. При этом к концу прогрева температура может не достигнуть заданной по режиму. Допускается переход к сушке при пониженной температуре, но при соблюдении в дальнейшем психрометрической разности, определенной режимом сушки.

**Режимы кондиционирования.** С целью снятия или уменьшения остаточных сушильных напряжений и выравнивания влажности по толщине пиломатериалы обрабатываются в среде повышенной влажности. Такая операция, как отмечалось выше (§ 22) носит название *кондиционирование*. Эту операцию в камере осуществляют при полной ее тепловой мощности, при работающих циркуляционных вентиляторах, полностью закрытых приточно-вытяжных каналах и подаче распыленной воды форсунками в сушильное пространство камеры.

Кондиционированию подвергают все материалы, высушиваемые по I и II категориям качества (см. далее § 43) до влажности 7...12 %.

Режим кондиционирования определяет температуру сушильного агента  $t$ , его психрометрическую разность  $\Delta t$ , степень насыщенности воздуха  $\phi$  и продолжительность обработки.

Эту операцию производят при температуре  $t$  степени режима сушки, которая предшествует началу обработки. Психрометрическая влажность должна быть уменьшена на 10...12 °С. Если, например, к концу сушки по режиму  $\Delta t = t_c - t_w = 28$  °С, то при кондиционировании следует установить  $\Delta t = 16...18$  °С.

Из анализа процесса развития сушильных напряжений следует, что наибольшие остаточные деформации в материале имеют место в момент смены знака напряжений (§ 22), что соответствует переходу на последнюю ступень режима. Для пиломатериалов, при сушке которых возможно образование внутренних трещин, целесообразно проведение промежуточного кондиционирования. При этом психрометрическая разность должна быть уменьшена на 3...4 °С.

Ориентировочная продолжительность кондиционирования, в зависимости от породы и толщины пиломатериалов, приведена в табл. 9.9. Звездочкой отмечены пиломатериалы, для которых рекомендуется промежуточная обработка. Для них 40 % общего времени отводится на промежуточную и 60 % — на конечную обработку.

Зубцы силовой секции, выпиленные из контрольных образцов в конце обработки, должны иметь при этом относительную деформацию не более 2 %. При большем значении относитель-

Таблица 9.9. Продолжительность кондиционирования пиломатериалов

Толщина пиломатериалов, мм	Продолжительность обработки, час			
	сосна, ель, пихта, кедр, осина	береза, пльха	лиственнич	дуб, ясень, бук, клен
16—32	8	12	16	20
40—60	12	20*	30*	40*

ной деформации кондиционирование следует продолжить до допустимого значения этой деформации.

## § 42. Контроль текущей влажности пиломатериалов и сушильных напряжений

Контроль текущей влажности ведется весовым или электрическим способами. Возможны другие способы контроля — по усадке штабеля, по геометрическому значению диэлектрической проницаемости штабеля и пр.

**Весовой способ.** Этот способ был и остается одним из основных при контроле влажности древесины в ходе сушки. Начальную влажность пиломатериалов определяют по секциям, а текущую влажность — по контрольным образцам, следующим образом. Образцы и секции выпиливаются из досок, характерных по строению, влажности и плотности для партии пиломатериалов, без трещин, сучков, засмолок, кармашков и гнили по схеме, приведенной на рис. 9.1. Длина образцов должна быть не менее одного метра, а секций 10...12 мм. Секции (а, б) и образец (I) отпиливают на расстоянии не менее 300...500 мм от торца.

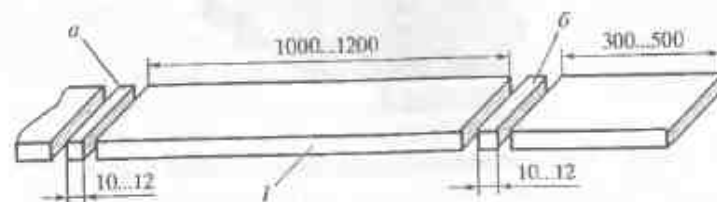


Рис. 9.1. Схема вырезки секций влажности а, б и контрольного образца I

Первоначально определяют влажность секций (§ 14) сушильно-весовым методом (ГОСТ 16588—89). Среднее значение влажности, вычисленное по двум секциям доски (заготовки), принимается за начальную влажность  $W_{нач}$ , %, контрольного образца.

$$W_{нач} = \frac{W_a + W_b}{2}, \quad (9.1)$$

где  $W_a$ ,  $W_b$  — влажность секций *a* и *b*.

По контрольному образцу определяют текущую влажность в процессе сушки.

В каждый сушильный штабель укладывают не менее двух контрольных образцов в места интенсивной и замедленной сушки, устанавливаемые из опыта эксплуатации камер. Средняя влажность их принимается за начальную влажность пиломатериалов в штабеле. Контрольные образцы нумеруют, торцы очищают и покрывают силиконовым герметиком. Допускается использование густотертой масляной краски. После этого их взвешивают на торговых весах с точностью до 0,01 кг. Массу записывают на образцах и в бланке наблюдений.

Образцы укладывают (рис. 9.2) на специальные прокладки (прокладки имеют вырез по толщине) заподлицо с торцом штабеля или несколько глубже так, чтобы их легко можно было вынуть.

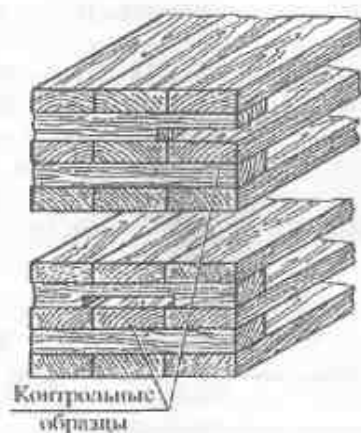


Рис. 9.2. Схема размещения контрольного образца в штабеле

В процессе сушки через определенные промежутки времени (8...24 ч), в зависимости от характеристики пиломатериалов, об-

разцы вынимают из штабеля и взвешивают. Текущую влажность  $W_{тек}$ , %, образцов находят по формуле

$$W_{тек} = \frac{M_{тек} - M_{сух}}{M_{сух}} \cdot 100, \quad (9.2)$$

где  $M_{тек}$  — масса образца в момент определения текущей влажности, кг;

$M_{сух}$  — масса образца в абсолютно сухом состоянии, кг.

В свою очередь,

$$M_{сух} = \frac{M_{нач} \cdot 100}{100 + W_{нач}}, \quad (9.3)$$

где  $M_{нач}$  — начальная масса образца, кг.

По текущей влажности медленно сохнувшего образца судят о времени перехода с одной ступени режима на другую, по средней влажности всех образцов, закладываемых в штабель, — о времени окончания процесса сушки. При этом необходимо учитывать, что контрольные образцы высыхают быстрее, чем остальные доски в штабеле; к концу сушки разница может достигать 2...3 %.

Если средняя влажность пиломатериалов (заготовок) в штабеле больше, чем требуется, пиломатериалы подлежат дополнительной сушке. При меньшем значении средней влажности пиломатериалы подлежат кондиционированию.

К недостаткам этого способа следует отнести недостаточную точность измерения. Средняя влажность штабеля может отличаться от измеренной с помощью образцов, если характеристики последних не соответствуют характеристикам пиломатериалов в штабеле. Влажность образцов также может не соответствовать фактической из-за ошибки при определении влажности секций. Такая ошибка появляется при неравномерном распределении влажности по длине той доски, из которой выпилен контрольный образец. Кроме того, этот способ создает определенные неудобства для операторов, которые связаны с тем, что им приходится заходить в действующую камеру.

В некоторой степени эти недостатки устраняются при способе контроля влажности по весу штабеля. Такой способ контроля основан на использовании всеизмерительных устройств, установленных внутри камеры. Удобные и дешевые весовые устрой-

ства пока не разработаны. Способ не получил распространения в промышленности.

Усадка (§ 8) отдельной доски, как и усушка древесины, зависит от ее влажности. Поэтому в ходе сушки высота штабеля пиломатериалов уменьшается, происходит его усадка. На этом основан способ контроля влажности по усадке штабеля. На рис. 9.3 приведен график зависимости усадки штабеля от влажности пиломатериалов из древесины сосны толщиной 35...40 мм (при базе измерения 1700 мм от основания штабеля). Из графика следует, что величина усадки при текущей влажности  $W_{тек} \leq 20\%$  не зависит от начальной влажности древесины. Эта зависимость проявляется при  $W_{тек} > 20\%$ .

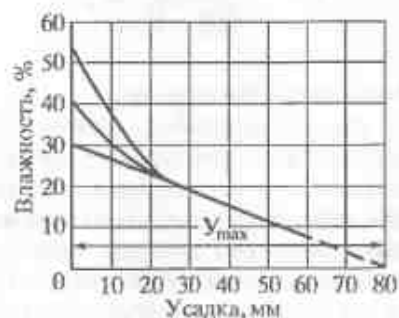


Рис. 9.3. Кривые усадки штабеля (А. И. Расев)

Аналогичный характер имеют кривые усадки и любых других пиломатериалов, но величина максимальной усадки  $Y_{max}$  (при влажности, равной нулю) может быть различной в зависимости от базы измерения, породы и толщины досок.

Влажность находят, зная величину усадки штабеля, по таблицам или графикам (аналогичным графику, приведенному на рис. 9.3), которые составляют для пиломатериалов различных пород и толщин на основании специальных испытаний. Способ нашел ограниченное применение.

Электрический способ контроля текущей влажности пиломатериалов основан на применении кондуктометрических влагомеров. Для повышения надежности измерений в штабеле устанавливаются 6...12 датчиков. Показания каждого влагомера регистрируются. Для этой цели применяют специальные компьютерные программы. На рис. 9.4 приведен пример результатов измерения влажности в 11 точках штабеля. На базе полученных данных авто-

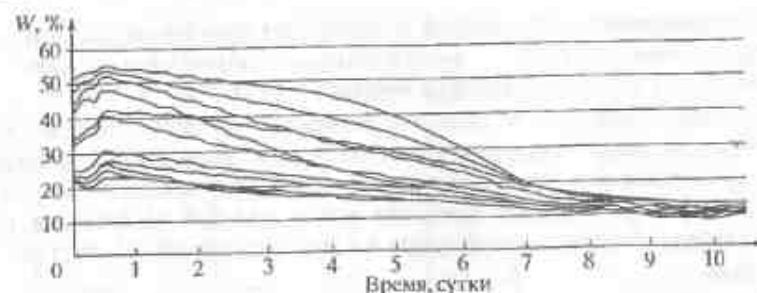


Рис. 9.4. Кривые измерения влажности пиломатериалов в 11 точках штабеля в процессе сушки

матически строится кривая средней влажности штабеля, по которой в камере по режиму для данного материала автоматически поддерживаются температура и степень насыщенности сушильного агента или равновесная влажность.

Весьма перспективным способом является измерение текущей влажности по диэлектрической проницаемости всего штабеля или его части. Как отмечалось (§ 9), диэлектрическая проницаемость древесины в значительной степени зависит от влажности. Помимо других факторов, влияющих на диэлектрическую проницаемость древесины, в штабеле она будет дополнительно зависеть от геометрии штабеля (толщина пиломатериалов и прокладок, а также размеры штабеля) и конструкции ограждений. Однако тот или иной материал на конкретном предприятии высушивается в определенной камере, одними и теми же режимами. Это дает возможность построения для данного предприятия таблиц или графиков зависимости средней влажности штабеля от его диэлектрической проницаемости по аналогии с тем, как это было сделано при усадочном способе контроля. Учитывая то, что между вертикальными рядами пиломатериалов в штабеле имеются воздушные прослойки (пиломатериалы уложены на прокладки), более правильно говорить о геометрическом значении диэлектрической проницаемости штабеля.

Контроль сушильных напряжений и деформаций при сушке производят с помощью силовых секций. По силовым секциям можно установить характер и примерную величину внутренних напряжений в древесине, наличие в ней остаточных деформаций и характер распределения влаги по толщине материала. Эти сведения особенно важно иметь после кондиционирования и в конце сушки.

Для контроля напряжений и деформаций в процессе сушки в штабель одновременно с контрольными образцами влажности закладывают силовые образцы длиной 1,0...1,2 м.

От этих образцов в нужные моменты времени отпиливают силовые секции. Торцы силовых образцов замазывают силиконовым герметиком или густотертой масляной краской. Замазку возобновляют на свежем пропиле после каждой выпилки новой секции. Секции выпиливают на расстоянии не менее 100 мм от торца.

Силовую секцию раскраивают на ленточнопильном станке в виде двузубой гребенки, выкалывая середину, как это показано на рис. 9.5, а.

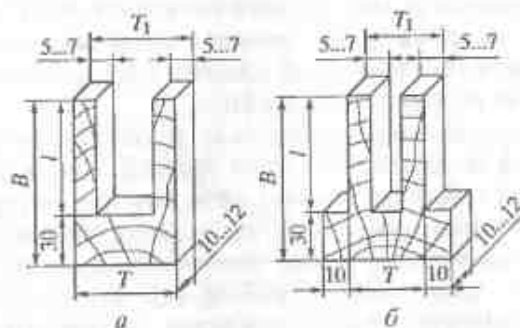


Рис. 9.5. Схемы раскроя силовых секций:

а — для пиломатериалов (заготовок) толщиной до 40 мм; б — для пиломатериалов (заготовок) толщиной более 40 мм; В — ширина пиломатериалов (заготовок), мм; Т — толщина секции, мм;  $T_1$  — расстояние между внешними границами зубцов, мм;  $l$  — длина зубца

У каждой секции индикаторной скобой или штангенциркулем с точностью 0,1 мм измеряют толщину  $T$  и расстояние  $T_1$  между внешними границами зубцов секции.

Относительную деформацию  $f$ , %, зубцов секции вычисляют по формуле

$$f = \frac{T - T_1}{2l} 100, \quad (9.4)$$

где  $l$  — длина зубца, мм.

Сразу после раскроя зубцы секции могут изогнуться в ту или иную сторону (рис. 9.6). По положению зубцов можно судить о характере сушильных напряжений (см. § 22).

Форма секций	Периоды сушки			Результаты кондиционирования		
	начальный	промежуточный	конечный	проведено нормально	проведено недостаточно	проведено излишне интенсивно
	1	2	3	4	5	6
А						
Б						

Рис. 9.6. Силовые секции форм А и Б для наиболее характерных моментов сушки

Если зубцы этой секции, которую назовем секция формы А, изгибаются наружу (позиция А-1), значит, в материале имеются растягивающие напряжения на поверхности и сжимающие напряжения во внутренних слоях. Позиция А-3 характеризует обратные напряжения — сжатие снаружи и растяжение внутри. Отсутствие деформации изгиба в секции А (позиция А-2) свидетельствует об отсутствии напряжений. Секция формы А показывает только характер и примерное значение сушильных напряжений в той доске или заготовке, из которой эта секция выпилена, и в данный момент.

Чтобы установить наличие в материале остаточных деформаций, необходимо в раскроенной секции добиться равномерного распределения влаги.

Для этого секцию А выдерживают в комнатных условиях в течение 7...8 ч или для ускорения процесса выравнивания влажности — в сушильном шкафу при  $t = 100...105$  °С в течение 2 ч. Возможно использование микроволновой печи. Древесина секции при такой выдержке не приобретает дополнительных остаточных деформаций. Положение зубцов секции, имеющей равномерное распределение влаги, характеризует имеющиеся в материале остаточные деформации. Секцию, полученную после выдержки, назовем секцией формы Б.

Если зубцы секции формы Б приняли положение, показанное на позиции Б-1, значит, в материале имеются остаточные удлинения на поверхности и укорочения внутри. Такой харак-

тер остаточных деформаций всегда наблюдается в процессе сушки без кондиционирования. Если зубцы секции *Б* оказались прямыми (позиция *Б-4*), то остаточных деформаций в материале нет. Такое возможно при правильно проведенном кондиционировании. При форме, показанной на позиции *Б-6*, в материале имеются остаточные деформации укорочения на поверхности и удлинения внутри. Такие деформации могут появиться в материале после излишне интенсивного кондиционирования.

Наличие остаточных деформаций свидетельствует о том, что в материале имеются остаточные напряжения. Они могут быть выявлены в пиломатериалах после выравнивания в них влажности по толщине, при последующей выдержке на складе или в ходе обработки. О наличии остаточных напряжений судят по секции формы *Б*. Например, изгиб зубцов секции вовнутрь свидетельствует о том, что в материале имеются остаточные напряжения сжатия на поверхности и остаточные напряжения растяжения во внутренних слоях.

По силовым секциям можно установить характер распределения влаги по толщине материала. Для этого необходимо сравнить положение зубцов секций формы *А* и *Б*. Если положение зубцов секции формы *Б* по сравнению с зубцами секции *А* не изменилось, значит, влага в материале распределена равномерно. Если имеется дополнительная деформация зубцов секции *Б*, то влага в материале распределена неравномерно. Так как более влажные слои секции при выдержке получают большую усушку, изгиб зубцов секции *Б* по сравнению с положением зубцов секции *А* всегда происходит в сторону большей влажности. Например, если зубцы секций *А* и *Б* имеют положение, показанное на позициях 1, 2, 3, значит, влажность внутри материала больше, чем на поверхности; положение зубцов секций на позициях 4, 5, 6 свидетельствует об обратном характере распределения влаги — на поверхности материала влажность выше, чем внутри.

В некоторых случаях, особенно для толстых пиломатериалов, двузубые гребенки могут давать искаженное представление о характере сушильных напряжений. Рекомендуется для пиломатериалов повышенной толщины (более 40 мм) дополнительно выпиливать вторую силовую секцию (см. рис. 9.5, *б*) с зубцами по внутренней зоне сортифта. По двум секциям (см. рис. 9.5, *а, б*) характер напряжений и остаточных деформаций может быть установлен более точно.

## § 43. Дефекты и качество сушки пиломатериалов

Качество сушки древесины характеризуется рядом показателей, основными из которых являются: видимые дефекты сушки; средняя величина конечной влажности; равномерность конечной влажности, перепад влажности по толщине и остаточные напряжения.

Показатели качества сушки устанавливаются по отношению к определенной партии древесины. За такую партию обычно принимают штабель досок или заготовок.

**Видимые дефекты сушки.** К основным видимым дефектам древесины, которые могут появиться при ее сушке, относятся трещины, окраски, сморщивание и покоробленность. В высушенном материале независимо от его назначения видимые дефекты не допускаются.

В практике сушки пиломатериалов встречаются наружные, внутренние, торцовые и радиальные трещины.

**Наружные трещины** образуются в начальный период сушки вследствие чрезвычайно интенсивного испарения влаги с поверхности материала, приводящего к тому, что действующие на поверхности растягивающие напряжения превышают предел прочности. Трещины образуются как на пластьях (рис. 9.7, *а*), так и на кромках досок. Появившиеся трещины развиваются до смены знака напряжений, после чего начинают закрываться. В конце сушки трещины на поверхности могут оказаться совершенно незаметными (рис. 9.7, *б*). Для предупреждения появления наружных трещин надо осматривать материал в процессе сушки и при появлении признаков растрескивания следует увеличить степень насыщенности воздуха. Таким образом, причина образования наружных трещин — слишком жесткий режим сушки, а мера предупреждения — применение рационального режима.

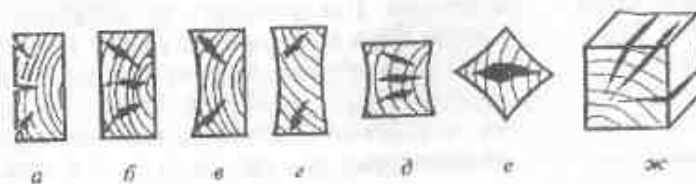


Рис. 9.7. Виды наружных и внутренних трещин: *а* — наружные трещины; *б* — заглубленные наружные трещины с переходом на внутренне; *в, г* — внутренние трещины в досках; *д, е* — внутренние трещины в брусках; *ж* — торцовые трещины

Внутренние трещины (рис. 9.7, в—е) могут появиться в конце процесса и даже после сушки при хранении материала на складе, если в центре сортимента возникли чрезмерно большие растягивающие напряжения, величина которых превышают предел прочности. Такие напряжения появляются вследствие развития больших остаточных деформаций на поверхности материала в начале сушки. Чтобы предупредить их образование, необходимо правильно выбрать и точно соблюдать режим сушки, особенно в начале процесса. Кроме того, при сушке древесины тех пород, которые склонны к растрескиванию (дуб, граб, лиственница и др.), следует производить, как отмечалось выше, промежуточное и конечное кондиционирование.

Возникновение торцовых трещин обусловлено более интенсивной сушкой торцов по сравнению со средней частью сортимента. Наиболее эффективное средство предупреждения этого дефекта — замазывание торцов влагонепроницаемым составом. Ввиду большой трудоемкости такая операция при массовой сушке не применяется.

Уменьшить подобное растрескивание можно снижением скорости движения сушильного агента в торцах штабеля. Это достигается путем установки приторцовых экранов внутри камеры и правильной укладкой пиломатериалов в штабеле. Торцовые трещины в этом случае бывают неглубокими, и при поперечном раскрое пиломатериалов потери будут незначительными. Производственный опыт авторов показал, что практически полное их отсутствие достигается при окутывании торцов штабеля эластичным влагонепроницаемым материалом (например, полиэтиленовой пленкой) с нахлестом 250...300 мм на боковые поверхности штабеля. Пленка закрепляется на штабеле с помощью реек.

Радиальные трещины возникают при сушке круглых лесоматериалов и пиломатериалов, содержащих сердцевинную трубку. Причина их образования — различная усушка в радиальном и тангенциальном направлениях. Предупредить их появление при камерной или атмосферной сушке невозможно даже при самом осторожном и медленном проведении процесса. Чтобы избежать этого дефекта, при раскрое пиломатериалов следует вырезать сердцевину или следить, чтобы она находилась на поверхности.

Покоробленность пиломатериалов в процессе сушки возникает по причине анизотропии усушки. У досок тангенциальной распиловки, независимо от режима сушки, усадка наружной пласти (по отношению к центру бревна) будет при сушке больше, чем усадка внутренней пласти. Это приводит к изгибу (коробле-

нию) доски в поперечном направлении (рис. 9.8, а). Доски радиальной распиловки не коробятся.

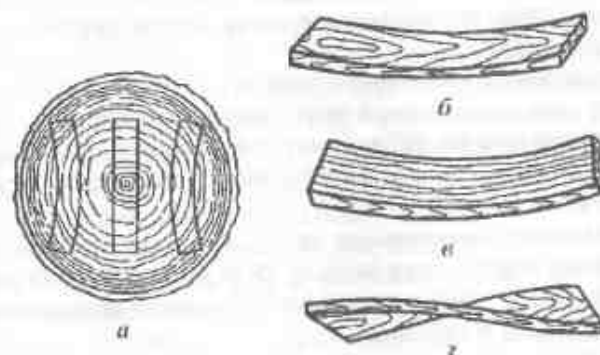


Рис. 9.8. Коробление пиломатериалов при сушке: а — поперечное; б — продольное по пласти; в — продольное по кромке; z — винтообразное

Разность усушки древесины вдоль и поперек волокон вызывает продольное коробление (рис. 9.8, б—z). Для того чтобы предотвратить поперечную и продольную покоробленность досок, их следует сушить в зажатом состоянии, соблюдая правила формирования штабеля (§ 37). Коробление досок при сушке, как отмечалось выше, происходит при неправильной или небрежной укладке, но не является единственной его причиной. Применение излишне жестких режимов, особенно при сушке пиломатериалов лиственных пород, также способствует, как показывает практика, короблению пиломатериалов.

Сморщивание происходит по причине нарушения целостности клеточной стенки. Материал при этом имеет в поперечном сечении неправильную форму (рис. 9.9). Наиболее подвержена сморщиванию древесина таких пород, как дуб, тополь, ива, кипарис.



Рис. 9.9. Сморщивание древесины

Нарушение формы клеток имеет место при обработке сырой древесины воздухом, имеющим высокую температуру и влажность. Древесина приобретает повышенную пластичность. Под

действием сжимающих сил, действующих на клеточную стенку, которые возникают при удалении влаги из полостей, без доступа туда воздуха, происходит сплюсывание клетки. Эти явления автор наблюдал при высокоинтенсивной сушке трудно проницаемой для газов древесины.

Для предотвращения этого дефекта рекомендуется производить сушку при пониженной температуре и влажности воздуха.

Окраски древесины наблюдаются в том случае, когда отдельные зоны доски или штабеля локально находятся в среде с повышенной влажностью.

Имеет место значительное потемнение древесины лиственницы и других пород, если вода из форсунок попадает непосредственно на доски штабеля. Устранение этого дефекта является организационным вопросом.

Очень часто при сушке пиломатериалов из древесины бука, клена и других пород, склонных к изменению цвета при их тепловой обработке, на поверхности остаются следы прокладок более темного цвета, чем остальная древесина (рис. 9.10). Причиной этого может быть сушка при повышенной температуре и влажности воздуха. Вследствие более низкой интенсивности процесса сушки доски под прокладкой эта зона остается длительное время в среде повышенной влажности, что приводит к ее потемнению (покраснению — для буковой древесины). Такой же эффект имеет место при применении сырых прокладок.



Рис. 9.10. След прокладки на плоской поверхности доски

Мерами предупреждения появления этого дефекта являются:

- применение специальных прокладок с насечкой, обеспечивающей удаление водяного пара из зоны контакта;
- сушка материала в начале процесса при пониженной температуре и влажности;
- применение только сухих прокладок.

Во избежание появления темных пятен на поверхности дубовых досок необходимы мероприятия, защищающие их поверхность от конденсата, который может образоваться на грузах или

металлоконструкциях камеры и стекать на высушиваемый материал.

Влажность древесины в процессе изготовления из нее изделий должна соответствовать эксплуатационной влажности, т. е. устойчивой влажности той среды, в которой будет находиться изделие из древесины при его эксплуатации. Условия эксплуатации могут существенно отличаться в зависимости от климатической зоны. Так, в центральной части России устойчивая влажность будет ниже, чем в приморских районах, или выше по сравнению с восточными засушливыми зонами.

При прочих равных условиях эта влажность в отапливаемых помещениях будет ниже, чем в не отапливаемых, а в летний период — выше, чем в зимний. Влажность древесины изменяется в соответствии с устойчивой влажностью, но с некоторым отставанием. Такое отставание тем больше, чем выше качество защитно-декоративного покрытия и чем крупнее сечение деталей.

Для изделий из древесины влажность нормирована стандартами и техническими условиями. Однако действующие нормы не учитывают различные климатические зоны России и должны быть уточнены.

Так, например, принятая влажность  $8 \pm 2\%$  для деревянных изделий, которые эксплуатируются в условиях отапливаемых помещений (мебель, паркет и др.), сильно завышена, а плюсовой допуск даже опасен. В большей степени соответствует этим условиям влажность  $7-1\%$  с нулевым плюсовым допуском.

Повышенная влажность древесины в изделии более опасна по последствиям, чем пониженная. Недосушенная древесина, медленно отдавая влагу в процессе эксплуатации изделий, будет усыхать, что приведет к изменению сечений деталей, их деформации, нарушению соединений, а в конечном итоге, к порче изделия. Пересушенная древесина опасна в существенно меньшей степени. Ее разбухание, за счет сорбции, будет иметь место только при существенном увлажнении воздуха из-за влияния гистерезиса сорбции (§ 7).

Как было отмечено выше, момент окончания сушки устанавливают по контрольным образцам, средней конечную влажность которых принимают за влажность штабеля. В спорных случаях определяют среднюю величину конечной влажности контролируемой партии пиломатериалов по следующей методике. Из штабеля в зонах быстрого и замедленного просыхания материала отбирают не менее девяти досок. Из каждой доски выпиливается две секции и определяется их влажность сушильно-весовым способом.

Допускается контролировать конечную влажность пиломатериалов и заготовок электровлагомерами при толщине досок штабеля не более 40 мм.

Влажность партий  $W_{cp}$  вычисляют как среднее арифметическое из полученных значений влажности секций.

Равномерность конечной влажности. Показателем равномерности считается среднее квадратическое отклонение, которое вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - W_{cp})^2}{n-1}}, \quad (9.5)$$

где  $W_i$  — влажность отдельной секции или пробы, %;

$W_{cp}$  — средняя влажность партии, %;

$n$  — число секций, проб влажности.

Фактическая влажность отдельных досок штабеля с вероятностью 95 % (в 95 случаях из 100) будет находиться в пределах  $W_{cp} \pm 2\sigma$ .

Перепад влажности по толщине пиломатериалов (заготовок) контролируется по секциям послышной влажности, которые выпиливают из отобранных досок рядом с секциями для определения общей влажности. Секции раскалывают по схемам, приведенным на рис. 9.11; при толщине досок до 32 мм — на рис. 9.11, а, при толщине 32 мм и выше — на рис. 9.11, б. Разница во влажности боковых (взвешиваемых вместе) и средних полосок показывает перепад влажности.

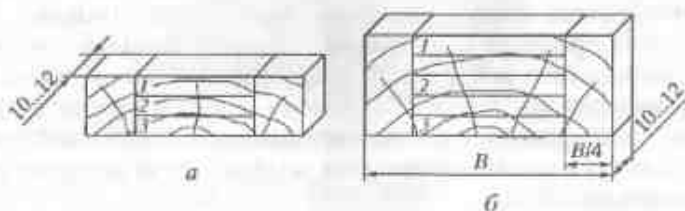


Рис. 9.11. Схема раскроя секций послышной влажности:

а — для пиломатериалов (заготовок) толщиной до 32 мм; б — для пиломатериалов (заготовок) толщиной более 32 мм;  $B$  — ширина пиломатериалов (заготовок); 1, 3 — поверхностные слои; 2 — внутренние слои

Остаточные напряжения в высушенных пиломатериалах устанавливаются по силовым секциям (§ 42), выпиливаемым рядом с секциями послышной влажности из каждой отобранной доски.

Можно считать, что древесина практически свободна от остаточных напряжений, если относительная деформация  $f$  (19.4) не превышает 1,5...2,0 %.

В зависимости от назначения высушиваемых пиломатериалов (заготовок) установлены четыре категории качества сушки.

I, II и III категории качества при сушке пиломатериалов (заготовок) до средней эксплуатационной влажности готовых изделий должны обеспечивать:

I категория — возможность механической обработки и сборки деталей по ГОСТ 6449.1—82 для высокоточных составных частей изделий (некоторые соединения механики клавишных инструментов, точное машиностроение и приборостроение, деревянные строительные клееные несущие конструкции, производство моделей, лыж и т. п.);

II категория — механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449.1—82 для ответственных составных частей изделий (мебельное производство, корпуса клавишных инструментов, столярно-строительные изделия, деревянные строительные ограждающие конструкции, пассажирское вагоно- и автостроение и т. п.);

III категория — механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449.1—82 для менее ответственных составных частей изделий (погонажные столярно-строительные изделия, товарное вагоностроение, сельхозмашиностроение, рядовая тара и т. п.);

0 категория — сушка пиломатериалов (заготовок), в том числе экспортных, до транспортной влажности.

Рассмотренные выше показатели качества сушки пиломатериалов (заготовок) нормированы в зависимости от категории качества сушки и условий эксплуатации изделий (табл. 9.10).

Приняты предельные значения конечной влажности для трех основных случаев:

- $W_k = 7\%$ , отапливаемые помещения со среднегодовой температурой  $t_{cp} = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ , относительной влажностью  $\varphi_{cp} = 0,4 \pm 0,1$ ;
- $W_k = 10\%$ , отапливаемые помещения с повышенной влажностью при  $t_{cp} = (7...20)^\circ\text{C}$  и  $\varphi_{cp} = 0,6 \pm 0,1$ ;
- $W_k = 15\%$ , наружные условия эксплуатации при  $t_{cp} = 4,3 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{cp} = 0,75 \pm 0,2$ .

Для пиломатериалов, высушиваемых по 0 категории качества до транспортной влажности, конечная влажность назначается в зависимости от толщины пиломатериалов с тем, чтобы с вероятностью 95 % влажность отдельных досок не превысила 22...23 %.

Таблица 9.10. Нормативные показатели качества сушки пиломатериалов и заготовок

Показатели качества сушки	Категории качества			
	I	II	III	0
Средняя конечная влажность пиломатериалов или заготовок в штабеле, %, при толщине пиломатериалов, мм: 32 и менее 38—50 свыше 50	7; 10*	7; 10; 15*	10; 15*	16 18 20
Отклонения влажности отдельных досок (заготовок) от средней влажности штабеля пиломатериалов, %, при толщине пиломатериалов, мм: 32 и менее 38...50 свыше 50	Не более ±1,0	Не более ±1,5	Не более ±2	±4 ±3 ±2
Перепад влажности по толщине пиломатериалов (заготовок), %, при толщине, мм: 13...22 25...40 45...60 70...90	Не более 1,5	Не более 2,0	±1,25 ±2 ±3 ±4	Не контролируется
Условный показатель остаточных напряжений (относительная деформация зубцов силовой секции), $f$ , %	Не более 1,5	Не более 2,0	Не более 2,0	Не контролируется

\* При сушке до эксплуатационной влажности средняя конечная влажность пиломатериалов в штабеле должна назначаться в зависимости от средней температуры и относительной влажности воздуха в условиях эксплуатации изделий.

### Контрольные вопросы

1. Каков порядок подготовки камеры к сушке?
2. Какие операции в процессе сушки относятся к технологическим, а какие к контрольным?
3. Какова структура режимов сушки в камерах периодического действия?
4. В чем состоит особенность режимов сушки в камерах непрерывного действия?
5. В чем состоит особенность импульсной сушки пиломатериалов?

6. Каким образом производят начальный прогрев пиломатериалов в камере?
7. Как назначают режим кондиционирования?
8. В каких случаях производят промежуточное кондиционирование?
9. Каковы правила подготовки контрольного образца влажности?
10. В чем заключается особенность электрического способа контроля влажности?
11. Каков принцип измерения текущей влажности пиломатериалов по усадке штабеля?
12. Назовите правила выпилки силовых секций.
13. Как определяют в материале напряжения и остаточные деформации?
14. Какими показателями характеризуется качество сушки?
15. Проанализируйте причины видимых дефектов сушки и опишите меры по их предупреждению.
16. Как определяют среднюю величину конечной влажности контролируемой партии древесины?
17. Как устанавливают равномерность конечной влажности?
18. Дайте характеристику четырем категориям качества сушки пиломатериалов.

# Глава 10

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СУШИЛЬНЫХ КАМЕР. УЧЕТ РАБОТЫ СУШИЛЬНОГО ЦЕХА. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### § 44. Производственные расчеты продолжительности сушки

При проведении камерной сушки пиломатериалов возникает необходимость рассчитать продолжительность процесса. Такая потребность появляется при планировании работы сушильного цеха, при расчете производительности сушильных камер, при переходе с режимов сушки, построенных по влажности материала, на режимы, координированные по времени.

Точный расчет продолжительности сушки практически невозможен, так как должен учитывать нестабильность параметров сушильного агента, неоднородность высушиваемого материала. Исходные данные для расчета, в частности, такие как начальная влажность древесины, ее плотность, ориентация годовых слоев относительно поверхностей доски, не могут быть точно установлены заранее. Возможно лишь определение их средних значений. Поэтому и расчеты продолжительности сушки могут быть только приближенными.

Для приближенных производственных расчетов для камер периодического действия рекомендуется табличный метод, который основан на использовании набора заранее составленных таблиц и простом перемножении входящих в них величин. Аналогичные методы разработаны как для камер непрерывного действия, так и высокотемпературных сушилок. Они приводятся в специальной литературе [21, 28, 40].

Продолжительность цикла сушки  $\tau$ , ч, включая начальный нагрев и кондиционирование, рассчитывают по выражению (10.1), которое применимо, если пиломатериалы высушиваются по режимам сушки, приведенным в табл. 9.1—9.6. При применении других режимов следует пользоваться рекомендациями, данными в справочниках или специальной литературе [21, 28, 23, 28, 40].

$$\tau = \tau_{исх} A_{ц} A_{в} A_{к} A_{д}, \quad (10.1)$$

где  $\tau_{исх}$  — исходная продолжительность собственно сушки и прогрева пиломатериалов заданной породы и размеров поперечного сечения ( $S_1$  и  $S_2$ ) приведенными выше режимами от начальной влажности 60 % до конечной 12 % в камере с реверсивной циркуляцией средней интенсивности ( $\omega_{цир} = 1$  м/с); она находится по табл. 10.1;

$A_{ц}$ ,  $A_{в}$ ,  $A_{к}$ ,  $A_{д}$  — коэффициенты, учитывающие влияние, соответственно, интенсивности циркуляции, начальной и конечной влажности, качества сушки и длины материала на продолжительность процесса.

Таблица 10.1. Исходная продолжительность сушки  $\tau_{исх}$ , ч, в формуле (10.1)

Толщина пиломатериалов $S_1$ , мм	Ширина пиломатериалов $S_2$ , мм					
	40...50	60...70	80...100	110...130	140...180	более 180 и необрезной
	Сосна, ель, пихта, кедр					
19	34	41	42	42	42	42
22	49	58	59	59	59	59
25	60	65	67	67	67	67
32	75	79	82	82	82	82
40	87	90	95	99	101	103
50	—	103	110	112	117	124
60	—	112	132	140	165	165
75	—	—	170	198	221	221
	Лиственница					
19	68	72	74	77	77	77

Продолжение табл. 10.1

Толщина пиломатериалов $S_1$ , мм	Ширина пиломатериалов $S_2$ , мм					
	40...50	60...70	80...100	110...130	140...180	более 180 и необрезной
22	75	80	83	86	87	87
25	83	88	91	92	93	94
32	94	99	104	108	110	113
40	113	129	144	157	166	175
50	—	182	224	256	279	304
60	—	235	304	361	400	443
75	—	—	466	574	650	737
Осины, липа, тополь						
19	36	43	45	45	45	45
22	50	60	61	61	62	62
25	61	67	68	69	69	70
32	77	82	84	88	89	91
40	90	92	97	103	104	105
50	—	103	109	116	119	125
60	—	112	133	140	168	170
75	—	—	253	282	311	344
Береза, ольха						
19	54	55	57	58	58	58
22	73	74	75	77	80	80
25	79	85	91	95	97	98
32	94	99	100	106	107	110
40	105	108	113	115	118	121
50	—	115	130	141	149	158
60	—	155	187	213	231	249
75	—	—	377	420	463	514

Окончание табл. 10.1

Толщина пиломатериалов $S_1$ , мм	Ширина пиломатериалов $S_2$ , мм					
	40...50	60...70	80...100	110...130	140...180	более 180 и необрезной
Бук, клен, ясень, ильм						
19	65	68	71	73	73	74
22	73	77	80	81	82	83
25	91	94	96	99	101	102
32	102	109	115	118	120	122
40	114	126	140	152	159	167
50	—	170	199	225	239	255
60	—	250	296	339	367	396
75	—	—	501	657	728	805
Дуб, орех, граб						
19	88	91	94	96	96	97
22	97	101	104	105	106	107
25	117	125	132	136	138	140
32	146	173	198	203	214	221
40	183	234	269	293	307	321
50	—	365	431	488	520	551
60	—	562	579	777	841	985
75	—	—	1086	1209	1340	1483

Коэффициент  $A_0$  находят в зависимости от величины  $\tau_{\text{исх}}$  и скорости циркуляции сушильного агента в таблице  $\omega_{\text{цир}}$  в табл. 10.2. В тех случаях когда  $\omega_{\text{цир}}$  неизвестна, для приближенных предварительных расчетов ее можно принимать по данным, приведенным в табл. 10.3.

Коэффициент  $A_1$  зависит от начальной  $W_{\text{нач}}$  и конечной  $W_{\text{кон}}$  влажности; определяется по табл. 10.4.

Коэффициент  $A_2$  определяется категорией качества сушки: I категория качества — 1,2; II категория — 1,15; III категория — 1,05; 0 категория — 1,00.

Таблица 10.2. Значение коэффициента  $A_u$  в формуле (10.1)

Скорость циркуляции, м/с	Величина $\tau_{исх}$ , ч						
	40	60	80	100	140	180	220 и более
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,5	0,81	0,84	0,85	0,88	0,92	0,96	0,99
2,0	0,67	0,71	0,76	0,81	0,91	0,95	0,98
2,5	0,59	0,64	0,72	0,79	0,90	0,94	0,97
3,0	0,54	0,6	0,68	0,78	0,89	0,93	0,96

Примечание. При нереверсивной циркуляции табличный коэффициент  $A_u$  умножается на 1,1.

Таблица 10.3. Рекомендуемая скорость циркуляции сушильного агента в штабеле  $\omega_{цир}$ , м/с

Группы пород пиломатериалов	Ширина штабеля по ходу движения сушильного агента, м		
	До 2,0	2,0...3,0	Более 3,0
Хвойные	1,5	2,0	2,5
Мягкие лиственные	1,5	2,0	2,5
Твердые лиственные	1,0...1,2	1,5	2,0

Таблица 10.4. Значение коэффициента  $A_k$  в формуле (10.1)

Начальная влажность $W_{нач}$ , %	Конечная влажность $W_{кон}$ , %										
	22	20	18	16	14	12	10	9	8	7	6
120	1,07	1,12	1,18	1,25	1,33	1,43	1,55	1,61	1,68	1,76	1,86
110	1,00	1,06	1,12	1,20	1,28	1,37	1,49	1,55	1,62	1,71	1,81
100	0,94	1,00	1,06	1,14	1,22	1,31	1,43	1,50	1,57	1,65	1,75
90	0,87	0,93	1,00	1,07	1,16	1,25	1,36	1,43	1,51	1,58	1,68
80	0,80	0,86	0,93	1,00	1,09	1,18	1,29	1,35	1,43	1,51	1,61
70	0,72	0,78	0,84	0,92	1,00	1,10	1,21	1,27	1,35	1,43	1,52
65	0,67	0,74	0,80	0,87	0,96	1,05	1,16	1,23	1,30	1,38	1,48
60	0,62	0,68	0,75	0,82	0,91	1,00	1,11	1,18	1,25	1,33	1,43
55	0,57	0,63	0,69	0,77	0,85	0,94	1,06	1,12	1,20	1,28	1,38
50	0,51	0,57	0,63	0,71	0,79	0,89	1,00	1,06	1,14	1,22	1,32

Окончание табл. 10.4

Начальная влажность $W_{нач}$ , %	Конечная влажность $W_{кон}$ , %										
	22	20	18	16	14	12	10	9	8	7	6
45	0,44	0,50	0,57	0,64	0,73	0,82	0,93	1,00	1,07	1,15	1,25
40	0,37	0,43	0,49	0,57	0,65	0,75	0,86	0,93	1,00	1,08	1,18
35	0,29	0,35	0,43	0,49	0,57	0,66	0,78	0,84	0,92	1,00	1,10
30	0,19	0,25	0,32	0,39	0,48	0,57	0,68	0,75	0,82	0,90	1,00
28	0,15	0,21	0,27	0,35	0,43	0,53	0,64	0,71	0,78	0,86	0,96
26	0,10	0,16	0,23	0,31	0,38	0,48	0,59	0,66	0,73	0,82	0,91
24	0,06	0,11	0,18	0,27	0,33	0,43	0,54	0,61	0,68	0,77	0,86
22	—	0,06	0,13	0,22	0,28	0,38	0,49	0,56	0,63	0,71	0,81
20	—	—	0,07	0,14	0,22	0,32	0,43	0,49	0,57	0,65	0,75

Коэффициент  $A_n$  вводится при расчете продолжительности сушки заготовок, он зависит от соотношения длины  $L$  и толщины  $S_1$  материала и имеет следующие значения.

$L/S_1$ .....	$\geq 40$	35	30	25
$A_n$ .....	1,0	0,97	0,95	0,93

При сушке хвойных пиломатериалов на экспорт применяются режимы, приведенные в табл. 9.2. Продолжительность сушки при этом возрастает. При определении *сроков сушки экспортного материала* время, полученное расчетом по выражению (10.1) умножается на коэффициент, равный 1,25.

**Пример.** Рассчитать продолжительность сушки  $\tau$  обрезных пиломатериалов из древесины березы толщиной  $S_1 = 50$  мм, шириной  $S_2 = 200$  мм от начальной влажности  $W_{нач} = 70$  % до конечной влажности  $W_{кон} = 12$  %, назначение — производство окон. Материал высушивается в камере с реверсивной циркуляцией со скоростью движения  $\omega_{цир}$  сушильного агента по материалу — 1,5 м/с, ширина штабеля — 1,8 м.

По табл. 10.1, 10.2 и 10.4 находим:  $\tau_{исх} = 158$ ;  $A_u = 0,93$ ;  $A_n = 1,1$ . Рекомендуемое значение  $A_k = 1,15$ .

$$\tau = \tau_{исх} \cdot A_u \cdot A_n \cdot A_k = 158 \cdot 0,93 \cdot 1,1 \cdot 1,15 = 178 \text{ ч.}$$

## § 45. Производительность сушильных камер.

### Учет работы

Производительность сушильной камеры  $\Pi$ , в которой высушивают пиломатериалы конкретной характеристики и определенного назначения, определяют в кубических метрах древесины за год:

$$\Pi = \frac{335}{\tau_{об}} E_k, \quad (10.2)$$

где 335 — число суток работы камеры в году;

$\tau_{об}$  — продолжительность одного оборота камеры при сушке фактического материала, сут.; в камерах непрерывного действия она равна продолжительности сушки, а в камерах периодического действия — продолжительности сушки, увеличенной на время загрузки и разгрузки камеры  $\tau_{нр}$ , которое составляет 0,1 сут.;

$E_k$  — вместимость сушильной камеры, древесины,  $m^3$ .

Учитывать работу сушильных камер, непосредственно используя выражение (10.2), достаточно сложно. Конкретное предприятие высушивает пиломатериалы разнообразной спецификации, поэтому величины  $E_k$  и  $\tau_{об}$  нестабильны. Вместимость камеры зависит от размеров и вида материала, толщины прокладок и метода укладки, а продолжительность оборота камеры — от режима сушки и характеристики материала.

Учет и планирование работы сушильных камер принято вести в кубических метрах условного материала. Условному материалу эквивалентны сосновые обрезные доски толщиной 40 мм, шириной 150 мм, длиной более 1 м, II категории качества, высушиваемые от начальной влажности 60 % до конечной 12 %.

Количество фактически просушенных пиломатериалов  $\Phi$ ,  $m^3$ , переводится в количество условного материала  $Y$ ,  $m^3$ , по соотношению

$$Y = \Phi \frac{E_{к,усл} \tau_{об,ф}}{E_{к,ф} \tau_{об,усл}}, \quad (10.3)$$

из которого следует, что для перевода фактического объема древесины в объем условного материала необходимо установить вместимость камеры в условном ( $E_{к,усл}$ ) и фактическом ( $E_{к,ф}$ ) материале, а также продолжительность сушки условного ( $\tau_{об,усл}$ ) и фактического ( $\tau_{об,ф}$ ) материала.

При расчете величины  $E_k$  следует иметь в виду, что различают два показателя вместимости камеры: по объему сырых пиломатериалов и по объему товарных пиломатериалов. Второй показатель меньше первого на величину объемной усушки древесины от предела насыщения до товарной влажности. Учет работы камер ведется по товарным пиломатериалам (объем сырых пиломатериалов используется при выполнении теплотехнических расчетов).

Вместимость камеры в товарных пиломатериалах  $E_k$ ,  $m^3$ , определяют по выражению

$$E_k = E \cdot n \left( \frac{100 - 7}{100} \right), \quad (10.4)$$

где  $E$  — вместимость одного штабеля или пакета (7.1),  $m^3$ ;

$n$  — число штабелей или пакетов в камере;

7 — средняя объемная усушка древесины от предела насыщения до товарной влажности 15 %.

Подставив выражение (7.1) в (10.3), окончательно получаем

$$Y = \Phi \frac{\beta_{ш,усл} \beta_{в,усл} \beta_{д,усл} \tau_{об,ф}}{\beta_{ш,ф} \beta_{н,ф} \beta_{д,ф} \tau_{об,усл}} = \Phi K_y K_t, \quad (10.5)$$

где  $K_y = \frac{\beta_{ш,усл} \beta_{в,усл} \beta_{д,усл}}{\beta_{ш,ф} \beta_{н,ф} \beta_{д,ф}}$ , а  $K_t = \frac{\tau_{об,ф}}{\tau_{об,усл}}$ .

Продолжительность сушки условного и фактического материала находят расчетом, используя табличный метод.

Учет высушенных пиломатериалов ведут параллельно в объемах фактического и условного материала. В учетном журнале сушильного цеха регистрируют фактический объем и характеристику каждого выгруженного из сушильной камеры штабеля. Этот объем по выражению (10.5) пересчитывают в объем условного материала. Количество высушенной в данный момент древесины (в том числе в объеме условного материала) суммируют с объемом древесины, высушенной от начала отчетного периода (месяца, квартала). Количественная оценка работы сушильного цеха за месяц, квартал или год производится сравнением фактического выпуска с плановой производительностью камер в условном материале.

При составлении производственного плана сушильного цеха устанавливают спецификацию и объем пиломатериалов, подлежащих сушке в год, исходя из плана предприятия по выпуску гото-

вой продукции. Объем по этой спецификации пересчитывают на условный материал по формуле (10.5) и тем самым определяют плановую производительность сушильного цеха в год,  $Y_{\text{год}}$  м<sup>3</sup>/г.

$$Y_{\text{год}} = \sum_{i=1}^k Y_i, \quad (10.6)$$

где  $Y_i$  — результат пересчета фактического объема в условный для  $i$ -й размерно-породной группы пиломатериалов;

$k$  — число размерно-породных групп пиломатериалов.

Производственная мощность сушильного цеха в условных единицах рассчитывается по выражению

$$P_{\text{усл.год}} = \sum_{j=1}^l \sum_{m=1}^f P_{\text{усл.}j,m}, \quad (10.7)$$

где  $l$  — число типов камер по принципу действия, характеру циркуляции и способу транспортировки штабелей;

$f$  — число камер одного типа.

Путем сравнения плановой производительности сушильного цеха с его производственной мощностью устанавливают степень загрузки  $p$  этого цеха:

$$p = Y_{\text{год}} / P_{\text{усл.год}}. \quad (10.8)$$

Если  $p < 1$ , то цех недогружен и следует принять меры к его полной загрузке путем сушки пиломатериалов для других предприятий. Если  $p > 1$ , то программа больше мощности цеха, и следовательно, необходимо принять меры по повышению его производительности (путем реконструкции сушильных камер, внедрения рациональных режимов сушки).

Рассмотрим на примере порядок составления производственного плана сушильного цеха и расчета степени его загрузки.

**Пример.** Сушильный цех предприятия по выпуску мебели оснащен семью одноштабельными камерами с продольной загрузкой. Габаритные размеры штабеля:  $6,0 \times 2,6 \times 1,8$  м. Скорость движения сушильного агента в штабеле  $\omega_{\text{нпр}} = 1,5$  м/с.

На основании плана работы предприятия техническими службами определены следующая спецификация и объем пиломатериалов, подлежащих сушке в год (табл. 10.5).

1. Рассчитываем продолжительность оборота камеры заданной спецификации  $\tau_{\text{об.ф}}$ , в том числе и для условного материала  $\tau_{\text{об.усл}}$  по формуле (10.1) с учетом времени на загрузку и разгрузку

$\tau_{\text{н.р}} = 2,4$  ч; находим коэффициенты заполнения штабеля по ширине, высоте и длине по рекомендациям § 37; определяем плановую производительность сушильного цеха в условном материале (10.5). Для удобства все расчеты сводим в табл. 10.6.

Таблица 10.5. Спецификация пиломатериалов, подлежащих сушке

Порода и вид пиломатериалов	Размеры			Влажность, %		Объем, м <sup>3</sup> /г
	$S_1$ , мм	$S_2$ , мм	$L$ , м	$W_в$	$W_к$	
Сосновые, обрезные	25	150	6,0	70	8	2000
Буквые, обрезные	32	120	3,0	60	8	1000
Дубовые, обрезные	50	100	3,0	60	8	600

Таблица 10.6. Расчет производительности сушильного цеха в условном материале ( $\omega_{\text{нпр}} = 1,5$  м/с, категория качества — II,  $\tau_{\text{н.р}} = 2,4$  ч)

Порода и вид пиломатериалов	Размеры, мм		Влажность, %		Продолжительность				
	$S_1$	$S_2$	$W_в$	$W_к$	$\tau_{\text{тех}}$	$A_в$	$A_к$		
1	2	3	4	5	6	7	8		
Сосновые, обрезные	25	150	70	8	67	0,84	1,15		
Буквые, обрезные	32	120	60	8	118	0,9	1,15		
Дубовые, обрезные	50	100	60	8	431	0,99	1,15		
Сосновые, обрезные (условный материал)	40	150	60	12	101	0,88	1,15		
сушки $\tau$ , оборота $\tau_{\text{об}}$ и $K_c$			Коэффициенты заполнения штабеля и $K_p$				Производительность, м <sup>3</sup> /г		
$A_в$	$\tau$	$\tau_{\text{об}}$	$K_c$	$\beta_{\text{ш}}$	$\beta_в$	$\beta_д$	$K_p$	$\Phi$	$Y$
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1,35	87,4	89,8	0,86	0,9	0,5	0,92	1,24	2000	2133
1,25	152,7	155,1	1,48	0,9	0,56	0,92	1,11	1000	1643
1,25	613,4	615,4	5,88	0,9	0,67	0,92	0,93	600	3281
1,0	102,2	104,6	—	0,9	0,62	0,92	$Y_{\text{год}} =$		7057

Таким образом, плановая производительность сушильного цеха в условном материале составляет  $7057 \text{ м}^3/\text{г}$ .

2. Определяем производственную мощность сушильного цеха. Цех оснащен однотипными камерами, т. е.  $l=1, f=7$ . Используя выражения (7.1), (10.2), (10.4) и расчетные данные для условного материала (табл. 10.6), находим производительность одной камеры.

$$P_{\text{усл}} = 335 \cdot 24 \cdot (6,0 \cdot 2,6 \cdot 1,8 \cdot 0,92 \cdot 0,62 \cdot 0,9 \cdot 0,93) / 104,6 = \\ = 1030 \text{ м}^3 \text{ усл./год.}$$

Производственная мощность сушильного цеха:

$$P_{\text{усл.год}} = 1030 \cdot 7 = 7210 \text{ м}^3 \text{ усл./год.}$$

Степень загрузки составляет  $p = 7057/7210 = 0,98$ , т. е. производственная мощность сушильного цеха достаточна для выполнения заданной программы.

Календарное планирование работы сушилок осуществляют с целью бесперебойного и своевременного выпуска сушильным цехом материала, требующегося производству. Календарный план составляют на месячный срок. Основой для разработки календарного плана служит заказ цехов, потребляющих высушенную древесину, в котором указывают: какие пиломатериалы, сколько и когда их должен выдать сушильных цех.

Для составления плана при отсутствии компьютерных программ, удобно пользоваться передвижным графиком (рис. 10.1), представляющим собой доску-планшет, пригодную для любого месяца. На доске, напротив номеров камер горизонтально расположены продольные пазы, куда вставляют специальные ленты-карточки. Их длина в масштабе доски соответствует продолжительности сушки пиломатериалов или заготовок, характеристика которых (порода, толщина, начальная влажность) обозначена на карточке. Для большей наглядности карточки следует изготавливать разных цветов для различных размерно-породных групп.

Карточки раскладывают без разрывов, одну за другой, что предопределяет работу камер без простоев. Фактическое выполнение плана может быть отмечено на том же графике путем заставки лент-карточек, больших по высоте, позади «плановых».

Календарный план составляют следующим образом. По полученному заказу в соответствии с вместимостью камер подсчитывают число необходимых загрузок материала различных ха-



Рис. 10.1. Схема доски для календарного плана

рактеристик, при этом учитывают объем незавершенного производства прошлого месяца.

Отбирают (а при необходимости — готовят вновь) ленты-карточки, в количестве и по типоразмерам материала соответствующие данным, полученным по предыдущему плану. Карточки раскладывают по доске таким образом, чтобы были загружены все сушильные камеры и были соблюдены сроки выпуска материала по заказу.

Для повседневного учета и контроля работы сушильного цеха установлены следующие формы учетной документации:

- журнал учета поступления сырых и отгрузки сухих пиломатериалов или заготовок;
- сводка движения пиломатериалов в сушильном цехе за месяц;
- штабельная карточка, содержащая полную характеристику материала;
- журнал контроля режимов сушки;
- протокол контроля перепада влажности по толщине пиломатериалов или заготовок;
- протокол контроля сушильных напряжений.

Последние четыре формы рационально объединить в одну карту сушки.

Перечисленные формы и правила их заполнения приводятся в справочной литературе [2, 25].

## § 46. Безопасность жизнедеятельности.

### Пожарная безопасность

Общие требования по безопасности жизнедеятельности при обслуживании сушильных цехов определены документом «Правила по охране труда в лесозаготовительном, деревообрабатывающем производствах и при проведении лесохозяйственных работ», а также рядом стандартов. В них изложены требования к производственному оборудованию, инструменту, внутризаводскому и внутрицеховому транспорту, правила, которые обеспечивают безопасность выполнения операций на рабочем месте.

К работе по обслуживанию сушильных камер допускаются лица, которые знают их устройство и правила технической эксплуатации.

В сушильном цехе необходимо периодически проводить обучение персонала правилам безопасности труда, а также инструктаж по производственной санитарии. В цехе должны быть оборудованы санитарный пост и стенды с наглядными пособиями по безопасности жизнедеятельности.

Основную опасность представляют заходы обслуживающего персонала в камеры. Их количество должно быть максимально сокращено, для чего необходимо применять стационарные или дистанционные психометры, дистанционные способы контроля влажности древесины.

При заходе в камеру оператор сушильной установки должен надеть брезентовый костюм с плотными застежками у ворота и кистей рук, перчатки, шлем и противогазовую маску с воздухоохладителем. Полы помещения камер, особенно имеющих подвал, должны находиться в исправном состоянии. Камеры должны быть оборудованы электрическим освещением напряжением 12...18 В. Если оно отсутствует, следует пользоваться аккумуляторными фонарями или переносными низковольтными лампами с сеткой и бронированным шнуром.

Двери в камеру должны иметь наружные и внутренние ручки. При входе в камеру необходимо следить за тем, чтобы дверь случайно не закрыли снаружи. Если оператору надо зайти в горячую камеру, у ее дверей должен находиться дежурный.

Коридоры управления камер, лаборатория, топочные помещения газовых камер должны быть оборудованы вентиляцией для того, чтобы поддерживать температуру не выше 25 °С.

Паропроводы и водопроводы необходимо теплоизолировать, фланцы соединений паропроводов и калориферов закрыть защитными экранами, а все движущиеся части оборудования сушильных камер — ограждениями.

При эксплуатации газовых камер необходимо следить за герметичностью газоходов, топок и дверей камер. Заходить в работающие газовые камеры разрешается только в противогазе и защитном костюме.

Зольное помещение котельной должно быть оборудовано системой вентиляции и иметь двери, ведущие наружу. Перед загрузочным устройством топки устанавливают экраны, предохраняющие рабочих от воздействия теплового излучения. Шиберы и заслонки, перекрывающие газоходы, должны иметь систему управления ими с пола помещения. Положение шиберов и заслонок должно надежно фиксироваться запорными устройствами. Категорически запрещается ходить по своду топки во время ее работы.

К погрузочно-транспортным работам в сушильных цехах допускаются лица, знающие устройство и правила эксплуатации подъемно-транспортных механизмов и прошедшие инструктаж по безопасному выполнению работы.

Основные правила, обеспечивающие безопасность при формировании штабелей и их транспортировке в цехе сводятся к следующему.

При формировании штабелей и их разборке:

- запрещается укладывать и разбирать штабеля внутри сушильной камеры;
- допускается вручную укладывать штабеля на высоту до 1,5...2,2 м от уровня пола; верхнюю часть штабеля в этом случае следует формировать, используя эстакады, штабелеры и другие механизмы;
- следует обязательно проверять правильность укладки штабеля по высоте и ширине габаритным шаблоном, не допускать транспортировку некачественно уложенного штабеля;
- при работе на вертикальном подъемнике нельзя находиться в непосредственной близости от штабеля при подъеме или опускании платформы; не допускать попадания предметов (досок, прокладок) в зазор между поверхностями штабеля и стенками котлована; принимать меры по удалению упавших предметов в котлован подъемника.

Все подъемно-транспортные механизмы, трекковые тележки, рельсовые пути, полы, ограждения и предохранительные приспособления должны быть исправными.

Работать на неисправных механизмах и при отсутствии или неисправности защитных ограждений и приспособлений категорически запрещается. Нельзя касаться движущихся тросов, стоять около штабеля при его движении, находиться под пакетом пиломатериалов или другого груза при подъеме и перемещении.

Совершенно недопустимо останавливать движущийся штабель подкладыванием под колеса вагонетки доски или прокладки. Для этой цели следует пользоваться специальными башмаками, устанавливаемыми на рельсы.

При закатывании (или скатывании) штабеля траверсную тележку надежно закрепляют. Она должна иметь устройства, фиксирующие ее положение на рельсовом пути.

Рельсовые пути в камерах, на складах и в местах формирования штабеля должны быть проложены заподлицо с полом. Зазоры в стыках рельсов допускаются не более 10 мм. В конце рельсового пути должны быть установлены упоры, предотвращающие сход штабелей с рельсов.

При использовании в сушильных цехах для транспортировки пиломатериалов автотранспорта обязательна принудительная вентиляция. Въезд в цех автотранспорта, работающего на этилированном бензине или дизельном топливе, запрещен.

Необходимо следить за тем, чтобы постоянные проходы сохранились в чистоте, а их ширина была не менее 1 м.

Общие требования пожарной безопасности сформулированы в ГОСТ 32.1.004—85 и документе «Типовые правила пожарной безопасности для промышленных предприятий», утвержденных ГУПО МЧС РФ. В этих документах определены требования к системам предотвращения пожара, к системам пожарной защиты и к организационным мероприятиям по обеспечению пожарной безопасности.

В сушильных цехах необходимо выполнять следующие требования пожарной безопасности:

- регулярно убирать помещения камер, цеха и других вспомогательных помещений, не допуская скопления отходов и мусора;
- в помещении сушильного цеха не применять открытый огонь (свечи, керосиновые и паяльные лампы) и не курить; сварочные работы производить с разрешения представителей пожарной охраны;
- своевременно подавать смазку в подшипники вентиляторов и электродвигателей, не допуская их перегрева.

В газовых сушильных камерах, кроме того, необходимо:

- следить за состоянием топочных газов, не допускать вылета искр за пределы устройств искрогашения топки, пользоваться только разрешенным для нее топливом;
- систематически чистить борова и газоходы;
- не допускать прогаров топки и подачи больших масс топлива, опасных в отношении взрыва;
- золу из золного помещения вывозить не ранее чем через пять суток после ее удаления из топки.

### Контрольные вопросы

1. В чем состоит различие расчета продолжительности сушки отдельной доски и штабеля?
2. От каких факторов зависит величина коэффициента замедления сушки в штабеле?
3. Как рассчитать продолжительность сушки пиломатериалов в камерах непрерывного действия?
4. Как рассчитать сроки сушки пиломатериалов табличным методом?
5. Каким образом рассчитывается производительность сушильной камеры?
6. Что понимают под условным материалом?
7. Как пересчитать производительность сушильного цеха в фактическом материале на его производительность в условном материале?
8. Каким образом ведется календарное планирование работы сушильного цеха?
9. Какая учетная документация должна быть в сушильном цехе?
10. Какие правила должен соблюдать оператор при заходе в сушильную камеру?
11. Какие требования пожарной безопасности необходимо выполнять в сушильных цехах?

## Глава 11

# АТМОСФЕРНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

### § 47. Особенности атмосферной сушки пиломатериалов

Атмосферной сушкой называется способ сушки пиломатериалов в штабелях на специальных складах атмосферным воздухом без его подогрева. Атмосферная сушка не потеряла значения и в настоящее время. Она происходит без затрат топлива, электроэнергии, не требует применения специального оборудования. При правильном проведении обеспечивает высокое качество продукции.

Состояние атмосферного воздуха не поддается регулированию. На него оказывают влияние климат данной местности, сезон и погода. На самом складе вследствие испарения из древесины больших масс влаги создается свой микроклимат. На его территории воздух имеет пониженную температуру, повышенную влажность и меньшую скорость движения по сравнению с открытым пространством.

Состояние воздуха в штабеле зависит от плотности укладки досок. Чем плотнее уложены доски, тем хуже продуваемость штабеля и, следовательно, тем ниже в нем температура и выше насыщенность воздуха влагой. Со снижением влажности древесины температура воздуха в штабеле увеличивается, а степень насыщенности падает.

Под влиянием ветра воздух в штабеле движется в горизонтальном направлении. Однако его движение в сохнувшем штабеле наблюдается и в безветренную погоду. Оно проходит в вертикальном направлении за счет разности плотности воздуха. Днем нагретый воздух, поступающий в штабель, охлаждается и движется вниз. Вечером и ночью остывший воздух, поступая в шта-

бель, который сохранил более высокую температуру, нагревается в нем и движется вверх. Такое изменение направлений движения воздуха в штабеле несколько условно. Практически в результате взаимодействия масс воздуха, перемещающихся вертикально и горизонтально, возникают более сложные по направлению воздушные потоки.

При малой интенсивности сушки возможно поражение пиломатериалов деревоокрашивающими и дереворазрушающими грибами. Поэтому процесс целесообразно ускорять, применяя разреженную укладку (с большими шпациями) для лучшей продуваемости штабеля. Но при этом появляется другая опасность. Излишняя интенсификация процесса в условиях нерегулируемого состояния воздуха может привести к растрескиванию пиломатериалов.

Процессом атмосферной сушки можно управлять путем соответствующего размещения штабелей на складе и надлежащей укладки в них пиломатериалов с учетом климата того района, где расположено предприятие. Правила атмосферной сушки и хранения на складах пиломатериалов хвойных пород регламентированы ГОСТ 3808.1—80, пиломатериалов твердых лиственных пород — ГОСТ 7319—80.

По условиям атмосферной сушки вся территория России разделена на четыре климатические зоны: I — северная (северная область европейской части РФ, север Урала и Сибири); II — северо-западная (Карелия, западные области европейской части РФ); III — центральная (центральные области европейской части РФ, Южная Сибирь); IV — южная (южные области РФ).

### § 48. Устройство и планировка складов атмосферной сушки

Склад атмосферной сушки пиломатериалов устраивают на сухом достаточно проветриваемом участке, очищенном от деревьев и кустарника. Его территорию тщательно выравнивают, обрабатывают химикатами для уничтожения травянистой растительности. При высоких грунтовых водах производят дренажные работы, осушающие площадь склада. При планировке все углубления и ямы засыпают землей или шлаком. Применять опилки или древесные отходы для этой цели нельзя из-за опасности заражения древесины грибами. Следует учитывать, что чем хуже

метеорологические условия для сушки, тем суше должен быть участок и тем лучше он должен проветриваться, и наоборот. Так, например, склады для сушки древесины твердых лиственных пород в южных районах следует устраивать во влажных, защищенных от ветра, низких местах для того, чтобы избежать растрескивания пиломатериалов в сухую жаркую погоду.

Штабеля на складе размещают секциями в два ряда. Площадь секции не должна превышать 900 м<sup>2</sup>. Между штабелями оставляют разрывы по длине и ширине секции. Секции отделяются продольными и поперечными проездами, которые представляют хорошо оборудованные дороги. Основное движение транспорта проходит по поперечным проездам; продольные проезды (вдоль длинной стороны секции) служат для подачи досок к штабелям. Направление продольных проездов должно совпадать с направлением господствующих ветров, а там, где направление ветра выражено слабо, проходить с севера на юг.

ГОСТ 3808.1—80 определяет два способа формирования штабелей: штучное формирование целого штабеля (рядовой штабель) и формирование штабеля из сушильных пакетов (пакетный штабель).

В зависимости от принятого способа укладки применяют соответствующие подъемно-транспортные механизмы. При укладке рядовых штабелей пиломатериалы по складу развозят автолесовозами. Для подъема досок используют штабелеры (см. рис. 8.6). Раскладывают доски по рядам штабеля вручную.

Пакетные штабеля формируют с помощью автопогрузчиков, башенных или консольно-козловых кранов. Наиболее рационально применять краны, так как это повышает полезную вместимость складов за счет увеличения высоты штабелей и уменьшения ширины проездов. Для подачи сушильных пакетов к площадке формирования пакетов используют автолесовозы. Пиломатериалы в сушильные пакеты укладывают по тем же правилам, что и при камерной сушке (см. § 37).

При укладке штабелей автопогрузчиками необходимо устраивать более широкие проезды на складе (для их маневрирования). Высота формируемых штабелей при этом сравнительно небольшая. Автопогрузчики целесообразно использовать на небольших складах.

На рис. 11.1 приведены схемы планировок складов атмосферной сушки пиломатериалов при рядовой и пакетной укладке, с использованием башенного или консольно-козлового крана. Планировка склада при формировании пакетного штабеля авто-

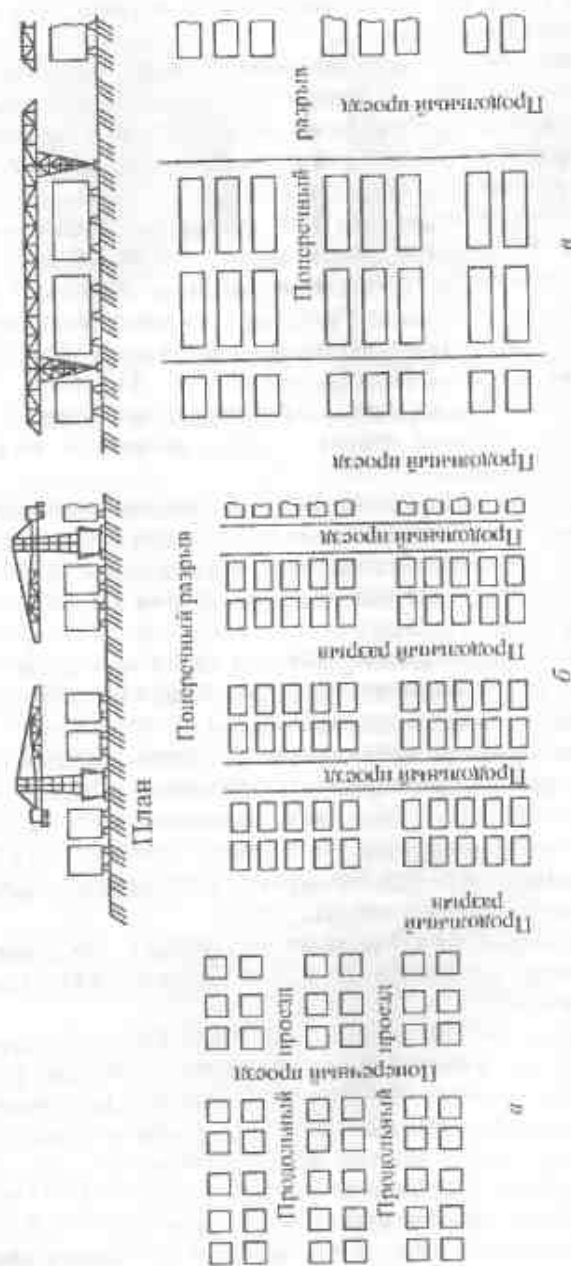


Рис. 11.1. Схема планировок складов атмосферной сушки: а — при рядовой укладке; б — при пакетной укладке козловым краном

погрузчиками такая же, как и при рядовой укладке, но с некоторым расширением проездов.

Планировка склада атмосферной сушки пиломатериалов твердых лиственных пород отличается устройством более длинных штабелей и более плотным их размещением в секции.

Штабель пиломатериалов для атмосферной сушки состоит из основания, собственно штабеля и крыши.

Основание штабеля должно быть прочным, не давать осадки. Его высота должна обеспечивать хорошую продуваемость низа штабеля и достаточное расстояние нижних досок от грунта, а на затопляемых в половодье участках — от максимального уровня воды. Нормальная высота основания составляет для I и II климатических зон — 0,75 м, III зоны — 0,6...0,7 и IV зоны — 0,5 м.

Основание состоит из опор, на которые укладывают прогоны. Все прогоны должны лежать в одной плоскости во избежание прогиба материала.

Для больших складов, особенно при формировании высоких штабелей, лучшими являются железобетонные или деревянные свайные опоры. Деревянные свайные опоры должны быть пропитаны каменноугольным маслом или другим не вымываемым водой антисептиком.

Очень часто опоры делают переносными в виде железобетонных столбиков, имеющих форму усеченной пирамиды со средним поперечным сечением 0,6 × 0,6 м.

Собственно штабель укладывают из досок, одинаковых по породе и толщине, на прокладках. В рядовых штабелях в качестве прокладок используют либо сами высушиваемые доски, либо специальные рейки, имеющие поперечное сечение 25 × 40 мм. При формировании штабеля прокладки размещают строго вертикальными рядами над опорами.

Расстояние между ними зависит от толщины высушиваемых досок и колеблется в пределах от 0,75 до 2,0 м. Доски укладывают со шпациями.

Штабель, который уложен на прокладках из высушиваемых досок (рис. 11.2, а), имеет в плане квадратное сечение. Длина и ширина его соответствуют наибольшей длине укладываемых досок (6,5...7,0 м), а высота составляет 3,5...4,0 м. Такие штабеля формируют из пиломатериалов хвойных пород. Пиломатериалы лиственных пород укладывают на рейках в более длинные (8...11 м) штабеля (рис. 12.2, б), имеющие ширину 1,5...2,0 и высоту 2,5...3,0 м.

Пакетные штабеля (рис. 11.3) состоят из одинаковых сушильных пакетов, уложенных горизонтальными рядами. Пакеты

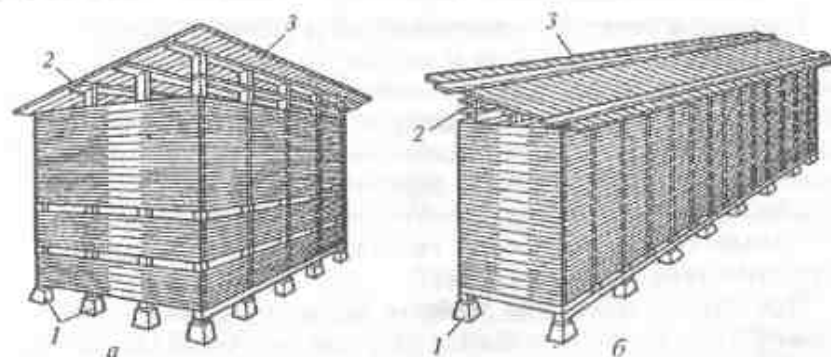


Рис. 11.2. Общий вид рядового штабеля пиломатериалов хвойных (а) и лиственных пород (б):

1 — опоры штабеля; 2 — подголовник; 3 — крыша

каждого ряда отделяют один от другого межпакетными брусками толщиной не менее 75 мм. В горизонтальных рядах между пакетами оставляют разрывы, которые должны образовывать в штабеле вертикальные каналы. Величина разрывов увеличивается от краев штабеля к его середине и колеблется от 0,25 до 0,4 м.

Высота пакетных штабелей составляет при их укладке автопогрузчиками 3,0...5,0 м, а кранами — 5,0...7,0 м. Длина штабеля (размер по длине досок) из пиломатериалов хвойных пород равна 6,5...7,0 м (один пакет), а лиственных — 9,0...12,0 м (два-три пакета). Ширина штабеля зависит от характеристики подъемно-транспортных механизмов и доходит до 30 м.

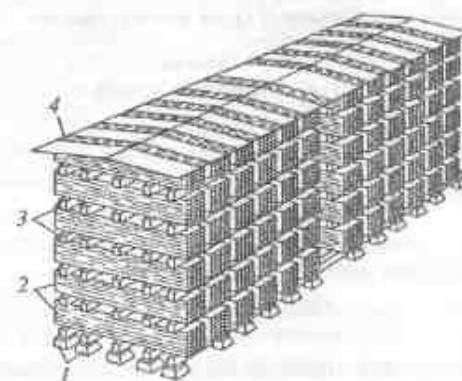


Рис. 11.3. Общий вид пакетного штабеля:

1 — опоры штабеля; 2 — сушильные пакеты; 3 — межпакетные прокладки; 4 — крыша

Плотность укладки пиломатериалов в штабеля определяется шириной штапелей и каналов и зависит от климатических условий, местоположения склада и характеристики материала. Чем выше степень насыщения воздуха и чем хуже проветривается склад, тем реже укладывают доски в штабеля. При прочих равных условиях для сортиментов крупных сечений следует применять более плотную укладку. Необходимо учитывать и календарное время укладки штабелей: осенью укладывают материал с большими штапелями, чем летом.

При сушке древесины хвойных пород в рядовых штабелях ширину штапелей устанавливают различной для узких (до 150 мм) и широких (свыше 150 мм) пиломатериалов. В зависимости от климатической зоны ширина должна составлять, мм:

- узкие пиломатериалы I и II зоны — 100...125; III и IV зоны — 75...100;
- широкие I и II зоны — 150...175; III и IV зоны — 125...150.

Для улучшения воздухопроницаемости рядовых штабелей в их нижней части устраивают горизонтальные разрывы высотой 0,12...0,15 м.

Ширина штапелей в пакетах должна быть не менее 50 мм для сосновых, кедровых и лиственничных пиломатериалов и не менее 35 мм — для еловых и пихтовых.

При сушке пиломатериалов из древесины лиственных пород (ГОСТ 7319—80) ширина штапелей в рядовых штабелях и в пакетах зависит от сушильной группы пиломатериалов (табл. 11.1), их ширины, климатической зоны и приведена в табл. 11.2.

Таблица 11.1. Характеристика сушильных групп пиломатериалов

Порода	Толщина пиломатериалов, мм	Сушильная группа
Дуб, ясень, ильм, вяз, граб, клен	Свыше 25	1
	До 25	2
Бук, береза, орех, платан, груша	Свыше 50	1
	До 50	2
Осина, ольха, липа, тополь, ива	Свыше 50	2
	До 50	3

Более точно ширина штапелей может быть определена методом, разработанным профессором С. Н. Горшиным [7], учитывающим фактическое состояние воздуха географического пункта, где расположено конкретное предприятие.

Таблица 11.2. Ширина штапелей, мм, при атмосферной сушке пиломатериалов лиственных пород

Сушильная группа	Ширина пиломатериалов	Климатические зоны			
		I	II	III	IV
1	До 100	50...60	40...50	30...40	20...30
	Свыше 100 до 150	60...70	50...60	40...50	30...40
	Свыше 150	70...80	60...70	50...60	40...50
2	До 100	60...70	50...60	40...50	30...40
	Свыше 100 до 150	70...80	60...70	50...60	40...50
	Свыше 150	80...90	70...80	60...70	50...60
3	До 100	110...120	80...90	70...80	60...70
	Свыше 100 до 150	130...150	90...100	80...90	70...80
	Свыше 150	150...170	100...110	90...100	80...90

Крыша штабеля служит в основном для защиты пиломатериалов от атмосферных осадков и солнечной радиации. Крыши изготавливают из досок толщиной 22...25 мм без выпадающих сучков и сквозных трещин.

Конструкция крыши определяется типом штабеля. Над рядовыми штабелями монтируют односкатные крыши непосредственно из досок с уклоном 0,12 в направлении проездов (но не в узкие промежутки между штабелями). Крыша должна иметь свесы: в сторону продольного проезда — 0,75 м, а в остальных направлениях (с боков и сзади) — 0,5 м. Требуемый уклон крыши создают подголовниками, для устройства которых используют те же доски, из которых выложен штабель. Подголовники должны располагаться над опорами основания штабеля.

Крышу настилают в два ряда досок по толщине и по длине с перекрытием стыков досок первого ряда досками второго ряда. Делается напуск концов досок верхнего ряда на концы досок нижнего ряда. Крепят крышу прижимными досками, концы которых притягивают проволокой к прогонам основания штабеля.

Над пакетными штабелями устраивают одно- или двухскатные крыши из заранее подготовленных съемных панелей с уклоном не менее 0,06. Свесы на стороны штабеля должны быть по

0,3...0,5 м, щели между панелями перекрывают широкими досками или щитами.

Штабеля заготовок из древесины твердых лиственных пород первой и второй размерно-качественных групп целесообразно перекрывать стационарными навесами. Для заготовок небольшой толщины навесы делают открытыми, а для заготовок толщиной более 40...50 мм — со стенами из жалюзийных решеток.

#### § 49. Организация и проведение атмосферной сушки. Антисептирование пиломатериалов

Высококачественная атмосферная сушка пиломатериалов в значительной мере обеспечивается правильным размещением штабелей из конкретных материалов на складе. Штабеля тонких досок (до 25 мм) следует располагать с наветренной стороны склада (по отношению к господствующим ветрам), штабеля досок средней толщины (30...45 мм) — с подветренной стороны, а штабеля толстых (более 50 мм) досок — в средней части территории склада. Указанный порядок размещения штабелей необходимо сочетать с соответствующей плотностью их укладки.

Большое значение для успешного проведения атмосферной сушки имеет надлежащее санитарное содержание склада. Его территорию необходимо постоянно поддерживать в чистоте, периодически очищать от травы, кустарников, древесных отходов и мусора. Бракованные и пораженные гнилью пиломатериалы следует немедленно удалять со склада на специально отведенные места. Площадки под штабелями и вокруг них необходимо регулярно посыпать хлорной известью.

Поступившие на склад пиломатериалы следует укладывать в штабеля в теплое время года в течение одних суток, а зимой — в течение трех суток. Если штабель остается выложенным на неполную высоту даже на короткий период, например, из-за недостатка материала, то в таких случаях необходимо спланировать верхний ряд досок во избежание попадания внутрь штабеля атмосферных осадков. Следует помнить, что нормальный ход сушки возможен только в полностью сформированном штабеле под крышей.

За состоянием пиломатериалов ведут постоянный контроль. Влажность определяют путем периодического взвешивания контрольных образцов, которые в количестве 3...7 шт. закладывают внутрь штабеля. Методика закладки образцов и определения по

ним влажности штабеля такая же, как и при камерной сушке (см. § 42). Для той же цели можно использовать электровлагомеры.

Систематически осуществляют визуальное наблюдение за видимыми дефектами сушки. При появлении растрескивания торцов или пластей досок, что свидетельствует об излишней интенсивности процесса, ограничивают доступ воздуха в штабель путем установки у его боковых стенок щитов.

При сушке материала ответственного назначения следует вести контроль сушильных напряжений и деформаций такими же методами, как при камерной сушке.

Атмосферная сушка считается законченной, если влажность материала достигла 20...22 %. Штабель в этом случае разбирают и пиломатериалы отправляют потребителю. При длительном хранении сухих пиломатериалов их перекладывают в плотные штабеля без прокладок. Сухие пиломатериалы и заготовки твердых лиственных пород и пиломатериалы хвойных пород первой размерно-качественной группы хранят под навесами. Остальные пиломатериалы допускается хранить на открытом воздухе под временной крышей.

Продолжительность атмосферной сушки зависит в основном от характеристики пиломатериалов, климата данной местности, метеорологических условий, времени укладки штабелей.

Ориентировочно продолжительность атмосферной сушки хвойных пиломатериалов можно определить по диаграмме, приведенной на рис. 11.4. Сплошные линии характеризуют продолжительность сушки в течение летних месяцев, а пунктирные — в течение весенних и осенних месяцев, цифры — климатические

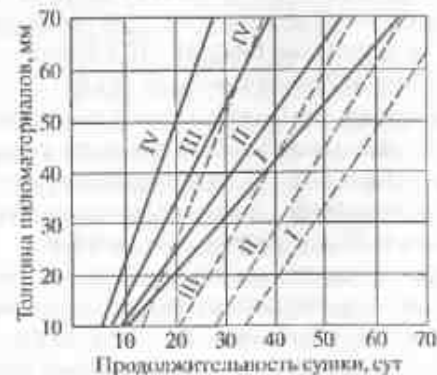


Рис. 11.4. Диаграмма для определения продолжительности атмосферной сушки сосновых пиломатериалов

зоны. Например, продолжительность процесса сушки сосновых досок толщиной 50 мм, уложенных в июне — июле, в III климатической зоне (Москва) составит в среднем 28 суток.

В теплый период года возможно поражение древесины деревоокрашивающими и дереворазрушающими грибами. Поэтому пиломатериалы, выпиливаемые в этот период и предназначенные для атмосферной сушки, следует обрабатывать веществами, обеспечивающими их защиту от поражения этими грибами. Такая операция называется антисептированием, которое заключается в пропитке поверхностных слоев древесины (на глубину до 1 мм) ядовитыми для грибов веществами (антисептиками).

Антисептирование осуществляют в специальной установке (рис. 11.5), которая состоит из ванны 3, заполненной раствором антисептика, бака 1 с мешалкой, служащего для приготовления раствора, стабилизатора уровня 2 жидкости в ванне, насоса 4 и баков 5 для хранения раствора в периоды чистки ванны.

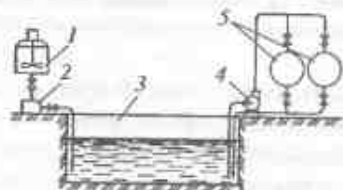


Рис. 11.5. Установка для антисептирования пиломатериалов:

1 — бак для приготовления раствора; 2 — стабилизатор уровня жидкости; 3 — ванна; 4 — насос; 5 — баки для хранения раствора

Пакеты в ванну подают (в зависимости от конкретных условий работы предприятия) мостовыми или башенными кранами, автолесовозами, гидropодъемниками от автопогрузчиков и другими подъемно-транспортными механизмами.

Атмосферная сушка рекомендуется к использованию на лесопильных заводах как законченный процесс сушки экспортных пиломатериалов, товарных пиломатериалов до транспортной влажности, пиломатериалов, предназначенных для конструкций, которые эксплуатируются на открытом воздухе.

Если предприятие выпускает продукцию из древесины с низкой эксплуатационной влажностью, то пиломатериалы досушивают в камерах. Существует мнение [28], что комбинирование атмосферной и камерной сушки дает значительные преимущества по сравнению с только камерной сушкой. Можно согласиться с тем, что при этом повышается качество сушки вследствие подачи в ка-

меры пиломатериалов, имеющих небольшой диапазон колебаний начальной влажности, отсутствуют затраты на тепловую энергию. Остается спорным утверждение о более низкой себестоимости сушки. Эффективность комбинирования должна быть установлена только на базе экономических расчетов, путем сопоставления доходов от реализации материалов, высушенных различными рассмотренными выше способами. При этом необходимо учитывать удорожание пиломатериалов в связи с выплатами процентов по банковским кредитам, которые предприятия берут на оборотные средства (к ним относятся пиломатериалы, которые длительное время находятся в незавершенном производстве), увеличение затрат на транспортные операции и другие риски.

В настоящее время получает распространение интенсифицированная атмосферная сушка. Большая продолжительность процесса атмосферной сушки связана не только с низкой температурой сушильного агента, но в значительной степени с недостаточным количеством воздуха, проходящего через штабель при естественной циркуляции. Воздух, циркулирующий в штабеле с малой скоростью, быстро насыщается. При этом его способность испарять влагу резко снижается. В результате замедляется сушка внутренних зон штабеля. Для устранения этого явления необходимо увеличить количество проходящего через штабель воздуха, что достигается установкой осевых вентиляторов между штабелями на складе. Вентиляторы, смонтированные в переносных или стационарных экранах, располагают таким образом, чтобы обеспечить равномерную интенсивную циркуляцию воздуха в штабелях.

На рис. 11.6 показана схема вентиляторной установки, предназначенной для ускоренной атмосферной сушки. В туннель 8, имеющий облегченную деревянную конструкцию, загружают одновременно 27...30 сушильных пакетов пиломатериалов общей вместимостью 100...130 м<sup>3</sup>. Принудительная циркуляция воздуха в туннеле создается четырьмя осевыми вентиляторами.

Воздух засасывается вентиляторами из атмосферы, проходит последовательно через ряды пакетов. Перед вентиляторами в зоне всасывания к этому воздуху добавляется свежий воздух, поступающий через боковые разрывы туннеля, чердак и потолочный канал. Полученная смесь проходит через последующие ряды пакетов и выбрасывается в атмосферу. Для уменьшения утечек и равномерного распределения воздушного потока по поперечному сечению штабеля в туннеле установлены диффузоры 7, боковые 9 и потолочные 1 поворотные экраны.

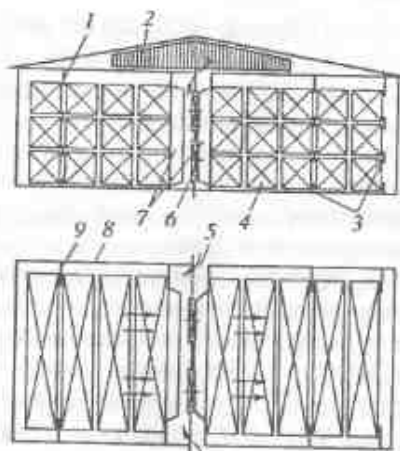


Рис. 11.6. Схема вентиляционной установки периодического действия:  
1, 9 — экраны; 2 — жалюзийная решетка; 3 — шпалки; 4 — пакет пиломатериалов; 5 — боковой разрыв туннеля; 6 — вентилятор; 7 — диффузоры; 8 — туннель

Достоинством интенсифицированной сушки является то, что пиломатериалы укладываются в сушильные пакеты без шпалок. Это позволяет применить на предприятии систему единого транспорта, например, автопогрузчика с вилочными захватами, вдвое снизить затраты на транспортные работы (отпадает необходимость перекладки сушильного пакета). Сушильный пакет, собранный на сортировочной площадке лесопильного цеха, пройдя интенсифицированную атмосферную, а далее и камерную сушку, разбирается только в цехе первичной механической обработки.

### Контрольные вопросы

1. Что называется атмосферной сушкой пиломатериалов?
2. Можно ли управлять процессом атмосферной сушки пиломатериалов?
3. Как готовят территорию под склад атмосферной сушки?
4. Из каких основных элементов состоит штабель?
5. Каковы правила укладки рядового штабеля, штабеля из пакетов?
6. Как размещают штабеля на складе?
7. От чего зависит продолжительность сушки пиломатериалов на складе? Как ее определяют?
8. С какой целью и каким образом антисептируют пиломатериалы?

## Глава 12 ОСОБЫЕ СЛУЧАИ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

### § 50. Диэлектрическая сушка

Если древесина находится в высокочастотном электромагнитном поле (ЭМП), то она нагревается. Интенсивность ее нагрева связана с колебательным движением молекул воды, находящейся в древесине. Тепло генерируется по всему объему материала, а не подводится извне, как при других способах сушки. Равномерность нагрева в значительной степени зависит как от распределения ЭМП по объему материала, так и от влажности древесины. Имеет место явление, при котором наибольшее выделение тепловой энергии наблюдается в зонах с повышенной влажностью.

Энергия ЭМП, потребляемая древесиной и превращающаяся в тепловую, расходуется вначале на нагревание материала, затем (после прогрева) — на испарение воды. Процесс сопровождается конвективным охлаждением материала на его поверхности (тепловыми потерями).

Способ снижения влажности материалов, основанный на этом принципе, называют диэлектрической сушкой. Сушка может проходить в ЭМП высокой частоты (ТВЧ) и сверхвысокой частоты (СВЧ). Все промышленные установки работают только на определенных разрешенных частотах во избежание помех в приеме радио- и телепередач. Такими частотами являются: ТВЧ — 12,56 МГц (преимущественно), СВЧ — 460, 915, 2111 и 2450 МГц.

Впервые способ сушки в ЭМП высокой частоты был предложен проф. Н. С. Селюгиным (ЛТА им. С. М. Кирова) в 30-х годах прошлого столетия.

Установка для диэлектрической сушки в поле ТВЧ (рис. 12.1) состоит из следующих основных узлов: трансформатора 1, выпрямителя 2, высокочастотного генератора 3 и колебательного контура 4 с рабочим конденсатором 5, между обкладками которого размещена высушиваемая древесина.

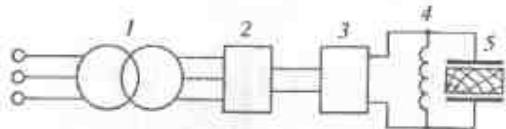


Рис. 12.1. Схема установки для диэлектрической сушки в поле ТВЧ: 1 — трансформатор; 2 — выпрямитель; 3 — высокочастотный генератор; 4 — колебательный контур; 5 — конденсатор

В установках, снабженных генераторами СВЧ, отсутствуют как элементы оборудования колебательный контур и конденсатор.

При низкотемпературном процессе затраты энергии в процессе сушки на испарение воды и тепловые потери имеют место главным образом в поверхностной зоне сортимента. Поэтому температура его наружных слоев оказывается ниже, чем внутренних, а влажность на поверхности ниже, чем в центре. Таким образом, в древесине появляются положительные градиенты температуры и влажности. Одинаковое направление переноса влаги (изнутри на поверхность) под действием этих двух градиентов существенно ускоряет процесс сушки. При проведении процесса требуется поддерживать температуру в центральных зонах древесного сортимента на уровне, при котором не происходит кипения содержащейся в нем воды. Обеспечить такое требование затруднительно. Значительно эффективнее и проще процесс, при котором температура древесины поддерживается на уровне выше точки кипения воды. При этом, как отмечалось ранее (§ 21), внутри нее возникает избыточное давление, появляется молярный перенос влаги, и интенсивность сушки возрастает в еще большей степени, поскольку все три движущие силы переноса действуют в одном направлении.

При диэлектрической сушке можно получать пиломатериалы высокого качества, с малыми сушильными напряжениями и даже совсем без них. Удаляемая в процессе сушки влага конденсируется на поверхности ограждений, которые не имеют теплоизоляции. Поэтому в камере очень быстро после начала испарения вла-

ги создается степень насыщенности воздуха, близкая к единице. В результате на поверхности материала поддерживается влажность более высокая, чем внутри. При таких условиях сушку можно вести с малым перепадом влажности по толщине и даже с перепадом обратного знака. Сортименты, содержащие сердцевинную трубку, этот способ позволяет высушивать без радиальных трещин.

При большой мощности генератора и малых объемах древесины продолжительность диэлектрической сушки может быть сокращена по сравнению с камерной в сотни раз. В производственных условиях, однако, такой эффект не может быть реализован вследствие возникновения в древесине больших сушильных напряжений, приводящих к браку.

Конструкция промышленных установок диэлектрической сушки в значительной степени зависит от вида ЭМП.

В установках ТВЧ сушка пиломатериалов проводится штабелями в камерах, снабженных рабочим конденсатором. Последний состоит из двух пластин, подвешенных к потолку или верхнему экрану камеры и при сушке плотно примыкающих к боковым поверхностям штабеля.

Высокочастотный генератор с выпрямителем и катушкой самоиндукции изготавливается в одном блоке и монтируется в специальном шкафу, располагаемом обычно в коридоре управления. Потребляемая мощность генератора зависит от вместимости камеры и допустимой, с точки зрения качества сушки, интенсивности процесса. Например, для сушильной камеры вместимостью 10...12 м<sup>3</sup> при ускорении процесса сушки хвойных пиломатериалов в 3...5 раз (по сравнению с камерной сушкой) требуется генератор с колебательной мощностью 45...50 кВт.

В настоящее время установки ТВЧ, работающие при атмосферном давлении, не применяются. Находят применение вакуумно-диэлектрические сушилки.

В установках СВЧ штабель пиломатериалов загружается в камеру, где подвергается облучению ЭМП сверхвысокой частоты.

Источником облучения может быть генератор на базе одного достаточно мощного магнетрона, который посредством волноводных трактов соединен с камерой. На рис. 12.2, а приведена схема сушильной установки для пиломатериалов. Установка состоит из камеры 3, где размещается штабель 4 пиломатериалов, генератора СВЧ (на схеме не показан), к которому подсоединены волноводные тракты 1 и рупорные антенны 2. Равномерность облучения обеспечивается плоским фронтом поля СВЧ на входе в штабель.

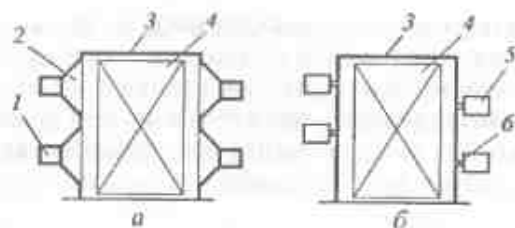


Рис. 12.2. Схемы установки СВЧ с одним мощным генератором (а) и группой маломощных генераторов (б):

1 — волновод; 2 — рупорная антенна; 3 — корпус камеры; 4 — штабель пиломатериалов; 5 — генератор СВЧ; 6 — излучатель.

Этот фронт формируется по специальному закону с регулированием напряженности поля по длине и высоте штабеля.

Вместимость камеры составляет  $5 \text{ м}^3$  пиломатериалов, а удельный расход энергии при сушке сосновых пиломатериалов —  $300 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$  (Ф. Х. Гареев) при мощности магнетрона  $100 \text{ кВт}$ . Основным недостатком камер такого типа является неравномерность конечной влажности пиломатериалов по объему штабеля, что является следствием неравномерного его нагревания. Это связано с большой сложностью распределения энергии ЭМП равномерно по объему штабеля, так как имеют место интерференция и образование стоячих волн в результате пересечения когерентных (зависимых) потоков энергии.

Положительный эффект дает использование достаточно большого числа независимых (некогерентных) маломощных генераторов СВЧ (рис. 12.2, б, поз. 5). Расстояние между излучателями  $b$  устанавливается исходя из обеспечения электромагнитной развязки между соседними генераторами, которая исключает эффект «захвата частоты» между ними. Генераторы с излучателями размещаются на противоположных стенах камеры в шахматном порядке.

Коэффициент полезного действия генераторов ТВЧ и СВЧ, выпускаемых промышленностью, сравнительно мал (не выше 0,65). Поэтому расход электроэнергии на диэлектрическую сушку достаточно велик. Он составляет  $1,3 \dots 2,0 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  на  $1 \text{ кг}$  испаряемой воды. При существующих ценах на электроэнергию диэлектрическая сушка в несколько раз дороже камерной сушки с водяным или паровым теплоснабжением. Ее целесообразно применять для медленно сохнущих, а также толстых сортиментов (оцилиндрованных бревен, брусьев), где существенное сокращение тепловых потерь через ограждения или уменьшение

брака от растрескивания окупает повышенные затраты на электроэнергию.

При диэлектрической сушке тепловой энергии (кроме энергии, уже затраченной на испарение или кипение влаги) компенсирующей потери тепла через ограждения практически не требуются. Отпадает необходимость в системе циркуляции сушильного агента, так как у него отсутствует функция передачи тепловой энергии путем конвекции. Отвод водяного пара от штабеля обеспечивается разностью его парциальных давлений на поверхности материала и конденсатора. Как отмечалось выше, конденсатором могут служить внутренние поверхности ограждений камеры, которые не имеют теплоизоляции. Величина парциального давления пара в воздухе, находящегося в камере, зависит от влажности высушиваемого материала. В период удаления свободной воды степень насыщенности воздуха в камере близка к единице. В период удаления связанной воды она равновесна со средней влажностью материала на его поверхности. На всем протяжении сушки влажность поверхности древесины выше влажности центральной зоны. Как отмечалось выше, это позволяет высушивать без ущерба для качества даже сортименты, содержащие сердцевинную трубку.

При выборе сушилки в зависимости от вида ЭМП следует учитывать следующее:

- в сушилках ТВЧ, работающих в метровом диапазоне частот, не происходит затухание потока ЭМП в объеме тех размеров, которые имеет штабель пиломатериалов; при правильной настройке колебательного контура обеспечивается равномерный нагрев материала по всему объему и, как результат, качественная сушка; при этом штабель формируется без прокладок;
- для сушилок СВЧ имеет место поглощение энергии ЭМП на глубину, не превышающую длину волны; для обеспечения равномерного нагрева ширина штабеля, по сравнению с сушилками ТВЧ, особенно в сантиметровом диапазоне (2111, 2450 МГц), должна быть существенно уменьшена, а пиломатериалы уложены на достаточно толстые прокладки (40...50 мм);
- сушилки ТВЧ (по сравнению с СВЧ) имеют более сложное оборудование, в ходе сушки требуется вести постоянную настройку колебательного контура; высокая напряженность ЭМП может вызывать пробой между обкладками конденсатора; такой недостаток у сушилок СВЧ отсутствует.

### § 51. Сушка в жидкостях

Жидким сушильным агентом могут быть как гидрофобные жидкости, т. е. жидкости, не смешивающиеся с водой и не растворяющиеся в ней (масла, расплавленные металлы, сера), так и концентрированные водные растворы солей и гигроскопических веществ, являющиеся гидрофильными жидкостями.

Сушка в гидрофобных жидкостях — это высокотемпературный процесс. Однако по сравнению с сушкой в перегретом паре она имеет некоторые особенности. Между жидкостью и погруженной в нее древесиной отсутствует обмен влаги. Сушка может происходить только при температуре жидкости выше точки кипения воды при данном давлении. Внутри древесины вследствие кипения свободной воды создается избыточное давление, под действием которого пар выходит в атмосферу, преодолевая сопротивление древесины и слоя жидкости над материалом. Таким образом, основным видом переноса влаги здесь является молярное перемещение пара под действием градиента избыточного давления.

После погружения древесного сортимента в жидкость, имеющую температуру  $t_c$ , на его поверхности температура практически сразу же доходит до точки кипения  $t_k$  (рис. 12.3), а затем быстро становится равной температуре среды  $t_c$ . Температура же центральной зоны поддерживается постоянной, на уровне точки кипения  $t_k$ , до тех пор, пока из этой зоны не будет удалена вся свободная вода, затем она начинает повышаться и в конце процесса приближается к температуре среды, а влажность центральной зоны — к равновесной влажности. В заключительном периоде роль молярного переноса влаги незначительна, а основной движущей силой процесса является теплопроводность.

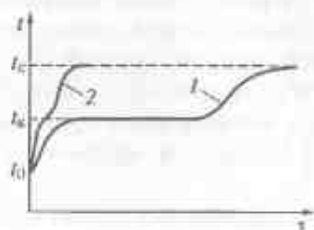


Рис. 12.3. Кривые изменения температуры древесины в процессе жидкостной сушки:  
1, 2 — температурные кривые в центре и на поверхности сортимента, соответственно

Сушка в гидрофобных жидкостях как средство снижения влажности древесины перед ее пропиткой известна давно. Для сушки пиломатериалов она получила некоторое распространение после того, как было предложено использовать в качестве сушильного агента петролатум (воскообразное вещество, являющееся отходом при перегонке нефти), по его названию этот способ получил наименование «петролатумная сушка».

Сушку пиломатериалов производят в ваннах, заполненных жидкостью, нагретой до 120...130 °С. Ее достоинство — малая продолжительность процесса, не превышающая 6...8 ч для тонких и 30...40 ч для толстых пиломатериалов. Недостатки этого способа:

- загрязнение поверхности древесины, что затрудняет ее обработку на станках;
- низкое качество сушки, связанное со значительным перепадом влажности по толщине и большими сушильными напряжениями;
- невозможность высококачественного склеивания и отделки древесины из-за остатков петролатума на поверхности;
- сравнительно большой расход этого вещества вследствие пропитки им поверхностных слоев древесины (25—40 кг/м<sup>3</sup> древесины).

Эти недостатки исключают использование петролатумной сушки на деревообрабатывающих предприятиях. Однако она применима в инженерном и энергетическом строительстве, где отмеченные недостатки не имеют значения. Весьма перспективно использование гидрофобных жидкостей и солевых растворов в процессах сушки — пропитки древесины.

### § 52. Вакуумная сушка

При вакуумной сушке штабель пиломатериалов помещают в герметичную камеру или автоклав, где вакуум-насосом создают пониженное давление. Известно, что в вакууме температура кипения воды ниже, чем при атмосферном давлении. Например, при глубине вакуума 90 кПа (чему соответствует абсолютное давление 10 кПа, т. е. одна десятая часть атмосферы) температура кипения равна 45 °С. Это позволяет вести высокоинтенсивный процесс при относительно низкой температуре среды и при полном сохранении природных свойств древесины.

При вакуумной сушке возникает проблема подвода тепловой энергии к высушиваемому материалу. В отличие от обычных сушильных камер, в вакуумных автоклавах воздух сильно разрежен, и интенсивность конвективного теплообмена между ним и древесиной весьма мала. По методу передачи теплоты высушиваемой древесине можно выделить четыре основных способа вакуумной сушки:

- сушку с непрерывным кондуктивным подводом теплоты к пиломатериалам от нагретых плит;
- сушку с прерывистым нагревом древесины в паровоздушной среде (импульсную вакуумную сушку);
- конвективную сушку;
- диэлектрическую сушку.

Вакуумную сушку с кондуктивным нагревом осуществляют следующим образом: штабель *1* (рис. 12.4, *а*) формируют не на прокладках, а на плитах *2* (подобных плитам пресса), которые после загрузки штабеля в автоклав *3* подключают к магистрали теплоснабжения через коллектор *4* и гибкие трубки *5*.

Такие сушилки выпускаются рядом зарубежных фирм. В качестве теплоносителя в них используют горячую воду. Вакуум, создаваемый вакуум-насосом, поддерживают постоянным на всем протяжении процесса. Парообразная влага, удаляющаяся из древесины, конденсируется на поверхности теплообменников *б*, через которые пропускается холодная вода. Образовавшийся конденсат периодически удаляют из автоклава через шлюзовой затвор.

Сушка рассматриваемым способом обеспечивает, по данным фирм-производителей, сокращение продолжительности процес-

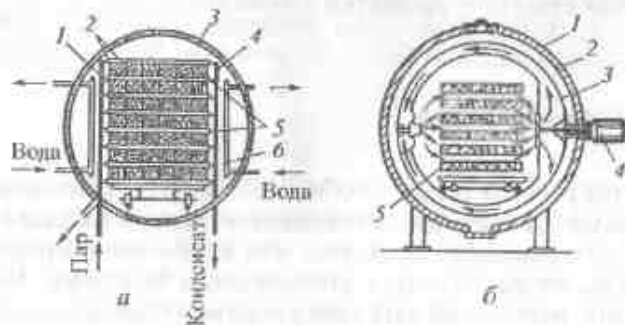


Рис. 12.4. *а* — схема кондуктивной вакуумной сушилки (*1* — штабель; *2* — плиты; *3* — автоклав; *4* — коллектор; *5* — гибкая трубка; *б* — теплообменник); *б* — схема импульсной вакуумной сушилки (*1* — автоклав; *2* — наружная стенка; *3* — внутренняя стенка; *4* — вентилятор; *5* — штабель).

са приблизительно в 3...4 раза по сравнению с сушкой в обычных конвективных камерах. Однако большая трудоемкость загрузочно-разгрузочных работ, которая не поддается механизации, высокая неравномерность конечной влажности по толщине древесины, большие сушильные напряжения в ней, малая вместимость автоклавов ограничивают распространение сушилок такого типа. В России получили некоторое распространение сушилки, в которых вместо плит используются мягкие (эластичные) пластины со встроенными электронагревателями.

Лишена некоторых указанных выше недостатков импульсная вакуумная сушка. Сушка пиломатериалов протекает в автоклаве *1* (рис. 12.4, *б*), оснащенный вентиляторами *4*. Роль калорифера в рассматриваемой сушилке часто выполняет теплообменник, образованный наружной *2* и внутренней *3* стенками автоклава, между которыми циркулирует горячая вода. После загрузки штабеля *5*, сформированного на обычных прокладках без шпаций, включают вентиляторы и производят прогрев материала нагретым воздухом.

Движение циркулирующего воздуха показано на схеме стрелками. После окончания прогрева вентиляторы выключают и включают вакуум-насос, создавая в автоклаве вакуум. Поскольку древесину нагревают до температуры, превышающей температуру кипения воды, за счет теплоты аккумулированной древесиной в полостях ее клеток происходит кипение свободной воды. Температура на поверхности  $t_{пов}$  и в центре  $t_{ц}$  доски при этом понижается до уровня, соответствующего кипению воды в древесине. Образовавшийся пар удаляется из древесины под действием избыточного давления. После прекращения процесса парообразования в автоклаве опять создают атмосферное давление и древесину вновь нагревают.

Циклы «нагрев-вакуум» проводят в количестве, обеспечивающем снижение влажности до требуемого уровня. Исследования, проведенные проф. А. И. Расевым, показали возможность существенного снижения продолжительности такого процесса (в 4...5 раз) по сравнению с обычными конвективными сушилками при высоком качестве высушенного материала. Применение сушилок этого типа рационально на предприятиях при небольших (до 3...5 тыс. м<sup>3</sup>/год) объемах сушки.

Следует отметить, что такой прием, называемый иногда сушкой со сбросом давления, давно и достаточно широко используется в отечественной промышленности как предварительная обработка древесины перед ее пропиткой.

Особенность конвективной вакуумной сушки состоит в том, что передача тепловой энергии осуществляется конвекцией. Обеспечить интенсивную теплоотдачу вполне возможно, если массовые скорости сушильного агента при атмосферном давлении и в вакууме будут одинаковыми. Плотность сушильного агента в вакууме, имеющем глубину 0,085...0,09 МПа, снижается по сравнению с атмосферным давлением в 8...9 раз, примерно во столько же раз должна быть выше его скорость движения для обеспечения одинакового количества переносимого тепла.

Следовательно, при скорости движения сушильного агента в штабеле, равной 15...20 м/с, будет иметь место достаточно интенсивный теплообмен с высушиваемым материалом.

На рис. 12.5 изображена конструктивная схема сушилки, разработанной проф. А. И. Расевым. Штабель 7 находится в прямоугольном коробе 3. Осевой вентилятор 1 расположен в торцевой зоне автоклава 5. В циркуляционном канале, образованном стенками автоклава и короба, смонтированы калориферы 2.

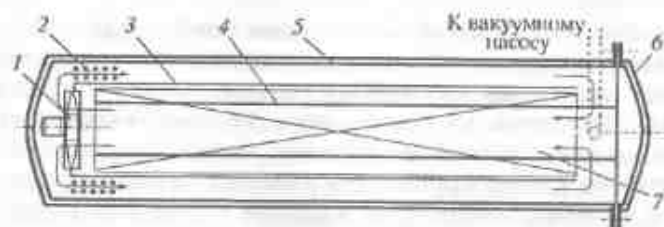


Рис. 12.5. Схема конвективной вакуумной сушилки:

1 — циркуляционный вентилятор; 2 — теплообменники; 3 — прямоугольный короб; 4 — рельсы; 5 — автоклав; 6 — крышка; 7 — штабель пиломатериалов

При сушке в автоклаве постоянно поддерживается вакуум глубиной 0,085...0,09 МПа. Процесс сушки начинается с момента начала работы вакуумного насоса при включенных калориферах и вентиляторе. Первоначально из автоклава удаляется паро-воздушная смесь, а затем, по мере углубления вакуума и начавшегося процесса сушки — чистый пар. К моменту создания требуемого давления в автоклаве находится чистый водяной перегретый пар. Его циркуляция со скоростью движения 12...18 м/с осуществляется осевым вентилятором вдоль штабеля. Поэтому штабель укладывается со шпациями.

Сушка проходит по схеме высокотемпературного процесса (§ 21). Ее начинают при малой разности температуры среды и точки кипения воды в древесине (3...5 °С). По мере снижения

влажности древесины эту разность повышают, доводя к концу процесса до 20...25 °С, обеспечивая тем самым рациональный режим сушки (§ 23).

При вакуумной диэлектрической сушке (рис. 12.6) внутри герметичного автоклава 3 или камеры монтируются обкладки рабочего конденсатора 2 высокочастотного колебательного контура, между которыми размещается штабель пиломатериалов. Расход теплоты на нагревание древесины и испарение из нее воды компенсируется, как и при чисто диэлектрической сушке, энергией высокочастотного электромагнитного поля.

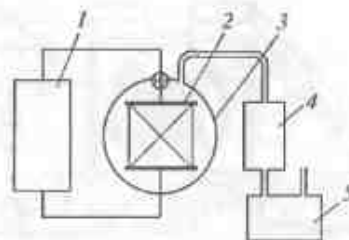


Рис. 12.6. Блок-схема установки для вакуумной диэлектрической сушки: 1 — генератор; 2 — обкладки конденсатора; 3 — автоклав; 4 — конденсатор; 5 — вакуумный насос

Образовавшийся при высыхании древесины пар конденсируется на внутренней поверхности автоклава и в конденсаторе 4, а затем выводится из сушильного пространства в жидкой фазе. Разрежение создается и поддерживается вакуумным насосом 5.

Особенность вакуумно-диэлектрической сушки состоит в том, что древесина находится в среде почти чистого пара малого давления, но высокой степени насыщенности. Благодаря этому процесс, как и при диэлектрической сушке, протекает при малом перепаде влажности по толщине сортиментов и незначительных сушильных напряжениях. Но в отличие от диэлектрической сушки древесина здесь не подвергается воздействию повышенной температуры, вследствие чего не снижается ее прочность и сохраняется натуральный цвет.

На рис. 12.7 приведена схема вакуумно-диэлектрической сушилки автоклавного типа фирмы «Спецсистемы +». В автоклаве размещаются: штабель пиломатериалов вместимостью 9 м<sup>3</sup> условного материала, загружаемый на специальной вагонетке по рельсам, электроды и система конденсации испарившейся из древесины воды, питаемая холодной водой. Конденсат отводится из

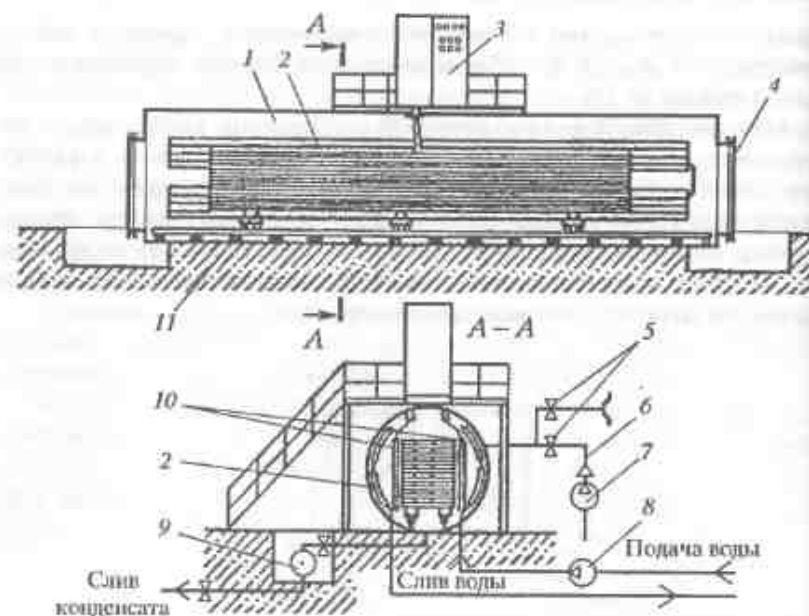


Рис. 12.7. Вакуумно-диэлектрическая сушильная камера:

1 — автоклав; 2 — система конденсации испарившейся влаги; 3 — высокочастотный генератор; 4 — крышки; 5 — задвижка; 6 — трубопроводы вакуумной системы; 7 — вакуумный насос; 8 — водяной насос, водосборник; 10 — электроды рабочего конденсатора; 11 — транспортная тележка

автоклава в водосборник через шлюзовую затвор. Высокочастотный генератор ЛД260/13, имеющий колебательную мощность 50 кВт и рабочую частоту 13,56 МГц, смонтирован над автоклавом на специальной площадке. Установка оборудована вакуумным насосом ВВН-3, поддерживающим в сушилке разрежение 85...90 кПа.

Процесс сушки контролируют по температуре поверхности древесины, измеряемой термопарами. Ее поддерживают на уровне 45...50 °С и регулируют изменением напряженности электромагнитного поля в штабеле.

Эксплуатация сушилки полностью подтвердила предположение о возможности получения в ней весьма большой интенсивности и высокого качества сушки. Продолжительность процесса сокращается по сравнению с конвективной камерной сушкой в 10...12 раз и при этом обеспечивается целостность даже очень толстых сортиментов, которые обычным способом высушить без трещин невозможно.

К недостаткам вакуумно-диэлектрической сушки относится большой расход электроэнергии (примерно 500...600 кВт·ч/м<sup>3</sup> усл.), повышенная (при существующих ценах на электроэнергию) себестоимость сушки, а также сложность сооружения и эксплуатации установок. Однако при сушке пиломатериалов ответственного назначения и трудносохнущих сортиментов эти недостатки компенсируются повышением качества сушки и полезного выхода древесины. В этих случаях применение вакуумно-диэлектрической сушки может дать заметный экономический эффект.

### Контрольные вопросы

1. Каков принцип диэлектрической сушки?
2. В чем состоит отличие сушки в полях ТВЧ и СВЧ?
3. В чем заключается достоинство сушки в высокочастотном электромагнитном поле?
4. Определите область рационального применения диэлектрической сушки.
5. Каков механизм сушки в гидрофобных жидкостях?
6. Каковы достоинства и недостатки петролатумной сушки пиломатериалов?
7. Определите область рационального применения сушки древесины в гидрофобных жидкостях.
8. Каков механизм вакуумной сушки пиломатериалов?
9. Как осуществляется кондуктивная вакуумная сушка?
10. В чем состоит особенность импульсной вакуумной сушки?
11. В чем состоит особенность конвективной вакуумной сушки?
12. Как осуществляется вакуумная диэлектрическая сушка?

## Глава 13

### СУШКА ШПОНА

#### § 53. Особенности сушки шпона. Типы сушильных устройств

Шпоном называют тонкие листы древесины, которые получают путем лущения (лущеный шпон) или строгания (строганный шпон). Строганный шпон используют как облицовочный материал, а лущеный шпон идет в основном на производство фанеры и древеснослоистых материалов.

Для обеспечения хорошего качества склеивания шпон должен быть предварительно высушен до определенной конечной влажности, величина которой зависит от вида фанеры, применяемых клеевых материалов и колеблется от 7 до 12 %.

Влажность шпона перед сушкой (после строгания или лущения) изменяется в широких пределах (от 60 до 150...180 %) в зависимости от породы и способа доставки сырья. Для равномерного просыхания сырой шпон перед сушкой необходимо сортировать по породам и уровню начальной влажности.

Контроль влажности шпона ведется преимущественно весовым способом (§ 14) путем взвешивания и высушивания проб. Для обеспечения достаточной точности контроля проба (куски шпона) должна иметь начальную массу не менее 8...10 г.

Сушка шпона по сравнению с сушкой пиломатериалов имеет некоторую специфику, которая определяет особенности конструкции сушильных устройств:

- малая толщина листа шпона (от 0,3 до 6 мм) при большой его площади создает благоприятные условия для интенсивного удаления влаги при сушке;
- шпон можно сушить без ущерба для его качества при больших перепадах влажности по толщине очень жесткими высокотемпературными режимами;

- продолжительность сушки шпона очень мала и исчисляется минутами;
- на протяжении всего процесса сушки необходимо фиксировать плоскую форму листов шпона (во избежание коробления) и одновременно обеспечивать возможность их свободной усушки.

Сушилки для сушки шпона подразделяются по способу подвода тепловой энергии на три группы: кондуктивные, конвективно-кондуктивные и конвективные.

К кондуктивным сушилкам относится дыхательный пресс. Листы шпона закладывают между горячими горизонтальными плитами пресса, которые в процессе сушки периодически смыкаются и размыкаются. Тем самым обеспечиваются весьма интенсивная передача теплоты материалу (в период смыкания плит) и свободная усушка шпона, предупреждающая растрескивание (в период размыкания плит). Дыхательные прессы как агрегаты для сушки компактны, просты в эксплуатации, обеспечивают малую продолжительность процесса. Однако вследствие ряда существенных недостатков (тяжелые условия работы обслуживающего персонала, неудовлетворительное качество сушки) выходят из употребления и используются в единичных экземплярах для сушки тонкого шпона.

Конвективно-кондуктивными сушильными устройствами являются роликовые сушилки, в которых шпон перемещается в потоке нагретого сушильного агента парными вращающимися роликами. В этих сушилках тепло передается материалу кондуктивным способом от нагретых роликов или сеток, одновременно конвекцией — от циркулирующего сушильного агента (воздуха или газовой смеси) и радиацией — от нагревательных элементов (калориферов).

В конвективных сушилках тепло передается шпону только конвекцией. Сушилки этой группы для сушки сырого лущеного и строганого шпона в нашей стране применяются в ограниченном количестве.

Основными агрегатами для сушки шпона являются роликовые сушилки.

#### § 54. Роликовые сушилки

Роликовые сушилки представляют собой установки непрерывного действия с принудительной многократной циркуляцией. Сушилки имеют несколько этажей (от 3 до 8) роликовых конвей-

еров, расположенных один над другим, по которым параллельно движутся листы шпона. Длина сушилок составляет 8...32 м, а расстояние между осями роликов — 145...200 мм. Сушилки с малым расстоянием между роликами предназначены для сушки тонкого (0,4...1 мм), а с большим расстоянием — толстого (1,5...6 мм) шпона.

По виду сушильного агента различают воздушные и газовые роликовые сушилки, а по характеру циркуляции сушильного агента — сушилки с продольной (относительно шпона), поперечной циркуляцией и сопловым дутьем.

В сушилках с продольной циркуляцией (рис. 13.1, *a*) поток сушильного агента направлен параллельно плоскости листов шпона 1, перпендикулярно осям роликов 2. Распределение скорости циркуляции по высоте этажа неравномерное. Ролики препятствуют обдуву шпона сушильным агентом. Скорость его движения у поверхности шпона оказывается очень низкой.

В сушилках с поперечной циркуляцией (рис. 13.1, *b*) поток сушильного агента направлен вдоль роликов, перпендикулярно направлению движения шпона. Скорость движения сушильного агента у поверхности шпона значительно больше, а интенсивность сушки на 15...30% выше, чем в сушилках с продольной циркуляцией.

В сушилках с сопловым дутьем (рис. 13.1, *в, г*) сушильный агент подается на шпон с двух сторон (перпендикулярно плоскости листов) из коробов 5 через сопла, расположенные между роликами. Скорость движения сушильного агента на поверхности листов шпона достигает 15 м/с. Продолжительность процесса в этих сушилках в два раза меньше, чем в сушилках с поперечной циркуляцией. Для обеспечения более интенсивного протекания процесса воздушные сушилки снабжаются сопловыми коробами со встроенными в них паровыми трубами 6 (рис. 13.1, *г*), обеспечивающими дополнительную передачу теплоты шпону путем радиации.

Однако создание высокой скорости циркуляции, обеспечивающей интенсификацию процесса, достигается меньшими энергетическими затратами в сушилках с поперечной циркуляцией, чем в сушилках с сопловым дутьем. Сотрудниками ЦНИИфанеры предложено увеличить скорость сушильного агента в сушилках с поперечной циркуляцией путем уменьшения живого сечения для прохода сушильного агента. Это сделано за счет уменьшения расстояния между этажами роликов. Предложенная схема получила название «шахматной». Согласно схеме шпон в одном этаже (рис. 13.1, *д*) перемещается парными роликами 7, а в смежном эта-

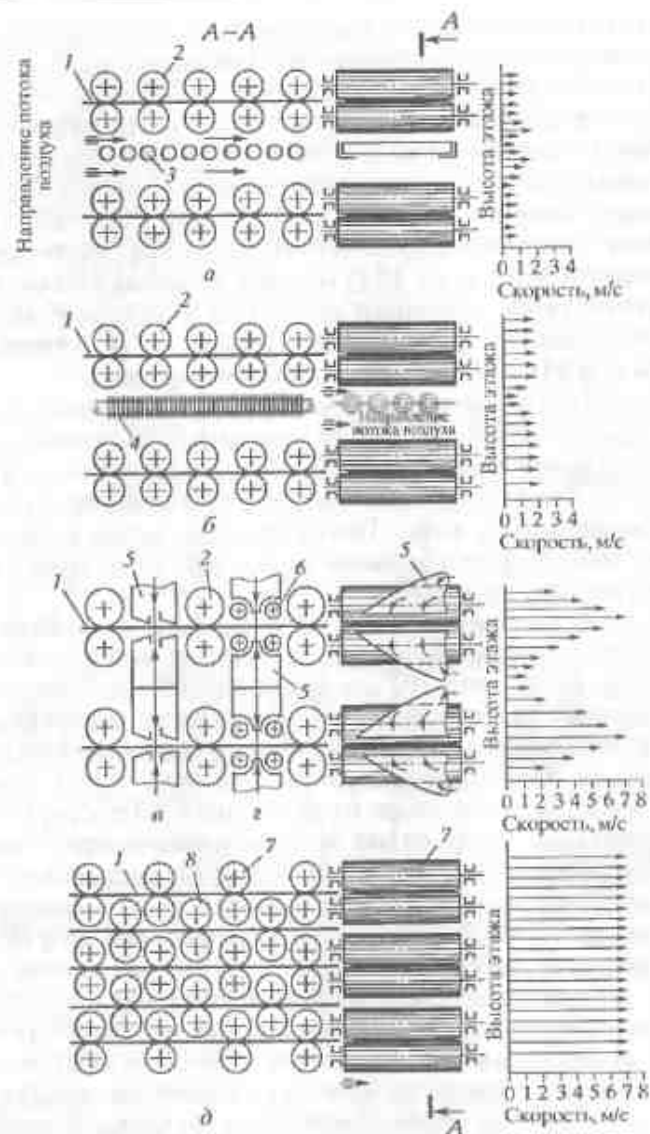


Рис. 13.1. Схема циркуляции и распределение сушильного агента по высоте этажа в роликовых сушилках:

*a* — с продольной циркуляцией; *b* — с поперечной циркуляцией, *в, г* — с радиацией и сопловым дутьем; *д* — с шахматным расположением роликов; 1 — шпон; 2 — ролик; 3 — гладкотрубный калорифер; 4 — ребристый калорифер; 5 — сопловой короб; 6 — паровые трубы; 7, 8 — ролики с шахматным расположением

же — парными роликами 8. Распределение скорости циркуляции по сечению сушилки отличается равномерностью, а скорости — большими значениями по сравнению с другими вариантами. Шахматное расположение роликов позволяет повысить производительность сушилки также и за счет увеличения числа этажей.

Из воздушных сушилок с продольной циркуляцией наибольшее распространение получили отечественная сушилка СУР-3 и зарубежные сушилки «Вяртеиля», «Валмет», «Зимпелькамт».

Сушилка СУР-3 (рис. 13.2) состоит из восьми секций одинаковой конструкции, имеющих длину 1,62 м каждая и последовательно соединенных между собой. Секции I—VI предназначены для сушки, а VII и VIII — для охлаждения шпона.

Боковыми ограждениями сушилки служат подвесные теплоизолированные двери, которые навешены на стойки каркаса, выполненного из профильной стали. Верхнее перекрытие смонтировано из профильной и листовой стали и имеет теплоизоляцию из минеральной ваты. Торцы сушилки ограждены установленными между рядами роликов металлическими теплоизолированными перегородками.

Шпон перемещается парными роликами, вращающимися в противоположных направлениях. Расстояние между осями роликов 140 мм, их диаметр 102 мм, а длина 3700 мм. Нижние ролики — ведущие, они приводятся в движение от бесконечных цепей через звездочки, которые закреплены на одном конце роликов. Привод цепей расположен в торцевой части камеры и состоит из электродвигателя 10, регулятора скорости 7 и лебедки 8 с ведущими звездочками. С противоположного торца расположены ведомые звездочки 14 с натяжной станцией 15.

Циркуляция воздуха осуществляется двумя радиальными вентиляторами 2, расположенными на одной оси и приводимыми во вращение электродвигателем 1. Воздух из секции I через боковые воздухопроводы 9 вентиляторами подается в горизонтальный верхний канал 4, где нагревается в калориферах 13 и через боковые воздухопроводы 12 нагнетается в секцию VI сушилки. Из секции VI воздух движется навстречу движению шпона к секции I. Часть воздуха, прошедшего через сушилку, удаляется через вытяжную трубу 3, а свежий воздух подмешивается к циркулирующему через зазоры в ограждениях. Нагрев воздуха, помимо калориферов, осуществляется внутренними гладкотрубными калориферами, расположенными между этажами.

Охлаждение шпона в секциях VII и VIII проходит следующим образом. Свежий холодный воздух радиальным вентилято-

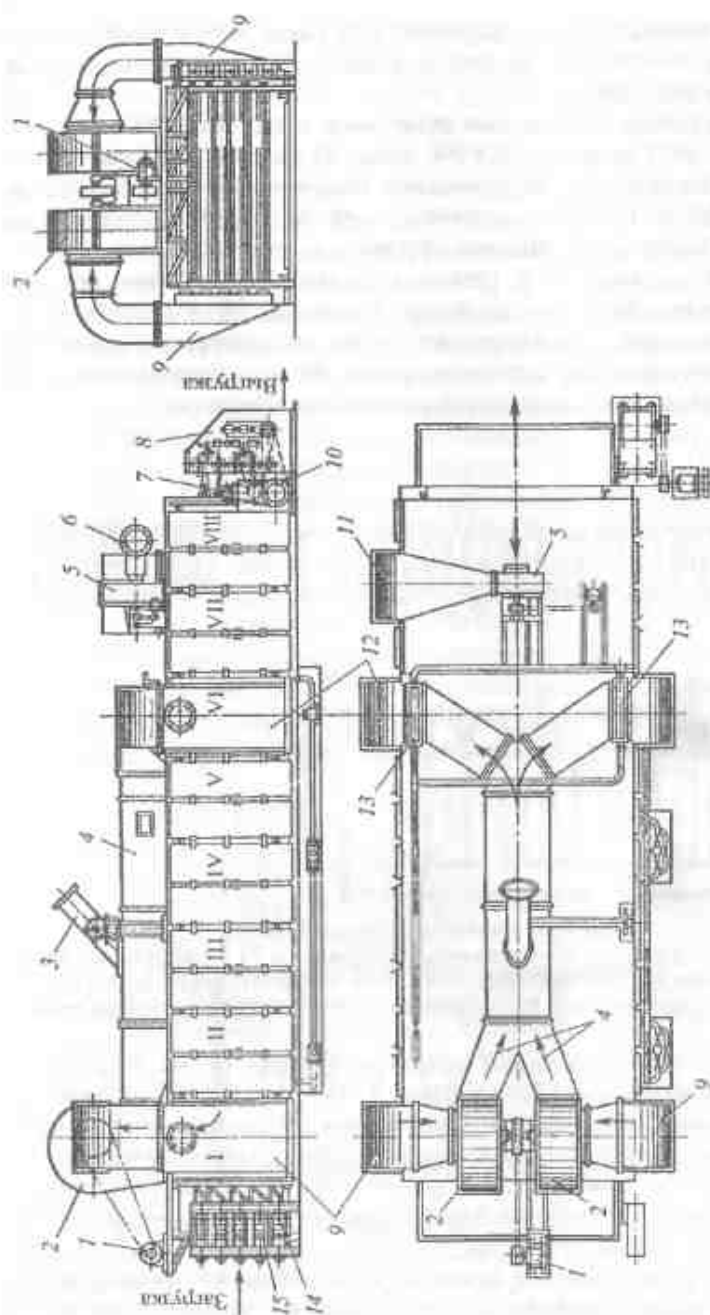


Рис. 13.2. Роликовая сушилка СУР-3:

1 — электродвигатель; 2 — вентилятор; 3 — вытяжная труба; 4 — циркуляционный канал; 5 — вентилятор секции охлаждения; 6 — приточный канал; 7 — регулятор скорости движения цепей; 8 — лебедка; 9, 12 — боковые воздухопроводы; 10 — электродвигатель привода цепей; 11 — боковой канал секции охлаждения; 13 — калориферы; 14 — ведомые звездочки; 15 — натяжная станция (I...VI — секции сушки, VII, VIII — секции охлаждения).

ром 5 из воздуховода 6 подается в секции через боковой канал 11. Внутри секции воздух движется вдоль роликов и затем удаляется в атмосферу.

К воздушным роликовым сушилкам с поперечной циркуляцией относится сушилка СУР-6 (рис. 13.3). Она состоит из загрузочной этажерки с приводными роликами 1, десяти секций сушки I—X, одной секции охлаждения XI и разгрузочной этажерки 2. Циркуляция воздуха осуществляется двенадцатью осевыми вентиляторами 4, 6, размещенными двумя рядами по вертикали в левом боковом коридоре сушилки. Десять вентиляторов обслуживают секции сушки и два — камеру охлаждения. Привод вентиляторов осуществляется от электродвигателей 7, расположенных вдоль левой боковой стенки камеры.

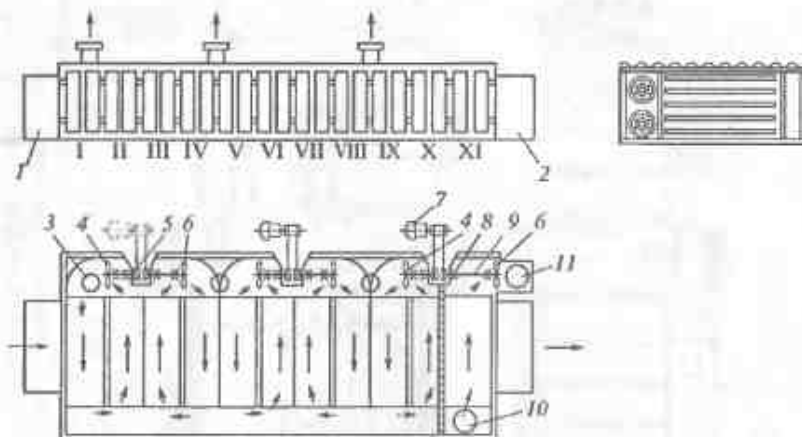


Рис. 13.3. Роликовая сушилка СУР-6:

1 — механизм загрузки; 2 — механизм выгрузки; 3, 11 — вытяжные трубы; 4 — вентиляторы правого вращения; 5 — шкив; 6 — вентиляторы левого вращения; 7 — электродвигатель; 8 — подшипники; 9 — вал; 10 — приточная труба

Вентиляторы засасывают воздух из секций II, III, VI, VII, X и нагнетают его в смежные секции I, IV, V, VIII, IX, осуществляя тем самым поперечную циркуляцию. В коридорах установлены направляющие экраны, снижающие аэродинамическое сопротивление системы. Зоны с различным направлением потока внутри сушилки разделены перегородками, имеющими щелевые отверстия для прохода шпона.

На напорной стороне вентиляторов установлены вытяжные трубы 3. В камеру охлаждения холодный воздух подается через

приточную трубу 10 и выбрасывается в атмосферу через трубу 11. Воздух в сушилке нагревается внутренними паровыми калориферами, установленными поперек воздушного потока.

Сушилка имеет пять этажей роликов. Расстояние между осями роликов 125 мм, их диаметр 102 мм, а длина 3900 мм. Ее используют преимущественно для сушки строганого шпона. Разновидностью этой сушилки является СУР-5, которая имеет только пять секций, в том числе — четыре секции сушки и одну секцию охлаждения.

Для сушки лущеного шпона часто применяется сушилка СУР-4, которая отличается от сушилки СУР-6 более редким расположением роликов (162 мм).

Для предприятий, которые не имеют технологического пара, проф. А. И. Расевым совместно с заводом «СОЮЗ» разработана модернизированная роликовая сушилка СУР-5 (рис. 13.4). Паровые калориферы полностью демонтированы. Теплоснабжение осуществляется воздухом, нагретым в аэротермической установке. Воздух, нагретый в теплообменнике 3 до 150 °С, смешивается с отработавшим воздухом, имеющим температуру 90 °С, который подается в зону смешения циркуляционными вентиляторами 4. Полученная смесь, имеющая температуру 120 °С, проходит последовательно через II и III секции сушки, охлаждается до температуры 110 °С, а затем через секции I, IV, на выходе из которых ее температура снижается до 90 °С. Далее часть отработавшего

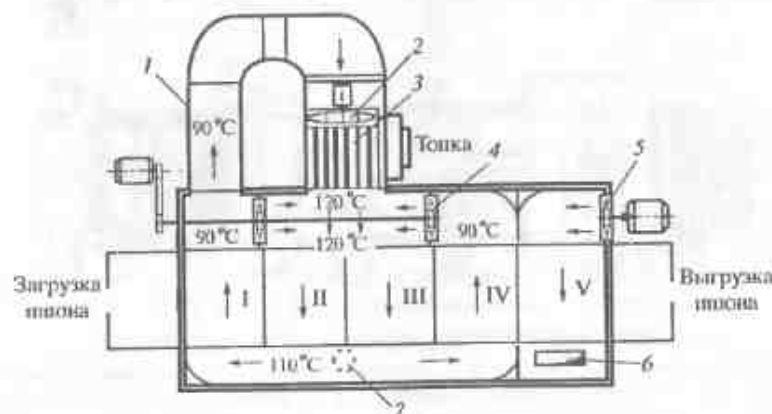


Рис. 13.4. Конструктивная схема модернизированной сушилки СУР-5:

1 — газодой; 2 — вентилятор аэротермической установки; 3 — поверхностный теплообменник; 4 — циркуляционные вентиляторы; 5 — вентилятор секции охлаждения; 6 — выхлопной канал; 7 — вытяжная труба

воздуха по газоходу 1 вентилятором 2 азротемической установки подается опять в теплообменник 3.

Избыточный отработавший воздух по вытяжной трубе 7 удаляется в атмосферу. Приток свежего воздуха осуществляется через зазоры в ограждениях. Шпон охлаждается в секции 10. Свежий воздух вентилятором 5 подается на листы шпона, охлаждает их и по каналу 6 выбрасывается в атмосферу.

Газовые роликовые сушилки СРГ-25, СРГ-25М, СРГ-50, СРГ-50-2 работают на топочном газе, получаемом от сжигания древесных отходов, мазута и природного газа.

Восьмизатяжная сушилка СРГ-25 (рис. 13.5) состоит из десяти секций сушики 9 и двух секций охлаждения 10. Конструкция опорных подшипников роликов 8 отличается повышенной надежностью по сравнению с прежними системами.

Блоки подшипников вместе с роликами легко вынимаются, что облегчает обслуживание и ремонт сушилок. Привод роликов

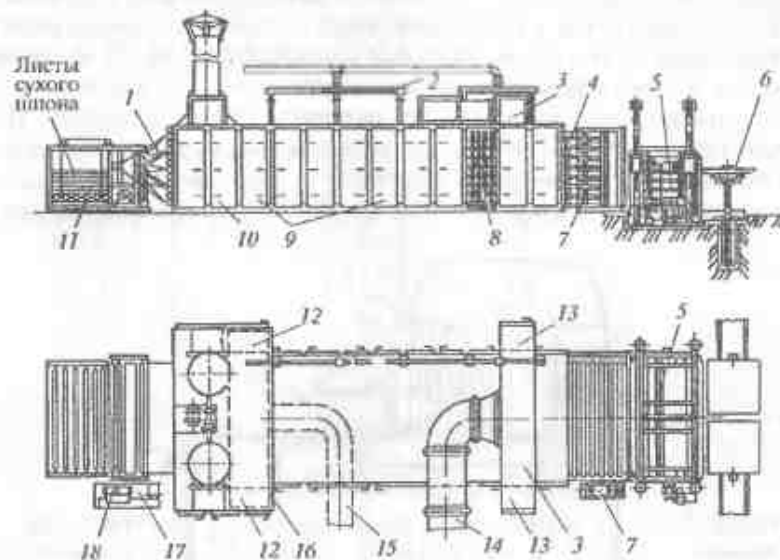


Рис. 13.5. Общий вид газовой роликовой сушилки СРГ-25:

1 — разгрузочное устройство; 2 — паровые трубы системы пожаротушения; 3 — распределительный канал; 4 — загрузочная этажерка; 5 — загрузочный механизм; 6 — подъемная платформа; 7 — колонка натяжения цепей; 8 — приводные ролики; 9 — секции сушики; 10 — секции охлаждения; 11 — роликовый стол; 12, 13 — боковые каналы; 14 — газоход подачи газа в камеру; 15, 16 — подземные газоходы подачи отработавшего газа в камеру смешения; 17 — коробка скоростей; 18 — лебедка

осуществляется цепями от лебедки 18 через коробку скоростей 17. Для натяжения цепей установлена специальная колонка 7 с блокировочным устройством, позволяющим автоматически останавливать привод роликов при обрыве одной из цепей.

В сушилке применена продольная прямоточная циркуляция сушильного агента. Она осуществляется следующим образом. Смесь топочных газов с воздухом при температуре 270...300 °С специальным вентилятором топки — дымососом (топки, смешительная камера и дымосос на рис. 13.5 не показаны) нагнетается по газоходу 14 в распределительный горизонтальный канал 3 и далее по вертикальным боковым каналам 12 в сырой конец сушилки. В каналах 13 сушильный агент с помощью системы экранов распределяется по этажам сушилки и движется вдоль нее (по направлению движения шпона) к сухому концу сушильной зоны. Отработавшая смесь с температурой 150...160 °С через боковые каналы 12 и подземные газоходы 16 и 15 радиальным вентилятором подается в смешительную камеру.

Температура сушильного агента регулируется автоматически. Сушилка снабжена системой аварийной сигнализации и паровой системой (от труб 2) пожаротушения.

Камера охлаждения отделена от сушильной зоны двумя теплоизолированными перегородками. Листы шпона охлаждаются воздухом, который движется в поперечном направлении. Циркуляция воздуха осуществляется двумя осевыми вентиляторами, из которых один нагнетает холодный воздух, а другой выбрасывает воздух в атмосферу после обдувки шпона.

Погрузочные и разгрузочные работы механизированы. Стопы сырого шпона размещают на двух подъемных платформах 6, которые обеспечивают постоянный уровень стоп относительно подающих роликов загрузочного механизма 5. Рабочий поштучно сдвигает листы шпона из стопы в подающие ролики. Далее листы шпона автоматически распределяются по этажам загрузочной этажерки 4 и затем поступают в парные ролики сушилки. Высушенные и охлажденные листы шпона попадают на разгрузочное устройство 1, откуда поочередно автоматически подаются на роликовый стол 11. По мере формирования стопы роликовый стол опускается.

Сушилка СРГ-25М по сравнению с сушилкой СРГ-25 имеет несколько большую длину и повышенное (на 35...40 %) количество циркулирующей газозвушной смеси. Сушилка СРГ-50 состоит из 22 секций, двух топков и двух вентиляторных установок. Сушильный агент подается в среднюю часть сушилки, откуда

направляется одновременно к сырому и сухому концам сушильной зоны (циркуляция продольная, прямоточно-противоточная). Конструкция этой сушилки аналогична конструкции сушилки СРГ-25. Сушилка СРГ-50-2, в отличие от сушилки СРГ-50, оборудована механизмами загрузки и выгрузки шпона и рядом более совершенных узлов.

Газовая сопловая сушилка СРС-Г (рис. 13.6) пятиэтажная, состоит из восьми секций сушики и камеры охлаждения. В верхней части сушилки, в I, III, V, VI и VIII секциях установлены осевые вентиляторы 6 с электродвигателями 7, во II, IV и VII секциях — топки 9, представляющие стальные трубы, футерованные изнутри огнеупорным кирпичом.

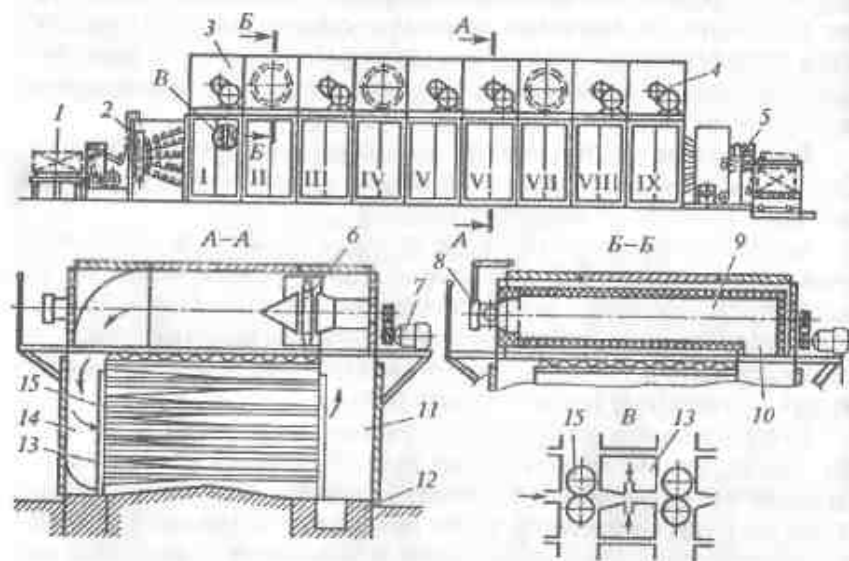


Рис. 13.6. Газовая сопловая роликовая сушилка СРС-Г:

1 — подъемник; 2 — механизм загрузки; 3 — сушильная камера; 4 — секция охлаждения; 5 — механизм выгрузки; 6 — осевые вентиляторы; 7 — электродвигатель; 8 — газовая горелка; 9 — топка; 10 — газопровод; 11 — правый боковой коридор; 12 — канал для частичного удаления отработанного агента сушки; 13 — сопловой короб; 14 — левый боковой коридор; 15 — ролики

Во фронтальной части топков установлены газовые горелки 8. Сушилка снабжена механизмами 2 и 5 для загрузки сырого и выгрузки сухого шпона.

Сушилка работает следующим образом. Сырой шпон подается механизмом загрузки 2 в сушилку. Газовая смесь через щели

сопловых коробов 13 подается перпендикулярно листам шпона. Ее температура составляет 190...210 °С во всех зонах сушилки. Отработавший газ поступает в правый боковой коридор 11, откуда частично удаляется по каналу 12 в атмосферу, а большая его часть смешивается с топочными газами, поступающими из топки по газопроводу 10, и осевыми вентиляторами подается на рециркуляцию в сопловые короба 13. Высушенные листы шпона проходят через секцию охлаждения 4 (секция IX), выгружаются из сушилки и укладываются в плотные стопы механизмом выгрузки 5.

Основные характеристики роликовых сушилок приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1. Техническая характеристика роликовых сушилок

Показатели	Воздушные с паровым обогревом			Газовые		
	СРГ-3	«Вартсила»	СРГ-6	СРГ-25М	СРГ-50	СРС-Г
Длина сушилки, м						
рабочая	13,0	16,2	14,3	13,1	23,9	14,6
габаритная	16,8	20,4	18,0	24,0	34,0	23,0
Ширина (по воздуховодам), м	5,9	6,4	7,0	6,0	6,0	5,5
Высота, м	4,8	4,8	3,4	3,8	3,8	—
Число этажей	5	5	5	8	8	5
Расстояние между осями роликов, мм	140/200	200	125	180	180	325
Объем циркулирующего агента сушки, тыс. м <sup>3</sup> /ч	50,0	32,0	70,0	80,0	160,0	40,0
Поверхность нагрева calorиферов, м <sup>2</sup>	360	700	2600	—	—	—
Мощность электродвигателей, кВт	36	22	50	140	200	220
Расход пара, кг/м <sup>3</sup> шпона	1200	1080	1100	—	—	—
Расход топлива, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> шпона	—	—	—	0,35	0,35	—
Производительность, м <sup>3</sup> /ч, (шпон березовый, S = 1,5 мм, W <sub>н</sub> = 80 %, W <sub>к</sub> = 6 %)	0,9	1,5	1,8	3,2	6,4	4,2

Газовые сушилки более производительны по сравнению с воздушными, поэтому многие фанерные предприятия переоборудуют воздушные сушилки на обогрев топочными газами. При этом их производительность повышается примерно в два раза.

### § 55. Сушка шпона непрерывной лентой

Сушка шпона в листах трудоемка и неэкономична с точки зрения рационального использования древесины.

Сырым листам шпона дают при рубке припуски, превышающие величину усушки, что вызвано значительной изменчивостью свойств древесины. Этот запас при форматной обрезке готовой фанеры идет в отходы. В процессе рубки, перекладки и загрузки в сушилку сырого шпона, имеющего низкую прочность, возможны поломки, ведущие к дополнительным потерям древесины.

Более экономична и менее трудоемка технология получения сухого шпона на единой поточной линии. Сырой шпон сразу после лущения подают в сушилку и сушат в ней в виде непрерывной ленты, после чего рубят на форматные листы. Такая технология позволяет экономить 3...5% древесины при снижении трудозатрат в 2...2,5 раза.

Основной причиной, сдерживающей внедрение такой технологии, является невозможность сушки шпона непрерывной лентой в роликовых сушилках. При сушке в них листов, которые перемещаются в направлении вдоль волокон, усушка происходит свободно, так как роликовая сушилка жестко фиксирует лист по длине и не препятствует усушке его по ширине, т. е. в направлении поперек волокон. При сушке непрерывной лентой жесткая фиксация листов по длине совпадает с их размерами в направлении поперек волокон, т. е. в направлении усушки, что неизбежно ведет к разрыву ленты шпона.

Проблема сушки шпона непрерывной лентой решается путем замены роликовых сушилок ленточными, в которых шпон перемещается между двумя лентами из проволоочной сетки, движущимися вдоль сушилки. Давление лент на шпон в отличие от давления, создаваемого роликами, невелико. Поэтому лента шпона в направлении ее перемещения жестко не фиксируется и усыхает свободно.

В нашей стране на ряде фанерных заводов эксплуатируются поточные линии лущения и сушки шпона, поставляемые фир-

мой «Рауте» (Финляндия). Фирма поставляла линии, оборудованные трех- и четырехэтажными воздушными ленточными сушилками с паровым обогревом, и пятиэтажными газовыми сушилками, работающими на природном газе.

Схема воздушной трехэтажной сушилки приведена на рис. 13.7. Лента шпона от лущильного станка подается ремennым конвейером 2 в промежуток 3 между сетками верхнего этажа сушилки, перемещается в этом промежутке, а затем в промежутках четвертого и пятого нижних этажей, меняя, как показано стрелками на рисунке, направление своего движения. Затем лента шпона проходит между ремнями конвейера 6 через нижний отсек сушилки, играющий роль камеры охлаждения.

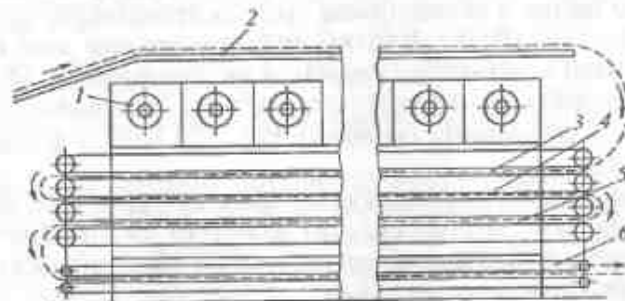


Рис. 13.7. Схема ленточной сушилки:

1 — осевой вентилятор; 2 — ремennый конвейер; 3—5 — промежутки между сетками; 6 — конвейер камеры охлаждения

Циркуляция воздуха в сушилке вертикально-поперечная, с сопловым дутьем. В каждой секции установлен осевой вентилятор 1, создающий замкнутое кольцо циркуляции, по аналогии с тем, как это делается в сушилке СРС-Г (см. рис. 13.6, разрез А—А). Однако в рассматриваемой конструкции, в отличие от сушилки СРС-Г, сопловые короба сделаны с соплами не щелевидной формы, а в виде отверстий диаметром 10 мм с шагом между центрами 35...45 мм. Камера охлаждения имеет собственную систему циркуляции, оснащенную специальными вентиляторами.

Отсутствие жесткой фиксации шпона между сетками позволяет избежать разрывов ленты, но качество шпона относительно невысокое — он получается недостаточно плоским, со значительной волнистостью и гофром. По этой причине сушилки не получили широкого распространения. Проблема сушки шпона в непрерывной ленте еще полностью не решена и требует дальнейшей разработки.

### § 56. Режимы и продолжительность сушки шпона

Режимы сушки шпона определяют состояние сушильного агента и продолжительность процесса. Температура сушильного агента в воздушных роликовых сушилках зависит от давления пара и поверхности нагрева калориферов. При давлении пара 0,7...0,8 МПа она составляет в среднем: в сушилках «Вяртсиля», «Валмет» — 130 °С; «Зимпелькамп», СУР-3 — 110 °С; СУР-4 — 125 °С; СУР-6 — 125...140 °С.

В газовых роликовых сушилках при сушке березового шпона рекомендуется поддерживать среднюю температуру около 210 °С (в сыром конце 270 °С, в сухом — 150 °С). При сушке шпона из древесины сосны и лиственницы средняя температура не должна превышать 180...190 °С. Влагосодержание воздуха или газозооной смеси в роликовых сушилках не регулируется. Оно зависит от состояния ограждений, а также вида сушильного агента и составляет в воздушных сушилках 130...170 г/кг, а в газовых — 150...250 г/кг.

Для определения продолжительности сушки шпона на практике используют таблицы средних значений продолжительности сушки, которые составлены на основании теоретических расчетов и проверены опытным путем. Некоторые из этих средних значений приведены в табл. 13.2 применительно к сушке березового шпона от начальной влажности 90 % до конечной влажности 6...8 %. Методика расчета продолжительности сушки шпона представлена в работах Д. М. Стершина [32] и Г. С. Шубина [40].

Производительность роликовой сушилки  $\Pi$  (м<sup>3</sup> шпона) за период времени  $T$  (мин) определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{T}{\tau} n S b L \beta_{дл} \beta_{вр} \quad (13.1)$$

где  $n$  — число листов шпона по ширине этажа, умноженное на число этажей;

$S$  — толщина шпона, м;

$b$  — ширина листа сухого шпона, м;

$L$  — рабочая длина сушилки, м;

$\beta_{дл}$  — коэффициент заполнения шпоном сушилки по длине (в среднем 0,98);

$\beta_{вр}$  — коэффициент использования рабочего времени (0,90...0,95);

$\tau$  — продолжительность сушки шпона, мин.

Таблица 13.2. Продолжительность сушки шпона в роликовых сушилках  $\tau$ , мин

Толщина шпона, мм	Средняя температура сушильного агента, °С	Воздушные сушилки			Газовые сушилки	
		продольная циркуляция	поперечная циркуляция	сопловое дутье	продольная циркуляция	сопловое дутье
0,4	80	5,0	4,5	3,8	5,0	4,0
0,8	110	13,0	8,0	6,0	9,0	5,6
1,5	120	17,5	14,0	8,0	17,0	8,5
1,5	160	10,5	9,0	5,0	11,5	5,5
1,5	200	—	—	—	8,8	4,0
2,2	140	21,5	18,0	10,0	22,1	11,0
2,2	200	—	—	—	14,6	6,6
3,5	140	39,0	33,0	18,0	41,0	19,0
3,5	200	—	—	—	27,0	12,0

**Пример.** Определить часовую производительность роликовой сушилки СУР-6 при сушке березового шпона от начальной влажности 90 % до конечной 7 %, толщиной 2,2 мм (0,0022 м) при температуре 140 °С. Ширина листа сухого шпона 1500 мм (1,5 м).

В табл. 13.1 находим  $L = 14,3$  м; в табл. 14.2 —  $\tau = 18$  мин;

$$\Pi = (60/18) \cdot 2 \cdot 5 \cdot 0,0022 \cdot 1,5 \cdot 14,3 \cdot 0,98 \cdot 0,95 = 1,463 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

### Контрольные вопросы

1. В чем состоят особенности сушки шпона по сравнению с сушкой пиломатериалов?
2. Как классифицируются сушилки для шпона?
3. Каковы особенности циркуляции сушильного агента в сушилках с продольной циркуляцией, с поперечной циркуляцией, с сопловым дутьем?
4. Каковы устройство и принцип работы воздушной роликовой сушилки с продольной циркуляцией, с поперечной циркуляцией, с сопловым дутьем?
5. Каковы особенности устройства и принципа работы газовых сушилок типа СРГ?
6. Какие достоинства имеет сушка шпона непрерывной лентой?
7. Каким образом работает сушилка шпона непрерывной лентой?
8. Какими параметрами характеризуется режим сушки шпона?

### § 57. Особенности сушки измельченной древесины. Классификация сушилок

К измельченной древесине, которая по условиям производства подлежит обязательной сушке, относятся технологическая щепа, идущая на изготовление древесностружечных плит, топливных брикетов и гранул, упаковочная стружка, спичечная соломка.

Наибольшее значение имеет сушка технологической щепы, особенно в производстве древесностружечных плит (ДСтП). Технология их производства требует высушивания измельченной древесины до влажности 3...9%. В производстве топливных брикетов и гранул конечная влажность щепы — 10...12%.

Начальная влажность измельченной древесины, подвергаемой сушке, составляет: выработываемой из дровяного сырья и сырых отходов — 60...120%, стружки от строгальных и фрезерных станков — 8...15%, опилок — 8...120%.

Малые размеры частиц, хорошо развитая их поверхность, отсутствие жестких требований в отношении растрескивания древесины — все эти факторы определяют возможность проведения очень интенсивной сушки, которая может происходить при высокой температуре.

Для сушки измельченной древесины используют сушилки непрерывного действия. Они подразделяются на четыре группы: конвективные с механическим перемещением материала; конвективные с пневмомеханическим перемещением материала, конвективные с пневматическим перемещением материала и кондуктивные.

К сушилкам первой группы относятся воздушные ленточные. Измельченная древесина перемещается через сушильное пространство слоем на сетке ленточного конвейера. Сушильный

агент продувается через слой частиц в направлении, перпендикулярном поверхности слоя, со скоростью 1...0,7 м/с. Продолжительность процесса сушки составляет 15...30 мин.

Сушка измельченной древесины в сушилках с пневмомеханическим перемещением материала проходит во вращающемся или неподвижном барабане. Поэтому сушилки этой группы принято называть барабанными. При вращении барабана (или ротора) происходит перемещение и перемешивание частиц, одновременно омываемых проходящим через барабан сушильным агентом. Тепловая энергия передается материалу в основном путем конвекции. Продолжительность сушки в барабанных сушилках — 3...15 мин.

В деревообрабатывающей промышленности применяют следующие виды сушильных барабанов: вращающийся одноходовой, вращающийся трехходовой, неподвижный с сопловым дутьем, неподвижный с вращающимся ротором.

В пневматических сушилках древесина высушивается во взвешенном состоянии в потоке движущегося газа. Хороший обдув частиц агентом сушки обеспечивает интенсивный конвективный теплообмен между ними, а следовательно, и весьма интенсивную сушку. Наиболее рациональная область их применения — предварительная сушка материала с последующей сушкой до требуемой влажности в барабанных сушилках.

Кондуктивные сушилки представляют собой неподвижный барабан, внутри которого монтируют ротор из обогреваемых паром теплообменных труб. Высушиваемый материал перемешивается вращающимся ротором. Тепло материалу передается путем кондукции от горячей поверхности труб. Сушилки применяют в очень ограниченном количестве и на предприятиях с малым объемом производства ДСтП.

Основными для измельченной древесины являются барабанные сушилки.

### § 58. Барабанные сушилки

Наибольшее распространение имеют барабанные сушилки, в которых в качестве сушильного агента используют смесь топочных газов с воздухом.

Основная рабочая часть сушилки «Прогресс» (рис. 14.1) — вращающийся барабан 6. Бандажи 5, укрепленные на барабане,

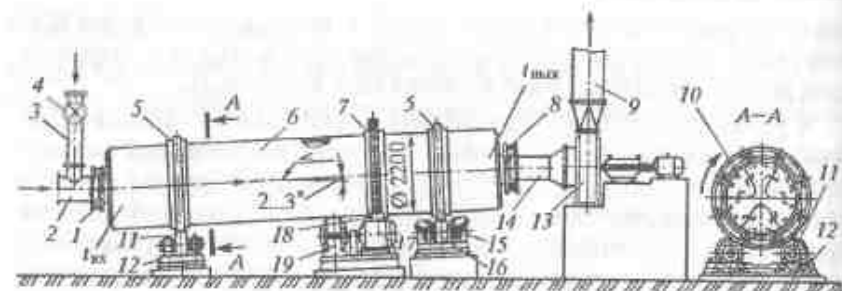


Рис. 14.1. Газовая барабанная сушилка «Прогресс»:

1, 8 — торцовые уплотнители; 2 — газоход подачи газозвушной смеси; 3 — труба подачи измельченной древесины; 4 — питатель; 5 — бандажи; 6 — барабан; 7 — венцовая шестерня; 9 — труба; 10 — лопасти; 11, 16 — опорные ролики; 12, 15 — опорные станции; 13 — дымосос; 14 — газоход; 17 — электродвигатель; 18 — шестерня; 19 — редуктор

катятся по опорным роликам 11 и 16, которые вращаются в подшипниках опорных станций 12 и 15. Опорные станции установлены на разновысоких фундаментах, обеспечивающих уклон барабана на  $2...3^\circ$  в сторону загрузки сырого материала.

Барабан приводится во вращение от электродвигателя 17 и редуктора 19 через зубчатую пару 18, 7. Венцовая шестерня 7 этой пары укреплена на барабане. Частота вращения барабана меняется от 4 до 9  $\text{мин}^{-1}$ . Внутри барабан устроен следующим образом. В одном его конце, со стороны загрузки материала, на участке длиной 1 м расположена насадка из винтовых лопастей, предназначенная для питания барабана сырой стружкой. Остальная часть барабана по всей длине разделена на шесть секторов (барабаны старых моделей разделены на пять секторов) с Г-образными лопастями 10, предназначенными для перемешивания материала. Барабан соединен с газоходами 2 и 14 с помощью плавающих торцовых уплотнений 1 и 8. В газоход 2 из смесительной камеры топки подается рабочая газозвушная смесь, а через трубу 3 с питателем 4 поступает сырая измельченная древесина. Движение высушиваемого материала вдоль барабана происходит под действием напора газового потока. Высушенная стружка с отработавшей смесью через газоход 14 дымососом 13 направляется по трубе 9 в циклон-отделитель, установленный над бункером сухой стружки.

Рабочая газозвушная смесь, поступающая в барабан, подготавливается в смесительной камере, где к топочным газам подмешивается свежий воздух. Температура в топочной камере под-

держивается в пределах  $900...1000^\circ\text{C}$ , на входе в сушилку  $t_{\text{вх}} = 350...450^\circ\text{C}$ , а на выходе  $t_{\text{вых}} = 90...120^\circ\text{C}$ . Количество циркулирующего сушильного агента  $7...8,5 \text{ кг/с}$ .

В устаревших конструкциях барабан располагался с уклоном  $3^\circ$  в сторону движения материала (положительный угол наклона). Однако более рационально барабан устанавливать под углом  $2...3^\circ$  (см. рис. 14.1) в сторону, обратную движению материала (отрицательный угол наклона), что резко повышает производительность сушилки. Объясняется это следующим.

При установке барабана с отрицательным углом наклона возрастает коэффициент его заполнения высушиваемым материалом, что ведет к увеличению перепада температуры сушильного агента по длине барабана. Это позволяет увеличить количество циркулирующей газозвушной смеси и повысить ее температуру на входе в сушилку, не превышая безопасный температурный уровень в сухом конце барабана ( $160...170^\circ\text{C}$ ).

Продолжительность сушки измельченной древесины зависит от угла наклона оси барабана, частоты его вращения и скорости движения агента сушки.

Производительность барабанной сушилки, показанной на рис. 14.1, при сушке измельченной древесины влажностью от 80 до 4 % составляет  $3,5...4,5 \text{ т/ч}$  (по сухой стружке). Расход тепла равен примерно  $4,5...5 \text{ МДж}$  на 1 кг испаренной влаги.

Схема сушильной установки «Бизон» с трехходовым барабаном приведена на рис. 14.2. Вращающийся барабан 6 сушилки имеет внутри три канала, образованные концентрически расположенными трубами. Сырая измельченная древесина из бункера 5 винтовым конвейером 4 через шлюзовую затвор 2 подается в газоход 3 и в потоке горячего газа поступает в центральный канал 7 барабана. Движение газа и материала осуществляется за счет разрежения, создаваемого дымососом 13. Газовый поток вместе с материалом проходит через центральный канал со скоростью около 20 м/с. Далее он делает поворот на  $180^\circ$  и попадает в средний кольцеобразный канал 8, в котором скорость снижается до  $6...7 \text{ м/с}$ . После этого имеет место еще один поворот на  $180^\circ$  в наружный канал 9, где скорость составляет  $4...5 \text{ м/с}$ .

Средний и наружный каналы снабжены профильными лопастями для перемешивания материала. При выходе из барабана сухая древесина в потоке отработавшей смеси направляется дымососом в циклон 11, из которого материал удаляется через шлюзовую затвор 12. Отработавшие газы частично выбрасывают-

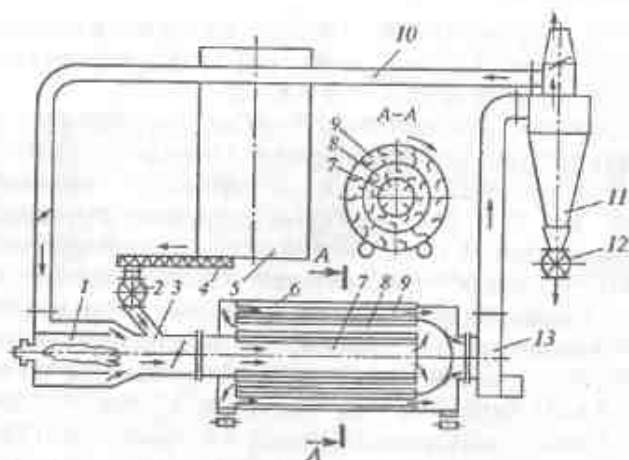


Рис. 14.2. Схема сушильной установки «Бизон» с трехходовым барабаном:  
1 — топка; 2, 12 — шлюзовые затворы; 3, 10 — газоходы; 4 — винтовой конвейер;  
5 — бункер; 6 — барабан; 7 — центральный канал барабана; 8 — средний канал  
барабана; 9 — наружный канал барабана; 11 — циклон; 13 — дымоход

ся в атмосферу, а частично возвращаются по газоходу 10 к топке 1 для смешения с продуктами горения.

В установке «Бизон» путь движения высушиваемых частиц значительно длиннее, чем в сушилке «Прогресс». Это позволяет повысить температуру газов на входе в барабан и тем самым производительность установки.

На некоторых предприятиях нашей страны эксплуатируются газовые барабанные сушилки фирмы «Бютнер» (рис. 14.3).

В неподвижный сушильный барабан 4 через шлюзовой затвор 9 поступает сырая стружка, которая подхватывается потоком газозвушной смеси. Эта смесь поступает в барабан через газоход-сопло 6, вытянутый по всей длине барабана. Измельченная древесина проходит сушилку по винтовой траектории (показано стрелками) от сырого к сухому концу барабана при интенсивном перемешивании. В газоход-сопле 6 установлены поворачивающиеся на осях щитки 5. Их поворотом изменяют угол входа сушильного агента, тем самым регулируют продолжительность пребывания материала в барабане (продолжительность сушки). На валу 3, вращающемся в подшипниках 8, установлены лопасти-гребенки 2, которыми перемещается высушиваемая стружка.

Сухая стружка с отработанными газами подается вентилятором 7 в циклон-отделитель 10, откуда она удаляется через шлюзовой затвор 11. Отработавший агент сушки частично выбрасы-

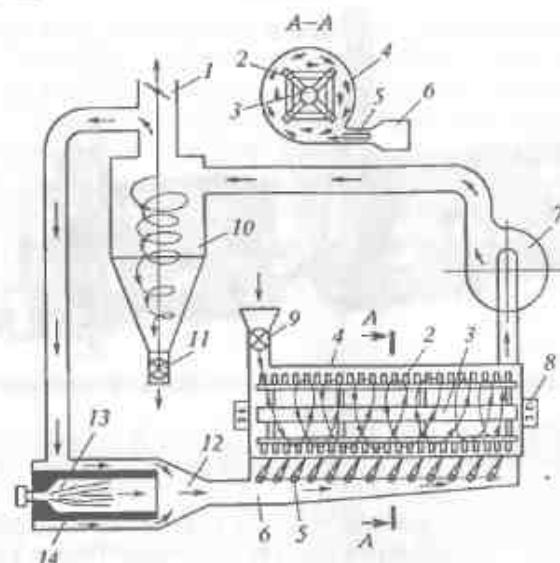


Рис. 14.3. Схема газовой барабанной сушилки фирмы «Бютнер»:  
1 — труба; 2 — лопасти; 3 — вал; 4 — барабан; 5 — поворотные щитки; 6 — газоход-сопло; 7 — вентилятор; 8 — подшипники; 9, 11 — шлюзовые затворы;  
10 — циклон; 12 — смешительная камера; 13 — камера горения; 14 — топка

вается в атмосферу через трубу 1, а большая его часть поступает на рециркуляцию в смешительную камеру 12 топки 14. Туда же поступают топочные газы из камеры горения 13. Образующаяся газозвушная смесь с температурой 350...400 °С направляется в газоход-сопло 6.

Производительность сушилки «Бютнер» такая же, как у сушилки «Прогресс» с отрицательным углом наклона -2°.

Недостаток сушилки — повышенный расход теплоты на испарение и ограниченный верхний предел температуры подаваемой в барабан газозвушной смеси (350...400 °С), что в целом связано с малой степенью использования теплового потенциала сушильного агента.

Сушилки «Бютнер» выпускают с диаметром барабана 3,2 м и длиной до 12 м. Их производительность 4,5...5,5 т сухой стружки в час.

Заводом «СОЮЗ» совместно с проф. А. И. Расевым разработан и по заказам промышленности выпускается комплекс для сушки щепы, идущей на производство топливных брикетов и гранул (пеллет), мощностью от 0,5 до 4,0 т сухой измельченной древесины в час. На рис. 14.4 изображен общий вид такого ком-

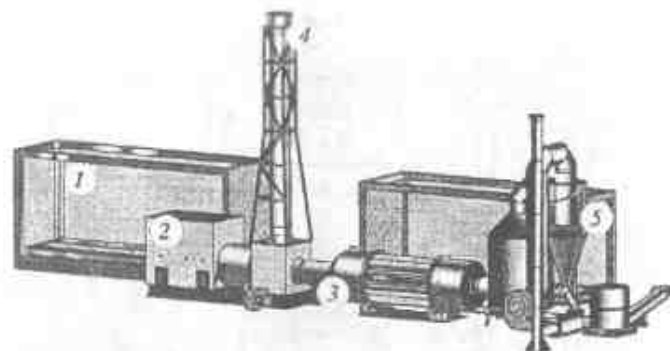


Рис. 14.4. Общий вид сушильного комплекса «СОЮЗ» производительностью 0,5...0,7 т/ч:

1 — механизированный склад топлива; 2 — топка; 3 — барабанная сушилка; 4 — растопочная труба; 5 — механизированный склад сырой щепы

плекса производительностью 0,5...0,7 т/ч. Он оборудован топкой 2 для получения бездымных топочных газов. Топка работает на измельченных отходах деревообрабатывающего производства, подаваемых автоматически из механизированного склада 1. Топочный газ в смеси с воздухом при температуре 230...240 °С поступает в сушильный барабан 3. Тула же одновременно подается сырая щепа со склада 5. После прохождения через сушилку высушенный материал с отработавшей газовой смесью попадает в циклон, где происходит их разделение. Сухая щепа шнековым транспортером направляется на последующую обработку, а отработавшая смесь удаляется через выхлопную трубу.

Сушильный барабан (рис. 14.5) имеет неподвижный цилиндрический корпус 1, внутри которого вращается ротор, на валу 8 которого смонтированы диски 4 и кольца 3, скрепленные между

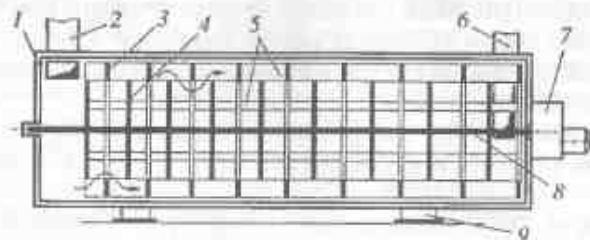


Рис. 14.5. Конструктивная схема сушильного барабана:

1 — корпус; 2 — канал подачи щепы и газовой смеси; 3 — кольцо; 4 — диск; 5 — лопасти; 6 — канал удаления сухой щепы и отработанного сушильного агента; 7 — привод ротора; 8 — вал; 9 — опора

собой лопастями 5. Ротор приводится во вращение электродвигателем с редуктором 7. Сырая щепа с газовой смесью поступают в сушилку по тангенциальному входу из канала 2. Чередование дисков и колец, смонтированных на валу, приводит к циклическому изменению скорости движения сушильного агента. Это способствует интенсивному перемешиванию высушиваемого материала с одновременным его перемещением вдоль барабана. Высушенный материал с отработавшей смесью удаляются по тангенциальному выходу в канал 6.

### § 59. Комбинированные сушилки

Комбинированные двухступенчатые сушильные установки состоят из пневматической трубы-сушилки и сушильного барабана.

Первая стадия сушки происходит в топочно-сушильном агрегате (ТСА), схема устройства которого приведена на рис. 14.6.

Центральная труба 4 представляет собой топку, в торцевой части которой расположена горелка 10 для сжигания жидкого или газообразного топлива. На трубу навит спиральный газо-

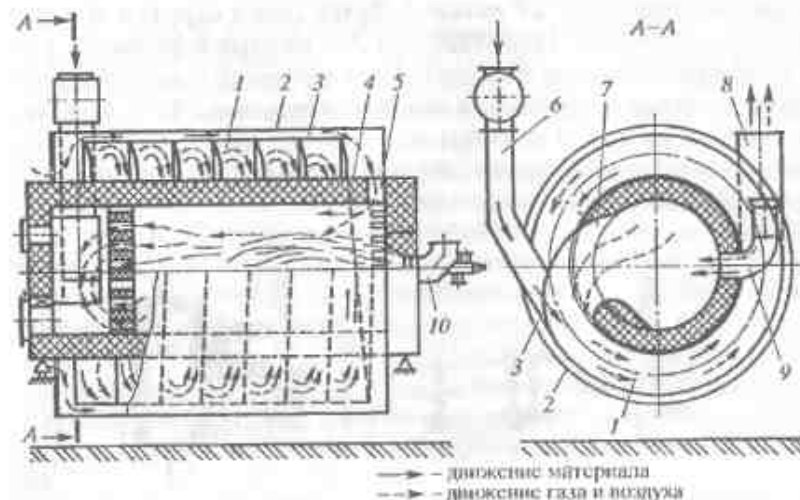


Рис. 14.6. Топочно-сушильный агрегат (ТСА):

1 — спиральный газодод; 2 — кожух; 3 — канал для подачи свежего воздуха; 4 — центральная труба; 5 — отверстие для подачи свежего воздуха; 6 — труба подачи сырой стружки; 7 — окно; 8 — отвод для газовой смеси и подсушенной стружки; 9 — лок для подачи свежего воздуха; 10 — горелка

ход 1, соединенный с топкой окном 7. Этот газодол имеет трубу 6 для подачи сырой и отвод 8 для удаления смеси газа с подсушенной стружкой, подсоединенный к всасывающему патрубку дымососа. Для подачи свежего воздуха имеется канал 3, образованный кожухом 2 и наружной стенкой спирального газодола 1. Дополнительная подача свежего воздуха к продуктам горения осуществляется через люк 9, снабженный шибером.

Сырая стружка непрерывно поступает в газодол 1 через трубу 6. Одновременно туда поступают топочные газы с температурой 600...700 °С из топки 4 через окно 7. При прохождении стружки по газодолю происходит процесс ее сушки, затем она, имея влажность 15...30 %, через отвод 8 подается в сушильный барабан. Температура газовой смеси понижается до 200...300 °С.

Схема комбинированной сушилки ЦНИИФ, состоящей из ТСА, барабана «Прогресс» и устройства для сжигания древесной пыли, приведена на рис. 14.7. К топке 9 топочно-сушильного агрегата 10 пристроена дополнительная камера 8 с форсункой для природного газа или мазута и горелкой 6 для ввода пыли. Сырая стружка через шилюзовый затвор 5 и канал 4 поступает в спиральную трубу и проходит по ней с потоком горячей газозвушной смеси, поступающей из топки 9. Далее смесь стружки и газа по трубе 3 дымососом 11 нагнетается в сушильный барабан 12, откуда вторым дымососом 1 высушенный материал с отработавшими газами по трубе 2 подается в циклон-отделитель. Если используется только жидкое и газообразное топливо (без пыли), то топочную камеру не монтируют, а горелку устанавливают по схеме, изображенной на рис. 14.6.

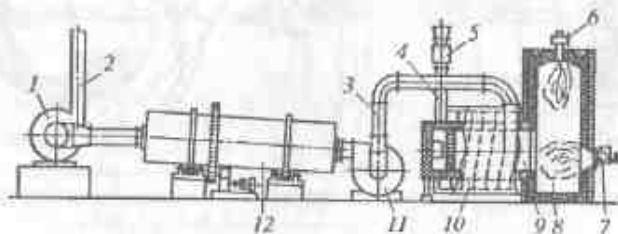


Рис. 14.7. Схема комбинированной сушилки ЦНИИФ (ТСА с барабаном «Прогресс»):

1, 11 — дымососы; 2, 3 — трубы; 4 — канал подачи сырой стружки; 5 — шилюзовый затвор; 6 — горелка для сжигания древесной пыли; 7 — горелка для природного газа или жидкого топлива; 8 — дополнительная камера; 9 — топка; 10 — ТСА; 12 — барабан.

Комбинированная сушилка обеспечивает более равномерное высушивание стружки, так как в барабане проходит не только сушка, но и кондиционирование влажности. Кроме того, повышается производительность установки. Например, барабан «Прогресс» диаметром 2,2 м имеет среднюю производительность по сухой стружке 3,3 т/ч, а тот же барабан с ТСА — 5 т/ч.

Высокой производительностью отличается комбинированная сушилка ВБШН (рис. 14.8), состоящая из вертикальной трубы-сушилки и барабанной сушилки «Бютнер».

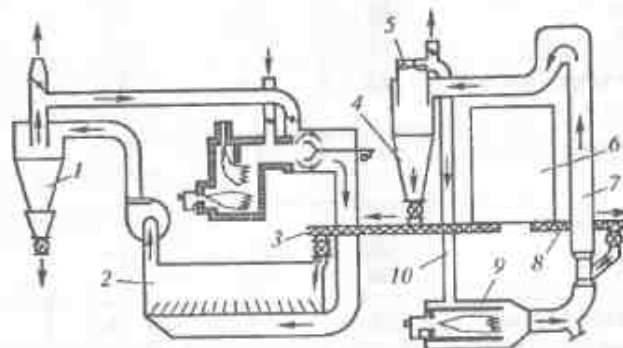


Рис. 14.8. Схема комбинированной сушилки ВБШН:

1 — бункер сухой стружки; 2 — сушилка «Бютнер»; 3 — винтовой конвейер; 4 — циклон; 5 — дымосос; 6 — бункер сырой стружки; 7 — труба-сушилка; 8 — винтовой конвейер; 9 — топка; 10 — труба

Сырая стружка из бункера 6 винтовым конвейером 8 подается в трубу-сушилку 7 для предварительной подсушки. Движение смеси газа с материалом обеспечивается работой дымососа 5, совмещенного с циклоном 4. В циклоне происходит отделение подсушенных частиц от газа. Отработавший газ частично выбрасывается в атмосферу, а большая его часть по трубе 10 возвращается в топку 9 на рециркуляцию. Подсушенная стружка из бункера 6 направляется в барабан сушилки 2, где подвергается окончательной сушке. Высушенная стружка из бункера 1 поступает в поток изготовления древесностружечных плит.

Если измельченная древесина имеет начальную влажность ниже 90 %, подсушка не требуется, и труба-сушилка отключается. Тогда стружка из бункера 6 подается непосредственно в барабан.

Основные технические характеристики сушилок, применяемых в производстве ДСтП, приведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1. Основные технические характеристики сушилок в производстве ДСП

Показатели	Типы сушилок			
	Одноступенчатые			
	Барабан «Прогресс», диаметр 2,2 м	Барабан «Прогресс», диаметр 2,8 м	Барабан «Бютнер» с сплошым дутьем, диаметр 3,2 м	Трехходовой барабан «Бютнер», диаметр 3,4 м
Влажность стружки, %: начальная конечная	90 2	90 2	90 2	90 2
Производительность, т сухой стружки в 1 ч	3,3	6,0	7,5	9,1
Масса циркулирующего газа, т/ч	30,0	48,0	50,0	48,0
Температура газа, °С: на входе на выходе	400 120	400 120	400 145	650 125
Расход электроэнергии, кВт·ч на 1 т испаренной влаги	27	27	27	17
Габаритные размеры установки, м: диаметр (барабана, ТСА) длина (барабана, ТСА)	2,2 10,0	2,8 14,0	3,2 12,0	3,4 10,0
Показатели	Типы сушилок			
	Комбинированные			
	ЦНИИФ (ТСА с барабаном «Прогресс», диаметр 2,2 м)		ВВШ (труба с барабаном «Бютнер», диаметр 3,6 м)	
	I ступень (ТСА)	II ступень (барабан)	I ступень (труба)	II ступень (барабан)
Влажность стружки, %: начальная конечная	90 20	20 2	110 65	65 2
Производительность, т сухой стружки в 1 ч	5,0	5,0	12,0	12,0
Масса циркулирующего газа, т/ч	30,0	30,0	30,4	88,0

Окончание табл. 14.1

Показатели	Типы сушилок			
	Комбинированные			
	ЦНИИФ (ТСА с барабаном «Прогресс», диаметр 2,2 м)		ВВШ (труба с барабаном «Бютнер», диаметр 3,6 м)	
	I ступень (ТСА)	II ступень (барабан)	I ступень (труба)	II ступень (барабан)
Температура газа, °С: на входе на выходе	630 220	220 120	480 350	350 150
Расход электроэнергии, кВт·ч на 1 т испаренной влаги	34		48	
Габаритные размеры установки, м: диаметр (барабана, ТСА, трубы) длина (барабана, ТСА) высота трубы	3,5 9,0	2,2 10,0	1,0 26,0	3,6 12,0

Примечание. Технические характеристики барабанных сушилок «Прогресс» даны при угле наклона (-2°), а зарубежных сушилок — по данным фирм.

## § 60. Ленточные сушилки

Ленточные сушилки подразделяют на два типа: одноленточные (с одним конвейером) и многоленточные (с несколькими конвейерами, расположенными один над другим).

Одноленточные сушилки (рис. 14.9) обычно делают воздушными с паровым обогревом. Ограждением сушилки служат теплоизолированные металлические щиты, закрепленные на каркасе.

Внутри камера разделена по ширине вертикальной перегородкой на две части: сушильную зону и циркуляционный коридор. В сушильной зоне размещены калориферы 3, сетка ленточного конвейера 4 со слоем высушиваемого материала и циркуляционная установка 5.

Циркуляционная установка состоит из блока осевых вентиляторов, вращающихся на общем валу, с приводом от электродвигателя. Вентиляторы отделены один от другого наклонными перегородками.

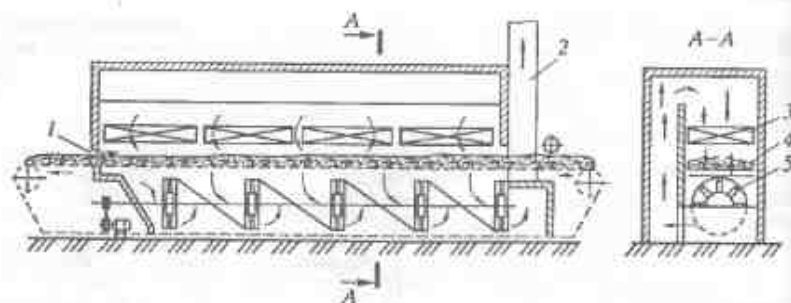


Рис. 14.9. Схема одноленточной сушилки:

1 — отверстие для подачи свежего воздуха; 2 — вытяжная труба; 3 — калорифер; 4 — ленточный конвейер со слоем высушиваемого материала; 5 — циркуляционная установка

Воздух нагнетается вентиляторами в циркуляционный коридор, поступает в сушильную зону, омыкает трубы калорифера, проходит через слой материала и возвращается в вентиляторы. Циркуляция в сушилке поперечно-винтообразная. Воздух, поступающий в камеру через отверстие 1, движется винтообразно, от одного вентилятора к другому, постепенно приближаясь к сырому концу. Отработавший воздух выбрасывается в атмосферу через трубу 2. Высушиваемый материал перемещается по ленте навстречу воздушному потоку.

Скорость движения воздуха через слой материала не более 1 м/с, а его температура 110...140 °С (при сушке спичечной соломки не более 100 °С во избежание потемнения древесины).

### Контрольные вопросы

1. Каковы особенности сушки измельченной древесины?
2. Как классифицируются сушилки для измельченной древесины?
3. Каково устройство барабанной сушилки «Прогресс»?
4. Каковы особенности устройства и работы сушильной установки «бизон»?
5. Каковы назначение, устройство и принцип работы топочно-сушильного агрегата ЦНИИФ?
6. Как работает комбинированная сушилка ЦНИИФ?
7. Какова особенность работы комбинированной сушилки BBSH?
8. Для чего предназначены ленточные сушилки?

## Глава 15 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ

### § 61. Характеристика методов защиты древесины

Древесина, являясь органическим материалом, может подвергаться разрушениям, если изделия и сооружения из нее эксплуатируются в условиях, неблагоприятных для ее стойкости. Разрушение древесины вызывают:

- грибы, жизнедеятельность которых в древесине приводит к ее гниению и деструкции;
- определенные виды насекомых (жуков, термитов), которые прогрызают в древесине ходы, снижающие прочность изделий и сооружений;
- некоторые виды моллюсков (морские древооточцы), воздействующие на древесину подобно насекомым;
- пожары, наносящие большой ущерб деревянным постройкам, вплоть до их полного уничтожения;
- атмосферные воздействия, связанные с многократными увлажнениями древесины, которые в условиях периодического солнечного облучения вызывают деструкцию ее поверхностных слоев и могут провоцировать поражение грибами;
- механические воздействия систематического характера, приводящие к истиранию древесины (полы), ее смятию (шпалы, переводные бруссы), расщеплению (причалы, железнодорожные и автомобильные платформы) и т. п.

Для продления сроков службы деревянных изделий и сооружений, используемых в народном хозяйстве, необходима защита древесины от влияния перечисленных выше воздействий. От механических и атмосферных воздействий древесина может быть в той или иной мере защищена надлежащим конструированием

изделий, сооружений и построек, а также покрытием их поверхностей защитным слоем (окраска, штукатурка и др.). Для защиты древесины от биологических повреждений (грибами, насекомыми, моллюсками) и от разрушения огнем, имеющей основное экономическое и экологическое значение, применяются различные методы.

**Защита древесины от биоповреждений.** В климатических условиях нашей страны биологические повреждения и разрушения древесины вызывают главным образом дереворазрушающие, древоокрашивающие и плесневые грибы. Древесина различных пород противостоит грибным поражениям в неодинаковой степени. В соответствии с ГОСТ 20022.2—80 основные отечественные породы по стойкости к гниению подразделяются на четыре класса: стойкие, среднестойкие, малостойкие и нестойкие (табл. 15.1).

Таблица 15.1. Классификация древесных пород по стойкости к гниению

Класс	Породы древесины	
	заболоть	ядро (включая ложное ядро)
Стойкие	Сосна обыкновенная, ясень	Сосна сибирская (кедр), лиственница, сосна обыкновенная, дуб, ясень
Среднестойкие	Ель, сосна сибирская (кедр), лиственница, пихта	Ель, пихта, бук
Малостойкие	Береза, бук, вяз, граб, дуб, клен	Вяз, клен
Нестойкие	Липа, ольха, осина	Липа, осина, ольха, береза

Наиболее действенны и практически наиболее важны методы защиты древесины от биоповреждений, основанные на использовании антисептиков — веществ, ядовитых (токсичных) для поражающих древесину организмов. Имеются два таких метода — антисептирование и консервирование.

**Антисептирование**, как отмечалось в § 49, состоит в нанесении тонкого слоя антисептика на поверхность древесины с целью кратковременной ее защиты от поражения грибами в процессе атмосферной сушки. Возможно его применение и при перевозках древесины.

**Консервированием** (см. Введение) называется длительная защита древесины от биоповреждений, обеспечиваемая ее пропиткой антисептиками, т. е. их введением в сортаменты на определенную глубину.

Нужно отметить, что развитие в древесине грибов происходит лишь при определенных температурно-влажностных условиях. Грибы не развиваются при температуре ниже 0...5 °С и выше 45...50 °С. Развитие грибов также прекращается, если влажность древесины становится ниже 18...20 % или выше 120...150 % — в первом случае из-за недостатка в древесине воды, а во втором — воздуха. Поэтому существуют и в ряде случаев применяются методы защиты древесины, основанные на принципах создания и поддержания таких влажностных и температурных состояний, которые исключают возможность жизнедеятельности грибных организмов.

Так, на принципе снижения влажности основана защита древесины путем ее сушки. Сушка — весьма надежный метод длительной защиты древесины, эксплуатируемой в условиях, исключающих ее повторные увлажнения. Принцип повышения влажности используется для сезонной защиты древесного сырья (бревен, кряжей) методами затопления или дождевания при его хранении на складах в летний период. В зимний период сезонная защита сырья обеспечивается понижением его температуры, т. е. замораживанием. На принципе защиты древесины от грибной инфекции путем повышения температуры основано пропаривание лесоматериалов некоторых лиственных пород, наиболее подверженных поражению грибами (береза, бук), обеспечивающее стерилизацию древесины.

**Отвезащита древесины.** Один из недостатков древесины как конструкционного материала — ее сравнительно легкая воспламеняемость и горючесть. Стойкость к горению древесины различных пород неодинакова (табл. 15.2).

Таблица 15.2. Классификация основных древесных пород по огнестойкости (данные МЛТИ)

Класс	Порода	Индекс огнестойкости*
Стойкие	Дуб, лиственница	4,0...4,5
Среднестойкие	Граб, береза, ясень	2,0...3,5
Нестойкие	Сосна, ель, осина, ольха, бук	1,1...1,5

\* Индекс огнестойкости, равный 10, характеризует абсолютно негорючий материал.

Из таблицы следует, что большинство пород, имеющих промышленное значение, являются нестойкими к огневому воздействию. Однако путем защитной обработки стойкость древесины

к возгоранию может быть значительно повышена. Удовлетворительная защита достигается оштукатуриванием поверхностей деревянных сооружений, облицовыванием их листовым металлом с теплоизоляцией, покрытием лаками или красками, содержащими огнезащитные вещества.

Наиболее надежная защита древесины от огня обеспечивается пропиткой ее огнезащитными веществами, называемыми антипиренами.

## § 62. Области применения консервирования и огнезащиты древесины

В настоящее время древесина как строительный материал успешно конкурирует с бетоном и металлом, что объясняется ее доступностью, относительно невысокой ценой, высокими строительными характеристиками, способностью к воспроизводству. В немалой степени этому способствует возможность био- и огнезащиты древесины.

В хозяйстве нашей страны большое количество высококачественных крупномерных лесоматериалов расходуется на шпалы, переводные брусья, детали опор линий электропередачи и связи. Их эксплуатация происходит в тяжелых (с точки зрения возможности биоповреждений) условиях, и они подлежат консервированию в обязательном порядке.

Весьма крупный потребитель древесины — строительная индустрия (жилищное, промышленное, сельскохозяйственное и другие виды строительства). Строительством потребляет более половины заготавливаемой в стране древесины, 10...12% которой должно быть подвергнуто консервированию. Ему подлежат конструктивные элементы, периодически соприкасающиеся с увлажняемыми материалами, или такие, на которых может конденсироваться вода (балки, стропила, обрешетка деревянных кровель, перегородки неотапливаемых помещений). Обязательно также консервирование деревянных частей и деталей открытых сооружений и животноводческих построек, деревянных кровель, деревянных элементов любых сооружений, соприкасающихся с грунтом или подвергающихся воздействию атмосферных осадков. Значительное количество древесины расходуется на возведение мостов, все деревянные элементы которых должны консервироваться. Консервированию, кроме того, подлежат элементы

Таблица 15.3. Классификация условий службы древесины по скорости расконсервирования

Интенсивность вымывания	Источники и особенности увлажнения и вымывания	Объекты защиты	Продолжительность активности вымывающих агентов, мес.	Класс условной службы
Нет	Гигроскопическое увлажнение в замкнутом пространстве или непроницаемом помещении	Деревянная тара под оборудование, материалы и продукты, хранящиеся в неотапливаемых складах, а также транспортируемые (в условиях, исключаящих контакт с водой) железнодорожным или водным транспортом в страны с тропическим климатом.	До 12	I
Слабое	Периодическое промерзание или контакт с периодически увлажняемыми материалами	Деревянные элементы внутренних конструкций построек и сооружений	До 6 Свыше 6	II III
Умеренное I степени	Атмосферные осадки	Деревянные элементы открытых конструкций, кроме загражденных кровель, мостовые брусья и настелы мостов, тара для крупногабаритного оборудования	До 6 Свыше 6	IV V
Умеренное II степени	Почвенная влага и заграждения органического характера	Деревянные детали кузовов, фургонов Деревянные элементы внутренних конструкций построек и сооружений	Свыше 6 До 6 Свыше 6	VI VII VIII
Умеренное III степени		Верхние строения открытых сооружений, кроме загражденных кровель, мостовые брусья и настелы мостов, тара для крупногабаритного оборудования	До 6 Свыше 6	IX X
		Рудничные стойки кратковременной службы Сваи, детали деревянных опор линий связи и электропередачи, заборные и дорожные столбы;	Свыше 6 До 6	XI XII

Интенсивность вымывания	Источники и особенности увлажнения и вымывания	Объекты защиты	Продолжительность активности биоразрушителей, мес.	Класс условий службы
		шпалы, переводные и мостовые брусья; лаги, утопленные в грунт; настилы мостов и лежбищ дорог по грунту; деревянные детали контейнеров, длительно опирающиеся на грунт; детали деревянных сооружений и другие конструкции, контактирующие с грунтом; детали животно-водческих построек, деревянные кровли при условии накопления на них пыли и мусора	Свыше 6	XIII
Сильное	Теплая вода металлургических и других заводов и электростанций	Оросители газифицированных территорий	Свыше 6	XIV
Сильное	Речная и болотная вода в условиях умеренного климата. Речная и болотная вода в условиях тропического климата	Деревянные конструкции береговых сооружений, судов, наплавных средств, рважи мостов, детали деревянных опор линий связи и электропередачи	До 6 Свыше 6	XV XVI
Сильное	Морская вода в условиях умеренного климата. Морская вода в условиях тропического и субтропического климата	Деревянные конструкции береговых сооружений, судов и наплавных средств	До 6 Свыше 6	XVII XVIII

деревянных судов, вагонов, памятники истории и культуры, изготовленные из древесины.

**Интенсивность разрушения** древесины, в том числе и консервированной, зависит от условий ее службы, которые характеризуются **активностью биоразрушений, особенностями увлажнения древесины, скоростью вымывания** из нее защитных веществ (расконсервирования). По ГОСТ 20022.2—80 условия службы консервированной древесины подразделены по интенсивности разрушений и расконсервирования на 18 классов (табл. 15.3).

Из таблицы видно, что класс условий службы возрастает с повышением интенсивности вымывания защитных веществ. При одинаковой интенсивности вымывания на класс условий службы влияет годовая продолжительность активного биологического разрушения древесины, определяемая климатом географического района, где она используется.

Область применения огнезащиты древесины — в основном строительство. Строительными нормами регламентируются основные противопожарные мероприятия, обязательные при возведении зданий и сооружений различного назначения, в том числе требования к огнезащитной обработке деревянных деталей и узлов. Наиболее высокие требования предъявляются к противопожарной защите древесины в зданиях зрелищных предприятий, больниц, яслей, детских садов, школ.

Огнезащите путем пропитки антипиренами необходимо подвергать деревянные стропила, обрешетку кровель, элементы штукатуренных деревянных перегородок, стен, перекрытий, лестниц и лестничных клеток, а для многоэтажных деревянных зданий — дополнительно детали полов верхних этажей, карнизов и балконов. Подлежат пропитке антипиренами, кроме того, все деревянные детали и узлы зданий складов горючего, судов, музеев, картинных галерей, архивов. В большинстве случаев древесина, подвергаемая огнезащите, должна быть одновременно защищена и от биоразрушителей.

### § 63. Средства химической защиты древесины от биоразрушений и возгорания

Средства химической защиты древесины от биологических разрушений и возгорания, т. е. антисептики и антипирены, — это вещества или их смеси, повышающие стойкость древесины

к дереворазрушающим грибам и насекомым и снижающие ее горючесть, а также способность к тлению.

Химические средства, предназначенные для защиты древесины от поражения биологическими агентами разрушения (грибами, жуками, термитами, моллюсками), должны обладать специфической для них токсичностью, а для защиты древесины от огня — способностью снижать ее возгораемость и уменьшать тление. Наряду с этим они должны: быть безвредными (при соблюдении доступных мер предосторожности) для людей и животных; иметь невысокую (сопоставимую с древесиной) цену и быть недефицитными; легко проникать в древесину и трудно вымываться из нее; обладать химической инертностью и слабой летучестью; не повышать гигроскопичность и не снижать прочность древесины; не ухудшать ее способность склеиваться, окрашиваться и полироваться; не способствовать коррозии металлов. Средства химической защиты, которые удовлетворили бы всем перечисленным требованиям, отсутствуют. В каждом конкретном случае выбор того или иного средства определяется назначением изделий или сооружений из древесины и условиями их службы.

Защищающее действие тех или иных веществ определяется их способностью противодействовать разрушению древесины грибами, насекомыми или огнем, их вымываемостью из древесины и количеством (массой) веществ, введенных в единицу объема древесины, которое называется поглощением. Отметим, что различают чистое поглощение, рассчитываемое на объем пропитанной зоны сортиментов, и общее поглощение, рассчитываемое на полный объем сортиментов, подвергнутых пропитке.

Химические защитные вещества можно подразделить на следующие группы по трем основным признакам:

- по растворимости — на водорастворимые, растворимые в органических растворителях (органикорастворимые) и антисептические масла;
- по направленности действия — на антисептики, антипирены и биоогнезащитные вещества, обладающие как антисептическими, так и антипиренными свойствами;
- по вымываемости — на легковымываемые, вымываемые, трудновымываемые и невымываемые.

**Водорастворимые защитные средства.** Эта группа защитных пропитывающих веществ наиболее многочисленна. К ним относятся однородные вещества и их смеси (препараты), вводимые в древесину в виде водных растворов или наносимые на поверхность лесоматериалов (при диффузионной пропитке) в виде паст.

По направленности действия они могут быть и антисептиками, антипиренами и биоогнезащитными веществами.

**Антисептики** по своему составу подразделяются на следующие группы, содержащие фтор, хром, бор и фенол.

**Фторсодержащие антисептики** высокотоксичны; их растворы хорошо проникают в древесину, не снижают ее прочности, способности к склеиванию и окрашиванию, не изменяют ее цвета, не имеют запаха. Они, однако, легко вымываются из древесины и вызывают коррозию черных металлов. Наиболее часто применяют кремнефторид аммония (сокращенное обозначение КФА) и фторид натрия (ФН).

Кремнефторид аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$  — порошок белого цвета, хорошо растворим в воде (при  $t = 20^\circ\text{C}$  до 19%), сильно корродирует черные металлы. Фторид натрия  $\text{NaF}$  имеет значительно меньшую растворимость в воде (при  $t = 20^\circ\text{C}$  до 3,5%), металлы корродирует слабее.

**Хромсодержащие антисептики** относятся к невымываемым или трудновымываемым защитным средствам. Они представляют собой смеси различных водорастворимых компонентов. При введении растворов в древесину эти компоненты в результате химических реакций между собой и с древесинным веществом образуют новые вещества, нерастворимые в воде, но сохраняющие токсичность. В эту группу входят следующие основные препараты: хромомедный (сокращенное обозначение ХМ), хромо-медно-фтористые (ХМФ и ХМК), хромо-медно-хлороцинковый (ХМХЦ). Их рецептуры приведены в табл. 15.4.

Таблица 15.4. Рецептура хромсодержащих препаратов

Марка защитного средства, ГОСТ	Компоненты и их массовое содержание, %				
	бромат натрия или бромат калия	сульфат меди	фторид натрия	кремнефторид натрия	бифторид аммония
ХМ-11 по ГОСТ 23787.8—80	50	50	—	—	
ХМК по ГОСТ 23787.1—84	40...46	40...46	—	8...20	
ХМФ по ГОСТ 23787.9—84	40...50	30...40	20...30	—	
ХМФ-БФ по ГОСТ 28815—96	20	10	—	—	10

Хромомедный препарат ХМ — невымываемый антисептик. Растворимость в воде — около 18 %. После введения препарата в древесину хром из шестивалентного состояния переходит в трехвалентное и образует кислый хромат меди, который не вымывается. Препарат весьма эффективен против насекомых (в том числе термитов) и древоточцев, высокотоксичен для большинства грибов (кроме домовых). Безвреден для людей и животных при соблюдении элементарных требований безопасности. Слабо корродирует металлы. Окрашивает древесину в зеленоватый цвет. При чистом поглощении более 20 кг/м<sup>3</sup> несколько снижает прочность древесины.

Хромомеднофтористые препараты ХМФ и ХМК содержат дополнительно фторсодержащие компоненты, повышающие токсичность препаратов по отношению к домовым грибам. В древесине наряду с хроматом меди образуют фторид хрома, высокотоксичный против этих грибов. Препараты трудновываемые.

Хромомедно-хлороцинковый препарат (ХМХЦ) содержит хлорид цинка, который, взаимодействуя в древесине с бихроматом калия или натрия, образует хромат цинка, обладающий пониженной растворимостью в воде, но сохраняющий токсичные свойства. Препарат трудновываемый. По сравнению с ХМ-11 обеспечивает более высокую степень защищенности древесины, однако вызывает коррозию черных металлов и снижает прочность древесины при чистом поглощении более 20 кг/м<sup>3</sup>.

Все хромсодержащие антисептические препараты не рекомендуется в процессе пропитки нагревать до температуры выше 60 °С во избежание преждевременного выпадения нерастворимых осадков.

Борсодержащие препараты достаточно эффективны по отношению к большинству древоразрушающих грибов и насекомых, повышают ее огнестойкость, хорошо проникают в древесину, более безопасны для теплокровных. Основным недостатком — они легко вымываются из древесины. Это ограничивает область их применения (не выше класса V условий службы).

Фенолсодержащие препараты отличаются высокой токсичностью. В древесине переходят в водонерастворимые соединения. Запрещены для применения из-за их повышенной токсичности для людей.

Антипирены представляют собой чаще всего препараты на основе фосфорнокислых и сернокислых солей аммония. Основные

компоненты этих препаратов — сульфат аммония и двузамещенный фосфат аммония.

Сульфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  — мелкокристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде. Этот антипирен эффективен против возгорания, но слабо понижает тление древесины и способствует коррозии металлов. Двузамещенный фосфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  — мелкокристаллическая соль белого цвета, хорошо растворимая в воде. По сравнению с сульфатом аммония несколько меньше предохраняет древесину от возгорания, но в большей степени препятствует ее тлению. Кроме того, он замедляет коррозию металлов. Учитывая достоинства и недостатки этих веществ, на практике для огнезащиты древесины применяют их смеси. Наиболее прост по составу препарат СД, содержащий 50 % сульфата аммония и 50 % двузамещенного фосфата аммония.

**Бю- и огнезащитные препараты**, т. е. препараты комбинированного действия, содержат в качестве компонентов как антисептики, так и антипирены.

Препарат ББ содержит тетраборат натрия и борную кислоту. Он не имеет цвета и запаха, легко проникает в древесину. Растворимость в воде — до 24 % (при  $t = 20$  °С). Пропитанная древесина хорошо склеивается и окрашивается. Препарат, однако, легко вымывается из нее.

Препарат ХМББ содержит в качестве антисептической основы антисептик ХМ. Его рецептура позволяет изменять содержание компонентов в зависимости от требуемой направленности действия. Например, для повышения огнезащитного действия следует увеличивать содержание в нем тетрабората натрия и борной кислоты.

Препарат ХМББ относится к трудновываемым. Это объясняется тем, что соединения хрома и меди образуют в древесине невымываемые хромат меди, а соединения бора, оставаясь водорастворимыми, проникают в древесину на большую глубину, откуда их вымывание затруднено.

**Органикорастворимые защитные средства.** К этой группе пропитывающих веществ относятся антисептические препараты на основе нафтената меди (НМ) и металлоорганических соединений.

Нафтенат меди обладает высокой токсичностью ко всем биоразрушителям древесины. Хорошо растворим в маслах и многих органических растворителях. В воде практически не растворяется. Химически инертен, поэтому устойчив в древесине. При

пропитке используется в виде растворов в нефтепродуктах и других органических жидкостях (уайт-спирите, керосине, дизельном топливе, нефтяном растворителе) концентрацией 3...9 %.

Растворы нафтената меди одновременно с консервированием гидрофобизируют древесину и окрашивают ее в зеленый цвет.

Растворы ИМ подразделяются на легкопроникающие (Л), растворителями в которых являются легколетучие органические вещества, и маслянистые (М) с органическими растворителями маслянистого типа. Последние имеют преимущественное применение.

Весьма перспективны препараты на основе металлоорганических соединений. Они менее токсичны для теплокровных, но имеют более сильное воздействие на биоразрушителей, чем неорганические соединения этих же металлов. Наибольшее применение находят оловоорганические соединения. Они не вызывают коррозию металлов, отличаются стабильностью, не накапливаются в организмах и окружающей среде. Пока широкого распространения в промышленности не получили.

**Антисептические масла.** В качестве консервирующих веществ в промышленности используют некоторые органические масла, обладающие сами по себе высокой токсичностью по отношению к биоразрушителям. К ним относятся каменноугольное пропиточное масло (КМ), антраценовое пропиточное масло (АМ) и сланцевые пропиточные масла (СМ).

Каменноугольное (ГОСТ 2770—74) и антраценовое пропиточное масло (ЧМТУ 4917—54) — продукты переработки каменноугольной смолы, полученной при обычном ( $t = 800...1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) коксовании каменного угля. Они высокотоксичны для всех биологических разрушителей древесины. Сланцевые пропиточные масла (ГОСТ 10835—78) представляют собой смеси фракций сланцевых смол — продуктов переработки горючих сланцев. По токсичности они несколько уступают каменноугольному и антраценовому маслам.

Пропиточные масла негигроскопичны, не снижают механической прочности древесины, не способствуют коррозии металлов, не вымываются из древесины. В то же время они окрашивают древесину в темно-бурый цвет и затрудняют ее последующую окраску. Они несколько повышают горючесть древесины. Обладают резким запахом. Однако вследствие высоких защитных свойств они широко используются для консервирования древесины в сооружениях, эксплуатирующихся на открытом воздухе.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные причины разрушения древесины.
2. Как подразделяются древесные породы по стойкости к гниению?
3. Чем отличается антисептирование от консервирования?
4. Каким образом обеспечивается защита древесины от огня?
5. Какова область применения консервированной древесины?
6. От чего зависит интенсивность разрушения древесины?
7. Проведите анализ классификации условий службы древесины.
8. Какие требования предъявляются к средствам химической защиты?
9. Опишите свойства водорастворимых антисептиков, антипиренов, огне-, био-огнезащитных препаратов.
10. Какова особенность органикорастворимых защитных средств?
11. Перечислите свойства антисептических масел.

## Глава 16

### ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ

#### § 64. Физические явления в процессах пропитки. Подготовка древесины к пропитке

Под пропиткой понимают процессы введения в древесину веществ, которые изменяют ее свойства. Эти вещества чрезвычайно разнообразны по своим свойствам и характеру их взаимодействия с древесиной. В большинстве случаев пропитывающие вещества не вступают в химическую реакцию с древесиной, не абсорбируются ею. Поэтому процессы пропитки древесины можно рассматривать как совокупность следующих физических явлений:

- движение жидкости в древесине под действием капиллярного давления;
- движение жидкости под действием избыточного давления;
- диффузии молекул или ионов пропитывающих веществ в воде, заполняющей полости клеток.

**Движение жидкости под действием капиллярных сил.** Из курса физики известно, что на границе соприкосновения жидкости с твердым телом ее поверхность образует (рис. 16.1, *a*) угол  $\theta$ , называемый углом смачивания. Этот угол острый — у смачивающих и тупой — у не смачивающих данное тело жидкостей.

При контакте капилляра достаточно малого диаметра с жидкостью образуется мениск (рис. 16.1, *б*). Появившееся капиллярное давление мениска для не смачивающих жидкостей вызывает снижение их уровня в капилляре, а для смачивающих — повышение этого уровня. Пропитывающие жидкости по отношению к древесине являются, как правило, смачивающими.

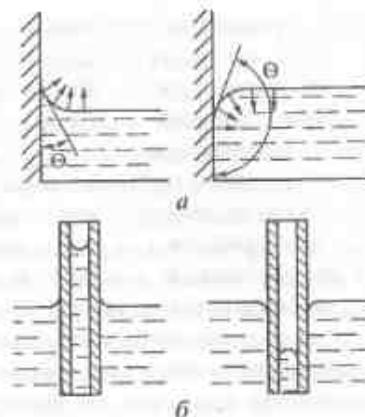


Рис. 16.1. Схема образования менисков в капиллярах:  
*a* — образование угла смачивания  $\theta$ ; *б* — уровни смачивающей и не смачивающей жидкости в капилляре

Если на поверхность древесины, имеющей влажность  $W \leq W_{\text{мн}}$ , нанести смачивающую жидкость или туда погрузить ее, то под действием капиллярного давления такая жидкость будет впитываться древесиной.

Расчеты показывают, что глубина пропитки полностью погруженного сортимента не превышает 2...5 % его толщины. Дальнейшее проникновение жидкости в древесину возможно только по мере растворения воздуха в воде и диффузии его молекул через капиллярные каналы в окружающую среду. Этот процесс, однако, чрезвычайно медленен и, как показывает практика, может длиться годами.

В сырых сортиментах, погруженных в жидкость одним торцом и установленных вертикально, или сортиментах, имеющих горизонтальное положение, жидкость будет перемещаться только по мере ее испарения с открытой поверхности или торца. При этом не исключено, что интенсивность испарения будет больше интенсивности капиллярного подсоса. Тогда значительная часть сортиментов, примыкающая к открытой поверхности, будет высыхать несмотря на то, что сортимент остается в контакте с пропитывающей жидкостью. В сырой же древесине, полностью погруженной в жидкость, возможность капиллярного движения вообще исключена.

Из изложенного можно сделать вывод, что использование чисто капиллярного движения жидкости в древесине без применения внешнего давления практически применимо для пропит-

ки только сухих или подсушенных сортиментов на очень небольшую глубину либо путем их полного погружения в жидкости, либо нанесением ее на поверхность. Жидкости целесообразно использовать маловязкие, хорошо смачивающие древесину, и подогретые, поскольку с повышением температуры снижается их вязкость и повышается скорость проникновения в древесину.

Возможно также использование капиллярного движения жидкости в древесине для пропитки ее на корню. В стволе растущего дерева подрубают заболонь и к месту подруба подают водный раствор пропитывающего вещества. За счет испарительной способности кроны и ее капиллярного натяжения (которое значительно больше капиллярного давления в полостях клеток) древесный сок поднимается по стволу и испаряется, а его место в стволе занимает пропитывающий раствор. Такая пропитка, однако, из-за сложности ее организации и неравномерности по объему практического распространения не получила.

**Движение жидкости под действием избыточного давления.** Создание при пропитке избыточного давления (по отношению к давлению внутри древесины) возможно разными методами. В практике применяют метод выдержки предварительно нагретой древесины в холодной ванне и автоклавный метод, имеющий основное промышленное значение.

Пропитка в ваннах с предварительным нагревом древесины отличается простотой технологических приемов. Древесину первоначально выдерживают некоторое время в горячей жидкости или нагревают другим способом, а затем помещают в ванну с холодной жидкостью, где и происходит собственно пропитка.

При нагревании возрастает давление паровоздушной смеси в полостях клеток отчасти за счет температурного расширения, а главным образом — за счет роста парциального давления пара. Древесина проницаема для газов. Поэтому паровоздушная смесь из нее частично удаляется, и давление устанавливается близким к атмосферному, причем основную долю его составляет парциальное давление водяного пара.

При последующем охлаждении древесины, полностью погруженной в жидкость, давление в полостях клеток снижается как в результате собственно температурного эффекта, так и, в основном, за счет конденсации водяного пара (поскольку давление насыщения водяного пара резко уменьшается с понижением температуры).

Давление жидкости в ванне становится избыточным по отношению к давлению в древесине. Под действием образовавше-

гося перепада давления и происходит поглощение древесной пропитывающей жидкости.

Перепад давления зависит от влажности древесины, разности ее температуры в нагретом и охлажденном состоянии и, в значительной степени, от уровня температуры нагретой древесины. Но этот перепад не может быть выше барометрического давления.

Автоклавный метод создания избыточного давления обеспечивает более значительный перепад давления (до 1,5 МПа). Древесину загружают в герметичный автоклав, автоклав заполняют пропитывающей жидкостью и ее давление поднимают до требуемого уровня с помощью жидкостного насоса или компрессора.

Плотность потока жидкости в древесине под действием избыточного давления пропорциональна градиенту давления. Она зависит от влажности и от того, как древесина проводит жидкости. По этому признаку древесные породы подразделяют на три группы (табл. 16.1).

Таблица 16.1. Классификация древесных пород по пропитываемости (ГОСТ 20022.2)

Группа	Порода древесины	
	заболонь	ядро (спелая древесина)
1 — легкопропитываемые	Сосна обыкновенная, береза, бук	—
2 — умереннопропитываемые	Сосна кедровая, лиственница европейская, граб, дуб, клен, ольха, осина	Сосна кедровая, сосна обыкновенная, осина, ольха
3 — труднопропитываемые	Ель, лиственница сибирская, пихта	Ель, лиственница европейская и сибирская, пихта, береза, дуб, вяз, бук, ясень

Влажность древесины не должна превышать 40...50 %.

Сырая древесина и древесина труднопропитываемых пород требует перед пропиткой проведения дополнительных операций.

**Диффузия пропитывающих веществ.** Если сырая древесина погружена в водный раствор соли или покрыта пастой, замешанной на растворе, молекулы или ионы соли диффундируют из раствора в волю, заполняющую полости клеток. Происходит так называемая диффузионная пропитка. Такой способ, очевидно, не применим для сухой древесины.

Плотность потока диффундирующих молекул или ионов пропорциональна разности концентраций раствора, окружающего

древесину, и раствора, находящегося в полостях клеток древесины. Эта плотность зависит, кроме того, от влажности и температуры древесины, направления потока относительно волокон, вязкости растворителя, размера диффундирующих молекул или ионов.

В зависимости от того, какое из трех физических явлений процесса, рассмотренных выше, является определяющим, принята классификация, по которой все способы пропитки подразделяются на три группы — способы капиллярной пропитки, способы диффузионной пропитки и способы пропитки под давлением.

К способам капиллярной пропитки относятся: пропитка нанесением раствора на поверхность древесины, пропитка погружением в ванны и панельная пропитка. Основные способы диффузионной пропитки — нанесение паст, бандажная пропитка и пропитка вымачиванием в растворе. Промышленные способы пропитки под давлением можно подразделить на две группы: способы пропитки в открытых ваннах с предварительным нагревом древесины и способы пропитки в герметичных резервуарах (автоклавах) с созданием в них переменного давления, которые объединяются общим названием «автоклавная пропитка».

**Подготовка древесины к пропитке.** Во всех случаях древесина должна быть надлежащим образом подготовлена к пропитке. К подготовительным операциям относятся окорка, сушка, механическая обработка и накальвание. Некоторые из этих операций необходимы во всех случаях, другие проводят лишь при определенных способах пропитки или при использовании древесины определенных пород.

**Окорка древесины** необходима при всех способах пропитки. Поверхность окоренных сортиментов должна быть гладкой, полностью очищенной от коры и луба. Место окорки в технологическом процессе зависит от способа пропитки. Перед капиллярной пропиткой и пропиткой под давлением древесину следует окоривать заблаговременно и как можно раньше, чтобы использовать время от окорки до пропитки для ее сушки. Древесину, пропитываемую диффузионными способами следует окоривать непосредственно перед пропиткой, не допуская ее подсушки.

**Сушка древесины** производится перед капиллярной пропиткой и пропиткой под давлением. При пропитке маслами или органикорастворимыми антисептиками влажность древесины не должна превышать 25 %, а при пропитке водными растворами — 30 %. Однако во всех случаях следует стремиться пропитывать древесину, имеющую эксплуатационную влажность. Если древесина имеет высокую влажность, то в процессе эксплуатации воз-

можно ее растрескивание, происходящее в результате сушки, образование непропитанных участков и, как следствие этого, появление гнили во внутренних зонах сортиментов.

При подготовке древесины к пропитке используют камерную сушку, атмосферную сушку и, в отдельных случаях, сушку в жидкостях. Для пиломатериалов, подлежащих пропитке, применяют преимущественно камерную сушку. Предпропиточную сушку круглых материалов и шпал осуществляют атмосферным способом. Известны лишь единичные попытки использования для них других способов воздушной сушки.

Нужно отметить, что организация предпропиточной сушки сортиментов крупных сечений (шпал, столбов, свай и т. п.), надежное консервирование которых имеет большое экономическое значение, — проблема, которая до настоящего времени окончательно еще не решена. Атмосферная сушка таких сортиментов весьма длительна (в большинстве районов нашей страны — не менее одного активного сезона) и требует хранения на складах как минимум годового их запаса, что далеко не всегда возможно. Применение же в широком объеме камерной сушки или сушки в жидкостях пока нереально из-за отсутствия необходимого оборудования. Поэтому в настоящее время получают распространение специальные способы пропитки, технология и оборудование, для осуществления которых предусматривают совмещенное проведение как собственно пропитки, так и предпропиточной сушки. Подробнее об этом будет сказано ниже.

**Механическая обработка**, предназначенная для придания сортиментам заданных размеров и формы (распиловка, фрезерование, сверловка отверстий под болты и костыли, выемка гнезд и др.), должна предшествовать пропитке. Это повышает срок службы пропитанной древесины, снижает расходы защитного средства на пропитку, исключает затраты, связанные с соблюдением безопасности жизнедеятельности при механической обработке пропитанной древесины. Если по каким-либо причинам некоторые операции механической обработки приходится выполнять после пропитки, обнаженные участки непропитанной древесины следует обработать путем двух-трехкратного нанесения на них защитного средства.

**Накальванию** подлежат лесоматериалы из труднопропитываемой древесины (ель, пихта, ядровые сортименты других пород) для обеспечения равномерного введения в них пропитывающей жидкости на заданную глубину. Для накальвания используют станки, инструментами которых служат специальные ножи.

Ножи вводятся в древесину на определенную глубину, при этом древесные клетки раздвигаются и частично перерезаются. В результате этого пропиточная жидкость проникает на глубину наколов и распространяется внутри сортимента за счет перемещения вдоль волокон. Глубина наколов составляет 10—20 мм, в зависимости от требуемой глубины пропитки, а их расположение по поверхности должно обеспечивать равномерную пропитку.

## § 65. Характеристика способов пропитки

Рассмотрим кратко особенности пропитки древесины способами, перечисленными в предыдущем параграфе.

**Способы капиллярной пропитки.** Пропитка нанесением раствора на поверхность сортиментов и деталей применяется в строительстве и при ремонтных работах. Различают три варианта: нанесение раствора кистью, окунание в раствор и опрыскивание. Древесина должна быть при этом сухой или подсушенной ( $W < W_{\text{min}}$ ). Проникновение в нее жидкости, нанесенной на поверхность, происходит только за счет капиллярных сил. Глубина пропитки — 1...2 мм для здоровой и до 5 мм для старой, разрыхленной древесины. Эффективность пропитки возрастает при двух-трехкратном нанесении раствора с интервалами, достаточными для впитывания жидкости (без подсушки поверхности).

**Пропитке погружением в ванны** с кратковременной выдержкой в них сортиментов подвергают также предварительно подсушенную древесину. Проникновение в нее жидкости происходит под действием капиллярных сил и отчасти незначительного гидростатического давления. Глубина пропитки зависит от вязкости жидкости, проницаемости древесины и срока выдержки. Она лишь немногим больше, чем при предшествующем способе. Для повышения интенсивности пропитки целесообразно применять подогретые жидкости.

**Панельная пропитка** используется для защитной обработки уникальных деревянных построек без их разборки. К вертикальной или наклонной поверхности обрабатываемого объекта прикрепляют пропиточную панель. Она состоит из плотно примыкающего к древесине внутреннего слоя (листов мягкого пористого материала, например, фильтровальной бумаги) и наружного водонепроницаемого слоя. Верхний конец внутреннего слоя опускают в раствор пропитывающего вещества, который нахо-

дится в резервуаре над панелью. Раствор движется сверху вниз по панели и смачивает древесину. Пропитка происходит в основном под действием капиллярных сил. В отдельных случаях (когда древесина сырая) может иметь место и явление диффузии. Иногда для сбора избыточного раствора, стекающего с панели, под ней дополнительно устанавливают резервуар-сборник. В качестве примера на рис. 16.2 приведена схема панельной пропитки бревенчатой стены и дощатой кровли.

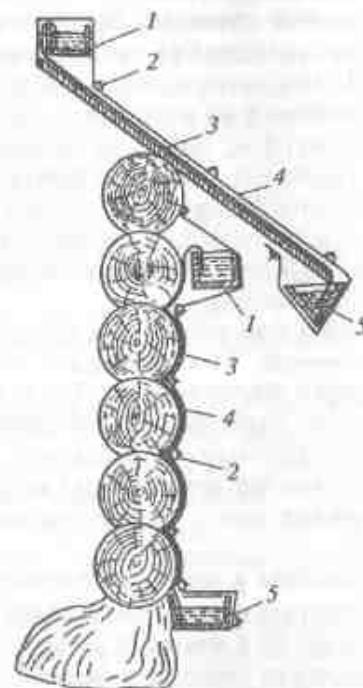


Рис. 16.2. Схема панельной пропитки бревенчатой стены и дощатой кровли: 1 — резервуар с раствором; 2 — элементы крепления панели; 3 — внутренний слой панели; 4 — наружный слой панели; 5 — резервуар-сборник

Продолжительность панельной пропитки зависит от требуемой ее глубины, состояния древесины (плотная, рыхлая), свойств пропитывающей жидкости и температуры окружающей среды. В среднем она происходит от 15 до 30 суток.

Панель имеет обычно ограниченные размеры, поскольку отдельные участки пропитываемого объекта содержат древесину различного состояния. Поэтому на обрабатываемом объекте ус-

танавливают совокупность панелей, что позволяет пропитывать разные участки на различную глубину и обеспечивать единый безремонтный срок службы объекта в целом.

Весьма эффективен вариант панельной пропитки (А. И. Равев, С. Я. Шинаев), предусматривающий непрерывное орошение пропитываемой жидкостью поверхности объекта с помощью системы перфорированных трубок. Такой же эффект, как и в основном варианте, обеспечивается здесь при меньших затратах и сокращении длительности процесса.

**Способы диффузионной пропитки.** *Пропитка нанесением паст* применяется для консервирования небольших партий столбов (деталей опор линий электропередачи и связи). Сырые окоренные сортименты обмазывают со всех сторон пастой, содержащей водорастворимый антисептик. Затем их укладывают в плотные пакеты, тщательно укрывают гидроизоляционными чехлами из толя, рубероида или полиэтиленовой пленки и выдерживают (в теплое время года) в течение 2...3 месяцев. Затем пакеты раскрывают, столбы подсушивают на открытой площадке (5...7 суток) и отправляют потребителю.

*Бандажную пропитку* применяют для консервирования столбов различного назначения. Ее особенность состоит в том, что она происходит во время эксплуатации. При установке столбов в грунт их часть, наиболее подверженную загниванию (в зоне границы земля — воздух), обертывают бандажом, т. е. лентой гидроизоляционного материала, на внутреннюю поверхность которой нанесена антисептическая паста. Бандаж крепят к столбу проволокой или гвоздями.

*Пропитка вымачиванием в растворе* отличается от капиллярной пропитки погружением начальной влажностью древесины и длительностью ее выдержки в ванне. В ванну с концентрированным раствором антисептика загружают не подсушенные, а сырые сортименты, проникновение в которые защитного средства происходит путем диффузии. Длительность выдержки определяется в зависимости от требуемого уровня защищенности, в соответствии с классом условий службы и колеблется от 2...3 ч до нескольких недель. При длительной выдержке обеспечивается проникновение молекул пропитывающего вещества на большую глубину. Производительность ванн при этом способе пропитки очень невелика, но зато обеспечивается надежная защита древесины труднопропитываемых пород.

**Способы пропитки под давлением.** *Пропитка в ваннах с предварительным нагревом*, принцип работы которой рассмотрен в

§ 64, имеет несколько технологических вариантов. Наиболее распространен вариант с использованием двух (горячей и холодной) ванн. Пакет пропитываемых сортиментов нагревают в ванне с горячей пропитываемой жидкостью, после чего перегружают в ванну с холодной жидкостью, при выдержке в которой и происходит собственно пропитка.

Реже применяют вариант с использованием одной (горяче-холодной) ванны. После прогрева загруженного в ванну пакета горячую жидкость в ней быстро заменяют холодной путем перекачки насосами. Качество пропитки здесь несколько выше, чем в первом варианте, что объясняется отсутствием контакта нагретой древесины с воздухом во время перегрузки, при которой в открытые полости клеток попадают воздушные включения, замедляющие движение жидкости в древесине.

Представляет определенный интерес вариант с совмещением нагревания и камерной сушки. Штабель пиломатериалов или заготовок сразу после сушки в камере до требуемой для пропитки влажности (25...30 %) помещают в ванну с холодным пропитывающим раствором. После выдержки в ванне штабель вновь загружают в камеру и сушат до конечной (эксплуатационной) влажности.

Существуют и другие варианты рассматриваемого способа пропитки: нагревание и медленное охлаждение древесины в одной ванне без перекачки жидкости; пропитка в холодной ванне с предварительным диэлектрическим нагреванием древесины или нагреванием ее насыщенным паром в пропарочной камере. Эти варианты, однако, промышленного распространения не получили.

Пропитку древесины в ваннах с предварительным нагревом производят преимущественно водорастворимыми веществами. Температуру горячей ванны поддерживают на уровне 90...95 °С, а холодной — 20...30 °С. Продолжительность нагревания зависит от размеров сортиментов и может быть установлена расчетами по уравнениям § 19. Продолжительность выдержки в холодной ванне для сортиментов различной толщины составляет 1,5...4 ч.

Все рассмотренные выше способы по ряду причин имеют ограниченное промышленное применение. Диффузионная пропитка чрезвычайно длительна и требует больших затрат ручного труда. Кроме того, она возможна при использовании только неорганических водорастворимых пропитывающих веществ. Капиллярные способы эффективны только для тех случаев, когда требуется лишь поверхностная пропитка. Способ горячих и холодных

вани применялся в прошлом довольно широко. Однако из-за малого избыточного давления он не обеспечивает достаточно глубокой, а тем более сквозной пропитки, что требуется в ряде случаев для консервирования и других технологических целей.

Поэтому для надежной защиты древесины от биологических разрушителей и огня преимущественное применение имеют автоклавные способы пропитки, обеспечивающие глубокое проникновение в древесину пропитывающих веществ при малой продолжительности процесса и относительно невысоких затратах труда и энергии.

### § 66. Технологические схемы автоклавной пропитки

Имеется ряд технологических схем (или способов) автоклавной пропитки, различающихся последовательностью операций воздействия на древесину повышенного и пониженного давления пропитывающей жидкости и воздуха. Изменяя эту последовательность, уровень давления и температуры, а также длительность операций, можно управлять результатами пропитки в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями. В промышленности в настоящее время применяют способы:

- «вакуум—давление—вакуум» (сокращенно ВДВ);
- «давление—давление—вакуум» (ДДВ);
- многоциклические;
- «вакуум—атмосферное давление—вакуум» (ВАДВ);
- автоклавно-диффузионную пропитку;
- совмещенную сушку-пропитку.

**Пропитка способом ВДВ.** График пропитки этим способом, называемым также способом полного поглощения, приведен на рис. 16.3, а. После загрузки автоклава древесиной последовательно выполняются следующие операции: 1 — создание воздушного вакуума; 2 — выдержка древесины в вакууме; 3 — заполнение автоклава жидкостью; 4 — создание жидкостного давления; 5 — выдержка древесины в жидкости под давлением; 6 — сброс давления до атмосферного; 7 — слив жидкости из автоклава; 8 — создание воздушного вакуума; 9 — выдержка в вакууме; 10 — сброс вакуума и разгрузка автоклава.

Собственно пропитка происходит во время выдержки древесины под давлением. Начальный вакуум способствует повыше-

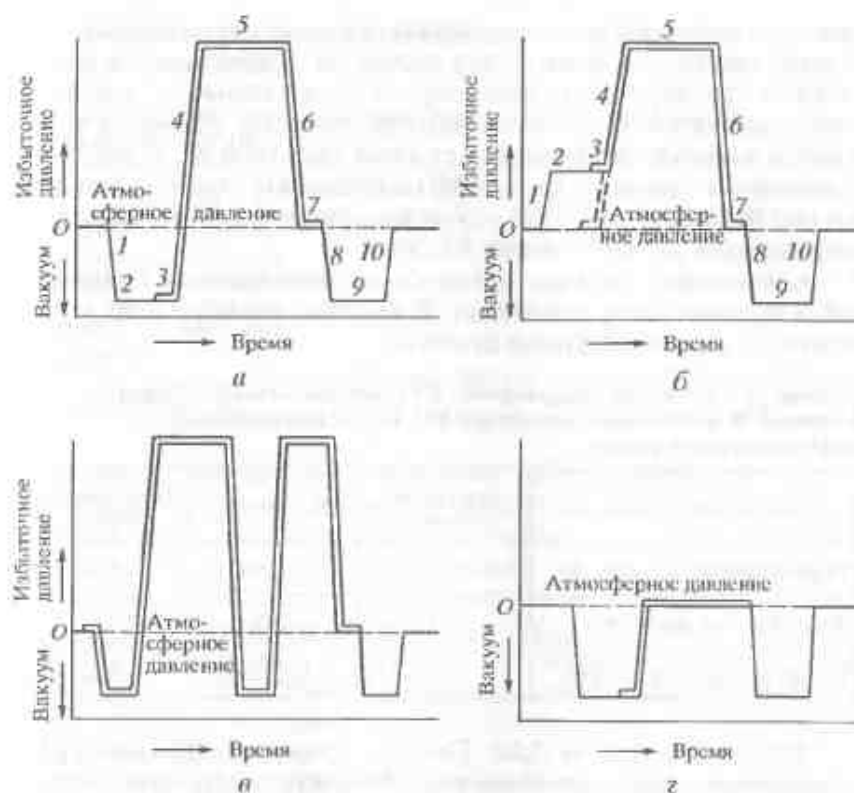


Рис. 16.3. Графики автоклавной пропитки: а — способ полного поглощения (ВДВ); б — способ ограниченного поглощения (ДДВ); в — многоциклический способ МЛТИ; г — вакуумный способ (ВАДВ)

нию глубины пропитки и увеличению поглощения древесиной жидкости, так как из полостей клеток удалится воздух, препятствующий ее движению. Повторный вакуум предназначен для подсушки поверхности сортиментов.

Способ ВДВ применяют преимущественно для пропитки древесины водорастворимыми веществами. Для пропитки маслами этот способ используется в тех случаях, когда требуется высокое поглощение пропитывающих веществ. Он является также основным при пропитке антипиренами, которые необходимо вводить в древесину в большом количестве (общее поглощение 50...80 кг сухого вещества на 1 м<sup>3</sup> древесины).

Результаты пропитки (ее глубина и поглощение) определяются свойствами пропитываемой древесины, а также режимом про-

цесса. Режим регламентирует продолжительность основных операций, давление и температуру жидкости. В зависимости от породы и размеров сортиментов, их назначения и характера пропитывающей жидкости параметры режимов пропитки изменяются в следующих пределах: глубина вакуума 0,08...0,085 МПа; жидкостное давление 0,6...1,5 МПа; продолжительность выдержки под вакуумом 0,25...0,35 ч, под давлением 0,5...8 ч; температура растворов 20...60 °С, масел 85...95 °С.

Конкретные режимы пропитки устанавливаются стандартами и техническими условиями. В качестве примера в табл. 16.2 приведен один из режимов пропитки.

Таблица 16.2. Режим пропитки способом ВДВ сосновых деталей граблей толщиной 30 мм раствором антисептика ХМ-11 (ТУ Волгоградского машиностроительного завода)

Технологическая операция	Температура раствора, °С	Давление, МПа	Продолжительность, ч
Первая выдержка в вакууме		0,015—0,02	0,25
Выдержка под давлением	20	1,0	1,0
Вторая выдержка в вакууме		0,015—0,02	0,25

**Пропитка способом ДДВ.** Процесс пропитки способом ДДВ, называемым также способом ограниченного поглощения, состоит (рис. 16.3, б) из следующих операций: 1 — загрузки автоклава и создания в нем воздушного давления; 2 — выдержки древесины под давлением; 3 — заполнения автоклава жидкостью; 4 — подъема жидкостного давления; 5 — выдержки в жидкости под давлением; 6 — сброса давления; 7 — слива жидкости; 8 — создания вакуума; 9 — выдержки под вакуумом; 10 — сброса вакуума и разгрузки автоклава.

Особенность этого процесса — выдержка древесины под избыточным воздушным давлением до заполнения автоклава жидкостью, при которой в полости клеток вводится добавочный воздух. В конце процесса, во время выдержки под вакуумом, сжатый в древесине воздух выходит наружу, выталкивая часть поглощенной жидкости. Способ ДДВ применяют при использовании высокоокислительных антисептиков (масел, растворов нафтната меди), когда нет необходимости оставлять в древесине излишнее их количество. Преимущество этого способа по сравнению с предшествующим состоит в сокращении расхода пропитывающих ве-

ществ. Один из режимов пропитки способом ДДВ приведен в качестве примера в табл. 16.3.

Таблица 16.3. Режим пропитки сосновых шпал камешютольным маслом способом ДДВ (ТУ МПС)

Операция	Температура масла, °С	Давление, МПа	Продолжительность, ч
Выдержка под воздушным давлением		0,2...0,4	0,25
Выдержка под жидкостным давлением	90—95	0,8	0,5
Выдержка в вакууме		0,015...0,02	0,25

Разновидностью рассмотренного способа является способ «давление—вакуум» (ДВ), называемый также способом полуограниченного поглощения. Он отличается от ДДВ отсутствием операции выдержки под избыточным воздушным давлением (на рис. 16.3, б показано пунктиром). Так как количество сжатого воздуха в древесине в конце пропитки здесь будет меньше, чем при способе ДДВ, количество вытесненной жидкости тоже уменьшается. Этот способ используют для пропитки маслами, когда требуется несколько большее поглощение, чем обеспечивает способ ДДВ.

Способы ВДВ, ДДВ и ДВ известны очень давно, с конца позапрошлого века, и могут быть названы классическими способами автоклавной пропитки. Они применяются в настоящее время для консервирования сухих или подсушенных ( $W \leq W_{\text{lim}}$ ) сортиментов и обеспечивают сквозную пропитку легкопропитываемой древесины (например, березы и заболони сосны). Труднопропитываемая древесина пропитывается на глубину не более 5 мм. Для повышения глубины пропитки такой древесины необходима предварительная операция накальвания.

**Пропитка многоциклическими способами.** Увеличить глубину пропитки труднопропитываемой древесины можно не только с помощью накальвания, но и путем двух-трехкратного повторения циклов ВДВ, ДДВ или ДВ. Такая пропитка с последовательным чередованием нескольких единичных циклов называется многоциклической.

Технологических вариантов многоциклической пропитки может быть очень много. Хороший результат показал разработанный проф. А. И. Расевым вариант, основанный на применении

«мокрого» вакуума, т. е. вакуума, создаваемого в автоклаве, заполненном пропитывающей жидкостью. График этого варианта показан на рис. 16.3, в. При пропитке водорастворимыми препаратами рекомендуются следующие параметры:

- глубина «мокрого» вакуума 0,09 МПа;
- «сухого» вакуума 0,08 МПа;
- продолжительность выдержки в вакууме 45 мин (три раза по 15 мин);
- величина избыточного жидкостного давления 1,1 МПа;
- продолжительность первой выдержки под давлением 60 мин, второй — 30 мин.

Температура раствора (около 40 °С) поддерживается на уровне точки его кипения в вакууме. При этом глубина пропитки (в ядровой зоне сортимента) увеличивается: по сравнению с другими многоциклическими способами в 1,5 раза, а со способом ВДВ — в два раза.

**Пропитка способом ВАДВ.** Этот способ, называемый иногда просто вакуумным, предусматривает использование автоклавов или герметичных резервуаров упрощенных конструкций, не рассчитанных на высокое давление. Последовательность пропитки этим способом (рис. 16.3, з) такова: вначале древесину, загруженную в автоклав, выдерживают 15...20 мин под вакуумом глубиной 0,08...0,09 МПа, затем автоклав заполняют пропиточной жидкостью и вакуум сбрасывают. Собственно пропитка происходит в течение 30...60 мин под действием атмосферного давления, избыточного по отношению к давлению в древесине. После этого автоклав освобождают от жидкости и вновь создают в нем кратковременный вакуум для подсушки поверхности сортиментов. Способ ВАДВ применяют в тех случаях, когда в древесину требуется ввести ограниченное количество пропитывающей жидкости на небольшую глубину (по заболони 5...10 мм, по ядру 1...2 мм).

**Автоклавно-диффузионная пропитка.** Все автоклавные способы, рассмотренные выше, обеспечивают удовлетворительную пропитку лишь подсушенной древесины влажностью не выше предела насыщения клеточных стенок. Автоклавно-диффузионный способ — один из способов пропитки сырой древесины с целью ее консервирования. Сущность его состоит в следующем. Сырую древесину загружают в автоклав, нагревают в среде насыщенного водяного пара, а затем подвергают выдержке в вакууме. В результате такой обработки влажность поверхностных зон древесных сортиментов понижается на 20...30 % (при влажности

древесины менее 70...80 % пропаривание можно не производить). Затем в подсушенную зону под избыточным давлением вводят концентрированный водный раствор антисептика на глубину 5...10 мм. Наиболее целесообразно применять невымываемые препараты (ХМ-11, ХМФ и др.), которые легко диффундируют в древесину. После пропитки древесину выгружают из автоклава и выдерживают на складе в течение 2...4 недель. В это время за счет диффузии происходит пропитка внутренних слоев материала. Можно, кроме того, после введения в древесину антисептика делать ее поверхностную пропитку гидроизоляционным составом. Древесина в этом случае отправляется потребителю без выдержки.

Автоклавно-диффузионным способом пропитывают в основном круглые лесоматериалы (стойбы), идущие на изготовление опор линий электропередачи и связи. Институтом «Энергожилдустрипроект» (Волгоград) и Московским лесотехническим институтом (МЛТИ) была разработана новая технология их автоклавно-диффузионной пропитки, предусматривающая замену пропаривания древесины ее сушкой в нагретом насыщенном растворе бишофита.

**Совмещенная сушка-пропитка.** Этот способ применяют при консервировании древесины маслами или растворами антисептиков в органических растворителях, которые являются гидрофобными жидкостями и способны выполнять функции сушильных агентов. Совмещенная сушка-пропитка включает два процесса, последовательно протекающих в одном автоклаве: сушку древесины в жидкости и ее последующую пропитку той же жидкостью.

Сушку в автоклаве можно производить при атмосферном давлении или под вакуумом. В первом случае температура жидкости должна быть выше 100 °С, а во втором может быть и ниже 100 °С, но выше точки кипения воды при поддерживаемом пониженном давлении. Более прост и экономичен вариант сушки при атмосферном давлении. Оптимальная температура жидкости здесь 120...130 °С. Недостаток этого варианта — снижение эксплуатационной прочности древесины под воздействием такой температуры. При сушке в вакууме глубиной 0,07—0,085 МПа (чему соответствует точка кипения воды 65—50 °С) указанный недостаток устраняется, так как температура жидкости может быть снижена до 80...95 °С. Вакуумная сушка требует более сложного оборудования. Она, однако, вполне оправдана, если по условиям эксплуатации древесины не допускается снижение ее прочности (напри-

мер, для шпал и переводных брусьев). Технология вакуумного варианта совмещенной сушки-пропитки разработана Всероссийским научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) и МЛТИ для внедрения на шпалопропиточных заводах.

Продолжительность сушки в пропитывающей жидкости зависит от формы и размеров обрабатываемых сортиментов, породы древесины, ее начальной и конечной влажности, а также от мощности теплового оборудования пропиточных установок. Она колеблется от 6 до 20 ч. По окончании сушки в автоклаве производят собственно пропитку. При этом в зависимости от требуемого поглощения применяют один из ранее рассмотренных классических способов (ДДВ, ДВ или ВДВ).

### § 67. Оборудование автоклавных пропиточных установок

Автоклавные пропиточные установки представляют собой сравнительно сложные устройства, состоящие из ряда агрегатов и узлов. Их обычно проектируют для того или иного конкретного способа пропитки и определенного вида пропитывающих жидкостей (масел, водных растворов и др.); они могут быть стационарными или передвижными. Оборудование автоклавных установок может быть подразделено на резервуарное, пневмогидравлическое, тепловое, контрольно-регулирующее и вспомогательное.

**Резервуарное оборудование.** К основному оборудованию этой группы относятся пропиточные автоклавы, маневровые автоклавы, мерники, баки-смесители, резервуары для хранения жидкостей.

**Пропиточный автоклав** изготавливают в виде стального цилиндрического резервуара, рассчитанного на рабочее давление до 1,2 МПа. Он имеет два полусферических днища, одно из которых глухое, а другое представляет собой съемную крышку. Крышки автоклавов современных конструкций снабжены герметичными клиновыми запорными устройствами с гидравлическим или пневматическим приводом.

Автоклавы устанавливают горизонтально или с небольшим уклоном в сторону сливного трубопровода. Размеры их зависят от заданной производительности установки и размеров пропитываемых материалов. На наших шпало- и мачтопропиточных заводах

чаще всего используют автоклавы диаметром 2 м и длиной 24...27 м, которая приблизительно кратна длине шпал (2,75 м) и столбов (8...12 м).

Новые установки большой производительности оборудуют автоклавами диаметром 2,6 м и длиной до 29 м. Установки для пропитки мелких сортиментов (например, строительных деталей) имеют автоклавы диаметром 1...1,5 м, длиной 6...12 м.

Автоклавы оборудуют предохранительными клапанами и штуцерами для присоединения трубопроводов, а также датчиков уровня жидкости, температуры и давления. Снаружи их покрывают теплоизоляцией. В нижней их части прокладывают рельсовую колею для закатки вагонеток. Под рельсами и между ними монтируют гладкотрубные паровые калориферы, предназначенные для поддержания заданной температуры пропитывающей жидкости.

Изготовление пропиточных автоклавов машиностроительные заводы осуществляют по индивидуальным заказам. В некоторых случаях для пропитки можно использовать автоклавы, выпускаемые серийно для других отраслей промышленности, например, для производства цемента.

**Маневровый автоклав** предназначен для межоперационного хранения пропитывающей жидкости и ее предварительного нагрева до температуры, заданной режимом. Его обычно устанавливают над пропиточным автоклавом и оборудуют гладкотрубными паровыми калориферами повышенной мощности, люками для осмотра и чистки, штуцерами для присоединения трубопроводов и датчиков.

Маневровые автоклавы могут работать при повышенном давлении (пропитка маслами по технологическим схемам ДДВ и ДВ) или только при атмосферном давлении (пропитка водными растворами по схемам ВДВ, ДВ и ВАДВ). В первом случае их делают конструктивно аналогичными пропиточным автоклавам (но без съемных крышек). Во втором случае для их изготовления можно использовать цилиндрические резервуары, серийно выпускаемые заводами химического машиностроения и рассчитанные на давление до 0,17 МПа. Иногда вместо маневровых автоклавов применяют открытые баки, устанавливаемые под пропиточными автоклавами.

Вместимость маневрового автоклава или бака должна быть достаточной для заполнения жидкостью загруженного пропиточного автоклава, включая жидкость, поглощаемую древесиной при пропитке.

**Мерник** служит для контроля поглощения древесиной жидкости в процессе пропитки. Он представляет собой герметичный цилиндрический стальной резервуар, установленный, как правило, вертикально и снабженный устройством для дистанционного измерения уровня жидкости. Мерники вместимостью 10, 16 и 25 м<sup>3</sup> для крупных пропиточных установок изготовляют заводы нефтяного машиностроения по отраслевым нормам на рабочее давление 0,6; 0,8; 1,6 МПа.

**Бак-смеситель** предназначен для подготовки пропитывающих растворов. Смесители, имеющие обычно цилиндрическую форму, рассчитывают на рабочее давление не более 0,1 МПа. Их оборудуют паровыми гладкотрубными калориферами и воздушными или механическими мешалками.

**Резервуары-хранилища** предназначены для хранения запасов пропитывающих масел. Число и вместимость хранилищ зависит от производительности пропиточной установки. Их оборудуют устройствами для нагрева и учета расхода жидкостей.

**Пневмогидравлическое оборудование.** Основные агрегаты этого оборудования — вакуум-насосы, жидкостные насосы, воздушные компрессоры и аккумуляторы. К оборудованию этой группы можно отнести также системы трубопроводов с монтажной и запорной арматурой.

**Вакуум-насос** создает пониженное давление (вакуум), которое необходимо:

- в пропиточном автоклаве в начале и конце процесса пропитки;
- в маневровом автоклаве и других резервуарах для засасывания в них жидкостей;
- в пропиточном и маневровом автоклавах для удаления паров воды из древесины при сушке в пропиточной жидкости.

В пропиточных установках большой производительности используют преимущественно ротационные водокольцевые вакуум-насосы РМК-3, РМК-4 и улучшенной конструкции ВВН-12. Глубина вакуума, создаваемого этими насосами, — до 0,09 МПа. На установках малой производительности устанавливают вакуум-насосы ВВН-1,5; ВВН-3; ВВН-6 (цифра, стоящая за буквами ВВН, характеризует производительность насоса, м<sup>3</sup>/мин).

**Жидкостный насос** предназначен для перекачки пропитывающих жидкостей из одного резервуара в другой, а иногда, кроме того, для создания жидкостного давления. Наиболее употребительны центробежные насосы типа Х, обеспечивающие производительность 1,5...600 м<sup>3</sup>/ч и давление 0,12—1,5 МПа (напор —

12...150 м вод. столба). Марку насоса выбирают в зависимости от требуемой производительности и напора, а параметры выбранного насоса устанавливают по его индивидуальной характеристике. В качестве примера на рис. 16.4 приведена характеристика насоса 8Х-12-1.

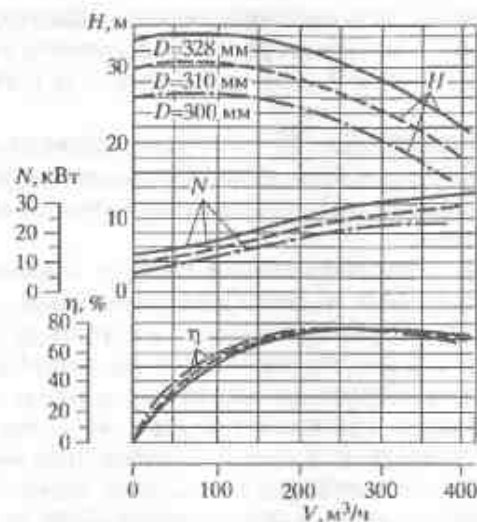


Рис. 16.4. Характеристика насоса 8Х-12-1 при частоте вращения 1450 мин<sup>-1</sup>: H — напор; V — производительность; η — коэффициент полезного действия; N — потребляемая мощность; D — диаметр рабочего колеса

**Компрессор** обеспечивает получение сжатого воздуха, используемого: для создания в пропиточном и маневровом автоклавах воздушного давления при пропитке способом ДДВ, для перемещения жидкости из пропиточного автоклава в маневровый после выдержки древесины под избыточным жидкостным давлением, для достижения и поддержания жидкостного давления в пропиточном автоклаве и мернике, для перемешивания жидкости в процессах приготовления растворов и их нагревания.

На крупных пропиточных заводах используют компрессоры ВК-200, ВВК-240, 2Р-10/20. Рабочее давление их 0,8...1,2 МПа, а производительность 5...20 м<sup>3</sup>/мин. На установках небольшой производственной мощности применяют компрессоры ВК-25-3, ВУ-3/8, ВУ-6/8 производительностью 2,5...1,35 м<sup>3</sup>/мин.

**Аккумуляторы** — цилиндрические вертикальные резервуары, содержащие запас сжатого воздуха давлением 1,2—1,6 МПа. Ис-

пользование аккумуляторов позволяет сократить сроки создания воздушного давления в пропиточных автоклавах, надежнее поддерживать заданное давление и обеспечивать равномерную работу компрессора. Компрессор может работать на питание аккумулятора независимо от автоклава, поэтому его мощность снижается, а коэффициент полезного использования повышается.

Аккумуляторы и компрессоры обычно монтируют в отдельном помещении — компрессорной. Вместимость аккумуляторов 10...25 м<sup>3</sup> для крупных и 2...6 м<sup>3</sup> для небольших пропиточных установок.

**Тепловое оборудование.** К тепловому оборудованию пропиточных установок относятся теплообменные аппараты (конденсаторы, калориферы и др.), конденсатоотводчики, парораспределительные системы.

**Конденсатор** — теплообменный аппарат, служащий для конденсации отсасываемых из автоклава паров воды или пропитывающей жидкости. Его устанавливают на трубопроводной линии между автоклавом и вакуум-насосом. В пропиточных установках применяют поверхностные конденсаторы, в которых охлаждение и конденсация паров происходят внутри металлических трубок, охлаждаемых с поверхности водой. Конденсатор имеет патрубки для ввода свежей охлаждающей воды, ввода паров и вывода конденсата, стекающего затем в специальный сборник.

Другие детали теплового оборудования по устройству и принципам работы аналогичны деталям сушильных установок и были рассмотрены ранее (гл. 6).

**Контрольно-регулирующее и вспомогательное оборудование.** В пропиточных установках используют приборы и устройства для измерения давления, глубины вакуума, температуры, уровня жидкости в резервуарах. Параметры режима пропитки регулируют посредством вентилей и задвижек на трубопроводах. Современные пропиточные установки снабжены автоматическими регуляторами температуры и давления. Принципы их контроля и автоматического регулирования, практически одинаковые для всех процессов гидротермической обработки древесины, будут рассмотрены в следующей главе.

К вспомогательному оборудованию пропиточных установок относятся транспортные механизмы (близкие по конструктивному оформлению к транспортным механизмам сушилок), весы, дозаторы, дробилки для измельчения твердых пропитывающих веществ, отстойники или сепараторы для очистки жидкостей и некоторые другие устройства.

**Схемы монтажа пропиточных установок.** Монтаж оборудования пропиточной установки должен обеспечивать возможность проведения в автоклаве технологических операций в соответствии с принятым способом пропитки. Имеется много схем монтажа. В качестве примера рассмотрим схемы установок, предназначенных для пропитки древесины способами ВДВ, ДДВ и ВАДВ.

Принципиальная схема установки для пропитки способом ВДВ приведена на рис. 16.5.

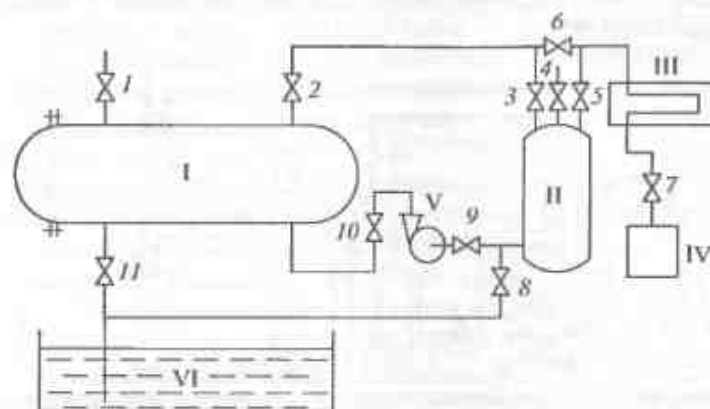


Рис. 16.5. Схема установки для пропитки древесины способом ВДВ: I — пропиточный автоклав; II — мерник; III — конденсатор; IV — вакуум-насос; V — жидкостный насос; VI — маневровый резервуар; 1...11 — вентили

Установка работает следующим образом. В автоклаве, загруженном древесиной, создают вакуум. Для этого включают вакуум-насос при открытых вентилях 2, 6 и 7 (остальные вентили закрыты). После выдержки древесины в вакууме, не сбрасывая его, заполняют автоклав жидкостью, для чего открывают вентили 11, 2, 3 и 5, а остальные закрывают. Жидкость при этом нагнетается из маневрового резервуара в автоклав под действием атмосферного давления. Затем, включая жидкостный насос, создают и поддерживают в автоклаве избыточное давление жидкости при открытых вентилях 4, 9 и 10.

Жидкость, расходуемая на пропитку, поступает при этом в автоклав из мерника, что позволяет контролировать ее поглощение древесиной. После окончания выдержки под давлением жидкость самотеком сливается из автоклава в маневровый резервуар, для чего открывают вентили 1 и 11. Повторный (конечный) вакуум создают так же, как и первый (начальный). Мерник



### § 68. Параметры защищенности древесины. Безопасность жизнедеятельности. Охрана окружающей среды

Параметрами, определяющими уровень защищенности древесины, являются величина поглощения, глубина проникновения пропитывающего вещества и равномерность его распределения в пропитываемой зоне.

Регулирование поглощения при пропитке осуществляют изменением параметров режима процесса (его продолжительности, уровня давления) и концентрации пропитывающего раствора.

Контроль поглощения ведут различным образом в зависимости от способа пропитки. При автоклавной пропитке поглощение определяют по изменению уровня жидкости в мернике, а в некоторых случаях — взвешиванием вагонеток с лесоматериалами до и после пропитки, при панельной пропитке — по расходу жидкости в резервуаре-питателе с учетом стока в резервуар-сборник. При диффузионной пропитке поглощение устанавливают либо расчетным путем, либо методами количественного анализа.

Глубину проникновения пропитывающего вещества и равномерность его распределения определяют по изменению цвета древесины путем отбора проб из пропитываемой партии. Пробы отбирают из заболони и ядра отдельно при помощи полого бура, имеющего внутренний диаметр 5...10 мм. При пропитке маслами пропитанная зона окрашивается антисептиком, глубина их проникновения определяется непосредственным измерением ширины окрашенной зоны. Аналогичная картина наблюдается и при пропитке некоторыми другими окрашивающими древесину антисептиками (например, содержащими медь или хром). В случае пропитки бесцветными веществами на поверхность пробы наносят индикаторы, дающие при взаимодействии с пропитывающим веществом цветные реакции. Например, в качестве индикатора на фтористый натрий и другие фторсодержащие антисептики используется цирконизариновый лак.

Основные параметры защищенности древесины — глубина пропитки, величина общего поглощения и намечаемый срок службы — регламентируются стандартами и техническими условиями на изделия и сооружения, в которых используется пропитанная древесина. В частности, ГОСТ 20022.0—93 устанавливает для деревянных объектов параметры их защищенности от био-разрушений и вероятные сроки их службы в зависимости от

класса условий службы, группы пропитываемости древесины, способа пропитки и вида антисептика (табл. 16.4).

Таблица 16.4. Примеры рекомендуемых параметров защищенности лесоматериалов при консервировании (ГОСТ 20022.0—93)

Класс условий службы по ГОСТ 20022.2—80	Группа пропитываемости по ГОСТ 20022.2—80	Способ пропитки	Марка антисептика	Общее поглощение, кг/м <sup>3</sup>	Глубина пропитки, не менее		Средний срок службы, лет
					по ЛПЗ*	по ТПЗ*	
Круглые лесоматериалы							
ХП	1	ДДВ	КМ	90...120	85 %	—	40...45
		ДДВ	СМ	95...125	85 %	—	40...45
		ДДВ	НМ-М	11...15	85 %	—	35...40
		ВДВ	ХМ-11	13...15	85 %	—	40...45
		ВДВ	ХМФ-221	9...10	85 %	—	25...30
ХП	2	ДДВ-Н**	НМ-М	11...15	Глубина накола	—	30...35
		ДДВ	КМ	70...90			10 мм
		ВДВ-Н	СМ	110...150	То же	—	40...45
		ВДВ-Н	ХМФ-БФ	4...5	То же	—	30...35
		ВДВ-Н	ХМ-11	13...15	То же	—	35...40
Пиломатериалы толщиной 40 мм и более							
VIII		ВДВ-Н	ХМФ-БФ	2...3	Глубина накола	2 мм	40...45
		ВДВ	ХМФ-БФ	2...3			8 мм
		ВАДВ	ХМББ-3324	2,5...3,5	5 мм	2 мм	25...30
		ВАДВ	НМ-Л	3...4	4 мм	2 мм	25...30

\* ЛПЗ — легкопропитываемая зона сортамента (заболонь), ТПЗ — труднопропитываемая зона (ядро).

\*\* Индекс Н означает необходимость предварительного накалывания древесины.

Эти правила регламентируются инструкциями и стандартами на способы пропитки. В частности, допускается использовать в

промышленности только те вещества и препараты, которые имеют гигиенический сертификат, выдаваемый Госсанэпидслужбой РФ и сертификат соответствия Госстандарта РФ.

Все закрытые помещения пропиточных участков должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию и быть приспособленными для влажной уборки. Полы должны иметь уклон не менее 1 : 200 для надежного удаления пролитых жидкостей и промывочных вод. Не разрешается работа с пропитывающими веществами без спецодежды: резиновых сапог или кожаных ботинок, комбинезонов, прорезиненных или брезентовых фартуков, резиновых рукавиц или перчаток. На операциях, связанных с распылением сухих антисептиков или разбрызгиванием жидкостей, обязательно использование защитных очков и респираторов.

Большое значение для безопасности работ имеет соблюдение правил личной гигиены. Во время работы нельзя курить, принимать пищу, прикасаться, не сняв перчаток, к открытым участкам кожи. Перед едой необходимо тщательно вымыть лицо и руки теплой водой с мылом. После работы обязателен душ. При попадании пропитывающих веществ на кожу необходимо сразу смыть их теплой водой с мылом. При работе с маслами открытые участки кожи полезно покрывать тонким слоем пасты ХИОТ-6 или раствора из окиси цинка, талька, глицерина и дистиллированной воды, взятыми в равных долях. Не рекомендуется работать с пропитывающими веществами, если на коже есть открытые царапины и ссадины.

При соблюдении этих правил и выполнении общих для всех промышленных предприятий мер предосторожности работа на пропиточных установках, как показала многолетняя практика, не представляет никакой опасности для обслуживающего их персонала.

В заключение остановимся кратко на экологическом аспекте процессов защитной обработки и консервирования древесины. С одной стороны, они имеют большое природоохранное значение, так как, продлевая сроки службы древесины, эти процессы сохраняют от вырубки значительные по площади лесные массивы. С другой стороны, деятельность пропиточных заводов может наносить вред природе окружающих эти предприятия районов, если имеют место бесконтрольные сбросы вод, содержащих токсичные вещества, непосредственно в реки, озера и другие природные водоемы. Это совершенно недопустимо. Все стоки от основного и вспомогательного пропиточного оборудования должны поступать на очистные сооружения предприятия или централизо-

ванные городские и районные очистные устройства. При выполнении этого требования неблагоприятные воздействия процессов пропитки на окружающую среду полностью исключаются.

### Контрольные вопросы

1. Объясните причины движения жидкости в древесине под действием капиллярных сил, под действием избыточного давления и за счет диффузии.
2. Зачем делается окорка древесины перед пропиткой?
3. С какой целью производится сушка древесины перед пропиткой?
4. В каких случаях древесина подлежит накальванию?
5. Назовите и поясните особенности способов капиллярной пропитки и диффузионной пропитки.
6. Поясните причину появления избыточного давления при пропитке в ваннах с предварительным нагревом.
7. Нарисуйте и объясните схемы автоклавной пропитки древесины.
8. В каких случаях производится автоклавно-диффузионная пропитка, а когда совмещенная сушка-пропитка древесины?
9. Что относится к резервуарному оборудованию, к пневмогидравлическому оборудованию?
10. Проанализируйте параметры защищенности древесины.

## Глава 17

### РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

#### § 69. Принципы регулирования состояния сушильного агента. Автоматические регуляторы

Регулированием процессов гидротермической обработки древесины называется такой способ управления определенными параметрами процесса (температурой, степенью насыщения сушильного агента, влажностью древесины и сушильными напряжениями и пр.), при котором эти параметры приобретают заранее заданные значения.

Например, в установках тепловой обработки требуется поддерживать температуру воды или водяного пара, заданную режимом обработки. В камерах для сушки пиломатериалов задача регулирования состоит в поддержании состояния сушильного агента ( $t$  и  $\phi$ ) в соответствии с заданным режимом сушки, построенным в зависимости от влажности древесины (§ 41). Однако более рациональным было бы регулирование, при котором состояние сушильного агента поддерживалось в зависимости от величины сушильных напряжений. Пока это невозможно, так как еще не разработаны датчики, регистрирующие эти напряжения. Другой пример. В барабанных сушилках для сушки измельченной древесины задача регулирования может быть сведена к стабилизации конечной влажности стружки на уровне конечной заданной путем соответствующего изменения температуры сушильного агента на входе в сушилку. Так, температуру на входе следует увеличивать, если из барабана выходит стружка с повышенной влажностью, и наоборот.

Состояние агента обработки регулируют различными способами в зависимости от вида теплоносителя. В установках с паровым или водяным обогревом, когда состояние определяется только одним параметром — температурой, ее регулируют с помощью вентиля или клапанов, установленных на пароводопроводах. Для снижения температуры необходимо уменьшить подачу пара или воды в калориферы, прикрывая вентиль (или клапан), а для повышения температуры, наоборот, увеличить подачу теплоносителя, открывая вентиль.

В сушилках пиломатериалов с паровым или водяным обогревом, где состояние характеризуется двумя параметрами ( $t$  и  $\phi$ ), температуру регулируют таким же способом, т. е. воздействием на вентили или клапаны. Степень насыщения  $\phi$  регулируют изменением кратности воздухообмена с атмосферой путем воздействием на шиберы или задвижки приточно-вытяжных каналов. Перекрытие приточно-вытяжных каналов приводит к повышению  $\phi$  за счет влаги, испаряющейся из материала.

В недостаточно герметичных камерах для повышения степени насыщения в сушильное пространство впускают пар или распыленную воду через увлажнительные трубы. Таким же образом производится увлажнение воздуха при прогреве материала или его кондиционировании.

В газовых сушилках состояние сушильного агента регулируется путем воздействия на шиберы и задвижки, которые перекрывают каналы подачи в камеру смешения топочных газов, отработавшей смеси и свежего воздуха. Температура также может регулироваться путем изменения количества топлива, подаваемого в топку. Для того чтобы, например, повысить температуру в сушилке, необходимо либо увеличить подачу газа из топки или газораспределительного борава, либо увеличить подачу топлива в топку.

В сушилках с электрическим обогревом температуру регулируют путем включения или отключения питания электронагревателей рубильниками или магнитными пускателями.

Существуют два способа регулирования: ручной и автоматический. При ручном регулировании оператор сушильной установки следит по контрольным приборам за состоянием сушильного агента. При отклонении параметров агента от заданных режимом он воздействует на органы управления (вентили, шиберы, задвижки, рубильники) и добивается соответствия фактических и заданных параметров. При автоматическом регулировании воздействие на органы управления происходит автоматически с по-

мощью регуляторов, воздействующих на исполнительные механизмы, в зависимости от сигналов датчиков, которые воспринимают изменение параметров сушильного агента.

В современных условиях температуру в сушильных и нагревательных установках регулируют с помощью автоматических регуляторов. Для регулирования степени насыщения также применяют регуляторы температуры, которые реагируют на изменение температуры смоченного термометра. Датчик температуры этого регулятора должен снабжаться увлажнительным чехлом (аналогично смоченному термометру психрометра). Альтернативой этому является метод регулирования степени насыщения воздуха по величине равновесной влажности (см. § 14).

Каждый автоматический регулятор температуры имеет следующие основные элементы: датчик температуры, регулирующий прибор, включающий задатчик (устройство задания величины регулируемой температуры) и исполнительный элемент. Исполнительный элемент состоит из двух частей: исполнительного механизма и регулирующего органа.

Датчик измеряет температуру и вырабатывает сигнал, поступающий на вход регулирующего прибора. В регулирующем приборе, при сравнении сигналов датчика и задатчика, вырабатывается управляющее воздействие на исполнительный элемент. В свою очередь, исполнительный механизм воздействует на регулирующие органы, которыми являются вентили, клапаны, шиберы.

Регуляторы могут быть одноканальными, двухканальными и многоканальными. Одноканальные регуляторы могут регулировать только один параметр (например, температуру) в одной установке. Их целесообразно применять для устройств тепловой обработки и пропитки древесины. Двухканальные регуляторы широко применяются для сушильных камер пиломатериалов, поскольку могут регулировать температуру среды и температуру смоченного термометра или, что более эффективно, психрометрическую разность.

Многоканальные регуляторы позволяют контролировать и регулировать несколько параметров в одной или нескольких установках.

По принципу работы регуляторы, используемые в технике гидротермической обработки, подразделяются на следующие:

- **двухпозиционные**, действующие по принципу «открыто—закрыто», когда регулирующий орган может находиться в двух положениях — или полностью открытым, или полностью закрытым;

- **трехпозиционные**, которые допускают еще одно промежуточное положение регулирующего органа;
- **шаговые**, в которых регулирующий орган перемещается в отдельные моменты времени на определенную величину (шаг);
- **двухпозиционно-шаговые**, работающие как по шаговому принципу, так и по позиционному в зависимости от величины отклонения регулируемых параметров от заданных;
- **импульсные**, в которых непрерывные сигналы датчиков преобразуются в отдельные импульсы, используемые для управления регулирующими органами;
- **пропорциональные** — в них величина сигнала, воздействующего на исполнительный орган, пропорциональна температуре в сушилке, поэтому степень открытия регулирующего органа зависит от величины рассогласования регулируемых и заданных параметров.

В качестве примера на рис. 17.1 приведена функциональная схема двухканального измерителя — регулятора температуры ТРМ 202, выпускаемого фирмой «ОВЕН». Он имеет два универсальных входа для подключения широкого спектра датчиков температуры, давления, влажности и др. Два независимых канала позволяют регулировать измеряемые величины по двухпозиционному закону или аналоговому  $\pi$ -закону. Возможно вычисление разности измеряемых величин и их регулирование. Прибор имеет встроенный интерфейс RS-485, который позволяет конфигурировать прибор на ПК, передавать в сеть текущие значения измеряемых величин и установок задатчика, а также любых программируемых параметров.

В системе регулирования используют исполнительные механизмы двухпозиционные и пропорционального действия. Примером двухпозиционных механизмов могут служить электромагнитные вентили (рис. 17.2, а). Основным их элементом является электромагнит. Он включается при подаче управляющего сигнала в обмотку 1. Его якорь 2, соединенный с клапаном вентиля, вытягивается внутрь катушки.

Отверстие седла клапана открывается для пропуска жидкости или газа. При отключении сигнала якорь опускается, а клапан перекрывает отверстие, прекращая подачу.

Более универсальными являются исполнительные механизмы пропорционального действия с электроприводом. На рис. 17.2, б приведена конструктивная схема односедельного регулирующего клапана, укомплектованного исполнительным электрическим

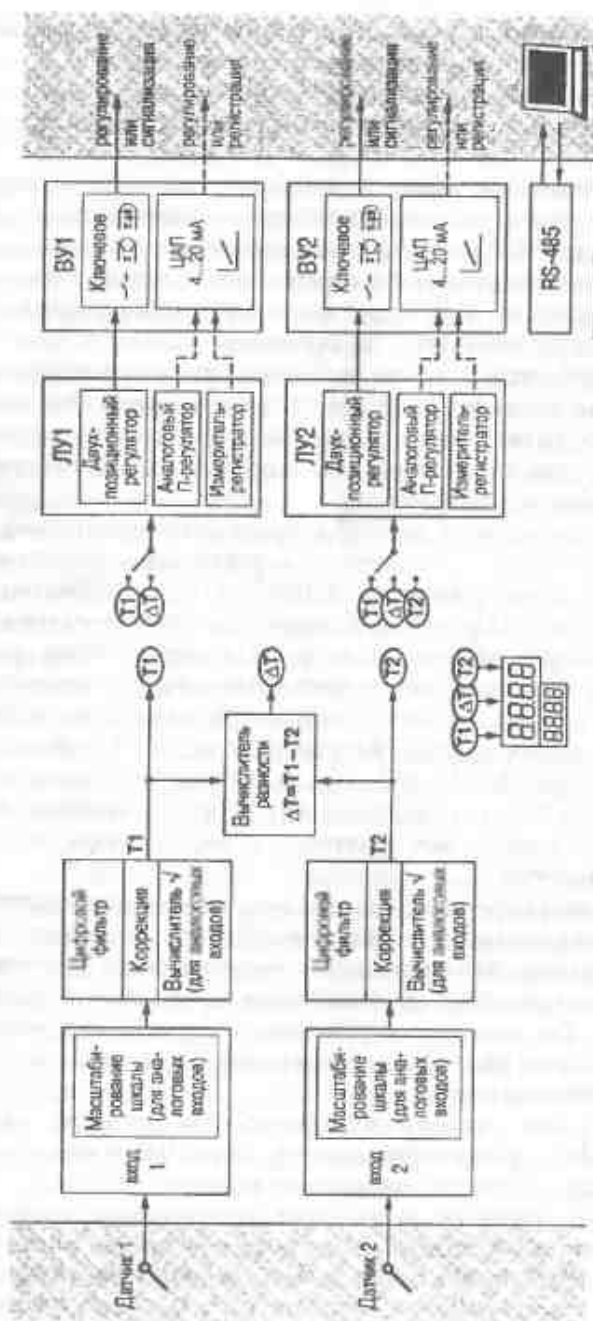


Рис. 17.1. Функциональная схема двухканального измерителя — регулятора температуры: БУ1, БУ2 — логические устройства; БУ1, БУ2 — выходные устройства; ЦАП — цифроаналоговый преобразователь; RS-485 — интерфейс

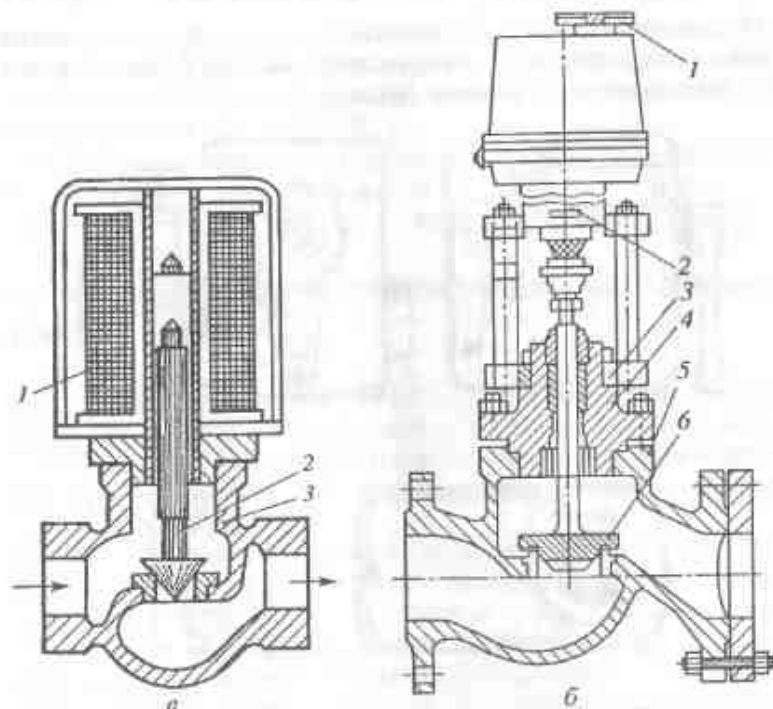


Рис. 17.2. Электромагнитный клапан (а): 1 — обмотка электромагнита, 2 — якорь; 3 — корпус; запорно-регулирующий клапан (б): 1 — маховик; 2 — электропривод; 3 — плунжер; 4 — крышка; 5 — корпус; 6 — седло клапана

механизмом 2. Выходной вал с плунжером 3 при поступлении управляющего сигнала может перемещаться поступательно вверх и вниз, изменяя площадь отверстия в седле 6 и регулировать тем самым расход рабочей среды. Перемещение вала осуществляется от электродвигателя с редуктором, снабженным винтовой парой. Для наладки исполнительного механизма и его ручного управления имеется маховик 1. В зависимости от принципа регулирования плунжер может занимать либо одно из крайних положений, либо промежуточное положение, соответствующее оптимальной степени открытия регулирующего органа.

Для управления шиберами, заслонками, вентилями, у которых регулирование осуществляется поворотом вала или штока, применяются исполнительные электрические однооборотные механизмы типа МЭО.

Механизм (рис. 17.3, а) состоит из электродвигателя 3, цилиндрического 6 и червячного 5 редукторов, рычага 1, блока сигнализации положения 2 и ручного привода 7.

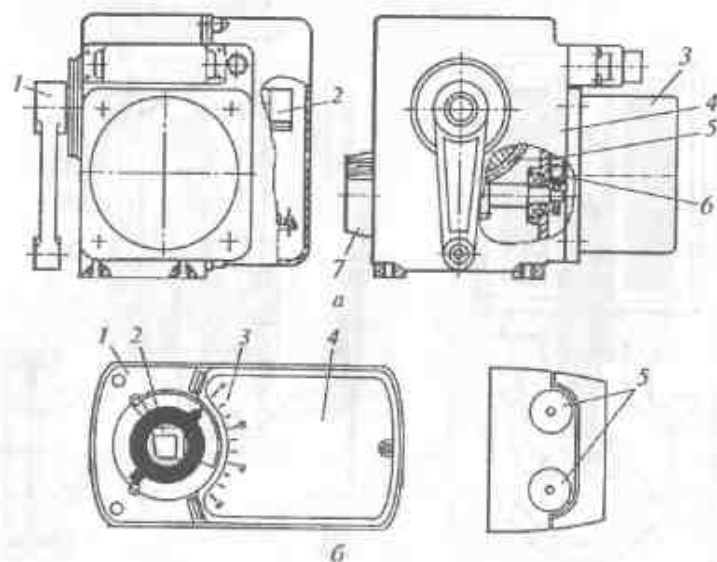


Рис. 17.3. Исполнительный механизм МЭО (а):

- 1 — рычаг; 2 — блок сигнализации положения; 3 — электродвигатель; 4 — корпус;  
5 — червячный редуктор; 6 — цилиндрический редуктор; 7 — ручной привод;  
исполнительный механизм «АРКТИКА» (б):  
1 — корпус; 2 — фиксатор вала (штока) регулируемого органа; 3 — указатель положения; 4 — крышка; 5 — ввод проводов

При поступлении управляющего сигнала на обмотки электродвигателя движение передается через цилиндрический и червячный редукторы на рычаг 1, который может поворачиваться как по часовой стрелке, так и в обратном направлении в пределах одного оборота.

Блок сигнализации положения служит для преобразования положения регулирующего органа в пропорциональный электрический сигнал, а также для сигнализации и блокирования этого органа в крайних или промежуточных положениях. Механизмы выпускаются с крутящим моментом до 40 Н·м, с полным номинальным ходом выходного вала, равным 90°.

В настоящее время все более широкое применение находят исполнительные механизмы (рис. 17.3, б) фирмы «АРКТИКА» ([www.arktika.ru](http://www.arktika.ru)), которые отличаются малыми размерами, ком-

пактной конструкцией, могут быть установлены в ограниченном монтажном пространстве. Они имеют двух-трехпозиционное и пропорциональное управление. Механизмы выпускаются с моментом вращения от 4 до 32 Н·м.

Потребляемая мощность в рабочем положении не превышает 10 Вт, а в крайних положениях — 4 Вт.

## § 70. Системы автоматического регулирования состояния сушильного агента

Системой автоматического регулирования (САР) называют совокупность объекта регулирования и автоматического регулятора, которая предназначена для того, чтобы поддерживать без участия человека какой-либо параметр (параметры) в соответствии с заданной величиной.

В САР тепловых и сушильных установок используется принцип регулирования по отклонению. Например, объектом регулирования является установка, в которой требуется поддерживать температуру на постоянном уровне  $t_0$ . Пусть в данный момент температура в установке отличается от заданной и составляет  $t_1$ . Сигналы, поступившие от датчика и задатчика, сравниваются. В системе регулирования вырабатывается воздействие на регулируемый орган, при котором  $t_1 \rightarrow t_0$ .

В процессах сушки чаще всего необходимо стабилизировать температуру  $t$  и степень насыщения  $\varphi$ , т. е. поддерживать  $t$  и  $\varphi$  равными некоторым заданным значениям  $t_0 = \text{const}$  и  $\varphi_0 = \text{const}$ . Такие САР называют системами автоматической стабилизации.

В ряде случаев возникает необходимость автоматически изменять регулируемую величину по заданному закону (режиму) в зависимости от времени или состояния древесины (влажности, сушильных напряжений). Такие системы, в которых  $t_0 = f(\tau)$ , где  $f(\tau)$  — известная функция времени, называют системами программного регулирования.

Иногда требуется изменять регулируемую величину  $t$  во времени по неизвестному закону. Например, необходимо изменять температуру на входе в барабанную сушилку в зависимости от конечной влажности стружки, которая может колебаться во времени самым неопределенным образом. Система, у которой  $t_0 = F(\tau)$ , где  $F(\tau)$  — неизвестная заранее функция времени, называется следящей системой.

В качестве примера рассмотрим систему автоматического регулирования (САР) процесса сушки пиломатериалов путем стабилизации, которая предусматривает автоматическое поддержание заданных температуры сушильного агента  $t_c$  и относительной влажности воздуха  $\phi$  в камере на определенной ступени режима сушки. При переходе с одной ступени режима на другую оператор устанавливает новые параметры воздуха, соответствующие этой ступени режима.

САР процесса сушки (рис. 17.4) включает блоки регулирования температуры и влажности сушильного агента, управления перехода на режимы импульсной сушки, управления электродвигателями циркуляционных вентиляторов.

Блок регулирования температуры и влажности воздуха в камере состоит из измерителей-регуляторов температуры РТВ1, РТВ2,

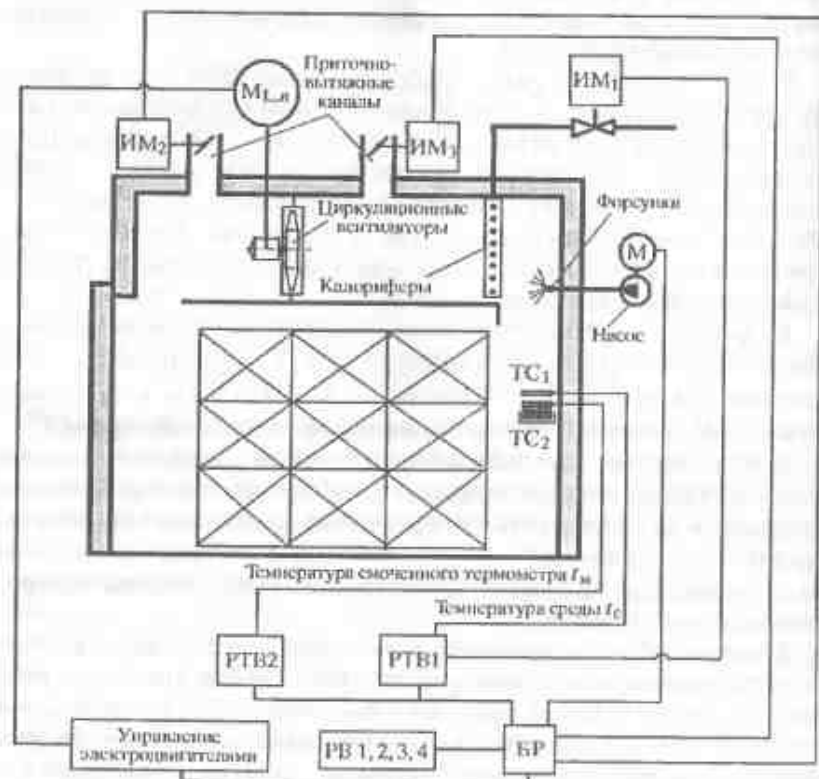


Рис. 17.4. Функциональная схема системы автоматического регулирования параметров сушильного агента в камере периодического действия

термометра  $ТС_1$ , измеряющего температуру среды  $t_c$ , термометра  $ТС_2$ , регистрирующего температуру смоченного термометра  $t_m$ , регулирующего клапана, имеющего исполнительный механизм  $ИМ_1$ , исполнительных механизмов  $ИМ_2$  и  $ИМ_3$  клапанов приточно-вытяжных каналов, циркуляционного насоса системы увлажнения с электродвигателем  $М$ , блока промежуточных реле  $БР$ , двух реле времени  $РВ1$  и  $РВ2$ , регулирующих подачу форсунками распыленной воды в камеру.

Если температура оказывается выше заданной, то по команде регулятора  $РТВ1$   $ИМ_1$  регулирующего клапана закрывается, прекращая подачу горячей воды в калориферы. При снижении температуры регулирующей клапан открывается, подача горячей воды возобновляется.

При влажности воздуха ниже заданной ( $t_{m, \text{факт}} < t_{m, \text{задан}}$ ) исполнительные механизмы  $ИМ_2$  и  $ИМ_3$  поддерживают заслонки приточного и вытяжного каналов в закрытом состоянии, влажность воздуха в камере при этом повышается. При  $t_{m, \text{факт}} > t_{m, \text{задан}}$  по команде  $РТВ2$ ,  $ИМ_2$  и  $ИМ_3$  открывают заслонки каналов, и влажность воздуха в камере начинает уменьшаться.

Если влажность воздуха продолжает оставаться ниже заданной ( $t_{m, \text{факт}} < t_{m, \text{задан}}$ ), то через установленный оператором промежуток времени (20–30 мин) реле времени  $РВ1$  включает электродвигатель  $М$  насоса подачи воды, и в камеру через форсунки начинает поступать распыленная вода. Для того, чтобы не допускать подачи избыточного количества воды и дать возможность распыленной воде превратиться в пар, в цепи управления установлено реле времени  $РВ2$ , которому задается продолжительность подачи воды в форсунки (2...3 мин).

Камера может работать в режимах импульсной сушки. Для этого используется реле времени  $РВ3$ . Таймер программируется на работу циклами. Каждый цикл настраивается на заданные режимом сушки периоды «работа» и «пауза». В периоде «работа» включены электродвигатели  $М_1...М_n$  циркуляционных вентиляторов и система регулирования температуры. В периоде «пауза» отключаются электродвигатели  $М_1...М_n$  и отменяются все команды системы регулирования температуры.

Блок управления электродвигателями циркуляционных вентиляторов имеет магнитные пускатели, автоматические выключатели, тепловые реле, а также реле времени  $РВ4$ , с помощью которого осуществляется реверсирование направления вращения вентиляторов. При его программировании дается задержка времени, равная 3...5 минутам, продолжительность работы в каждом

из направлений может быть задана в широком диапазоне. При импульсной сушке ее рационально задавать равной одному или двум часам.

Предусматривается ручное управление ИМ<sub>1</sub>, ИМ<sub>2</sub>, ИМ<sub>3</sub>, М, М<sub>1</sub>...М<sub>n</sub> при помощи двухпозиционных «ON-OFF» и трехпозиционных выключателей «ON-OFF-ON».

Более совершенной является следящая система регулирования. Она имеет обратную связь состояния материала с параметрами сушильного агента. Пока наиболее надежным параметром, характеризующим состояние древесины в процессе сушки, является ее влажность. Для ее измерения применяются дистанционные кондуктометрические влагомеры, игольчатые датчики которых устанавливаются на досках штабеля (рис. 17.5). Для получения достоверной информации о влажности всего штабеля их количество в штабеле варьирует от 6 до 12.

Регулирование состояния сушильного агента осуществляется по режимам, которые координированы по влажности и были рассмотрены ранее. Как отмечалось, вторым регулируемым параметром (кроме температуры) может быть, помимо температуры смоченного термометра  $t_m$ , равновесная влажность  $W_p$ , величина которой измеряется рассмотренным ранее устройством (см. рис. 3.18).

Современные САР имеют управление с компьютера, обслуживающего блок камер. С помощью компьютера задаются и воспроизводятся все параметры процесса, архивируются протоколы произведенных сушек пиломатериалов.

В качестве примера на рис. 17.6 показано окно, открывающиеся на дисплее компьютера, с помощью которого осуществляется задание режима сушки пиломатериалов в камере.



Рис. 17.5. Установка датчика кондуктометрического влагомера на доске штабеля

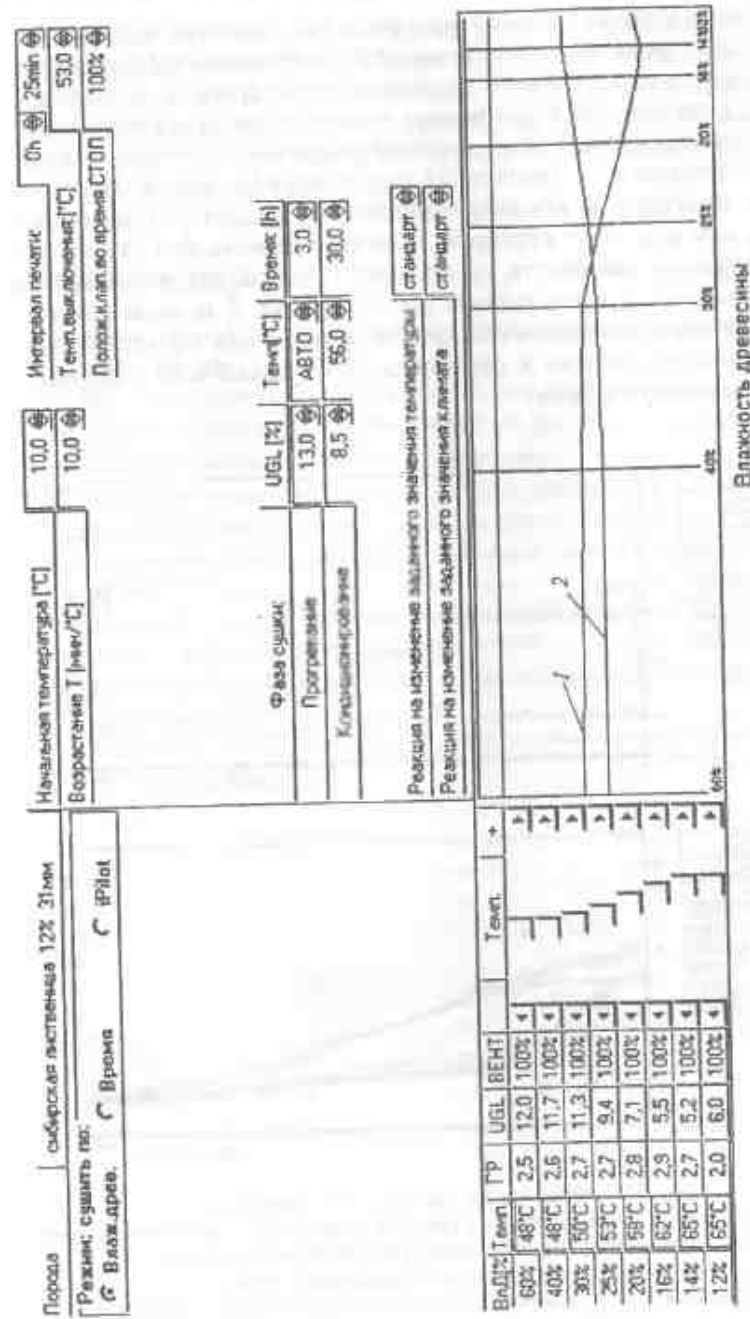


Рис. 17.6. Окно задания режима сушки пиломатериалов. 1 — кривая равновесной влажности (UGL); 2 — кривая температуры

В окне «Порода» с клавиатуры вводятся название породы древесины, величина конечной влажности и толщина пиломатериалов. Следом, используя курсор, определяют параметр, по которому будет координироваться режим сушки (в данном случае — по влажности древесины). Далее устанавливаются: величина начальной температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ), темп роста температуры в камере ( $\text{мин}/^{\circ}\text{C}$ ), режимы прогрева и кондиционирования и другие параметры. В левом нижнем окне курсором вводятся данные фаз сушки для каждого уровня влажности древесины: температура, равновесная влажность (UGL), ритм работы вентиляторов. В правом нижнем окне автоматически строятся кривые изменения температуры и равновесной влажности в зависимости от влажности пиломатериалов в процессе сушки.

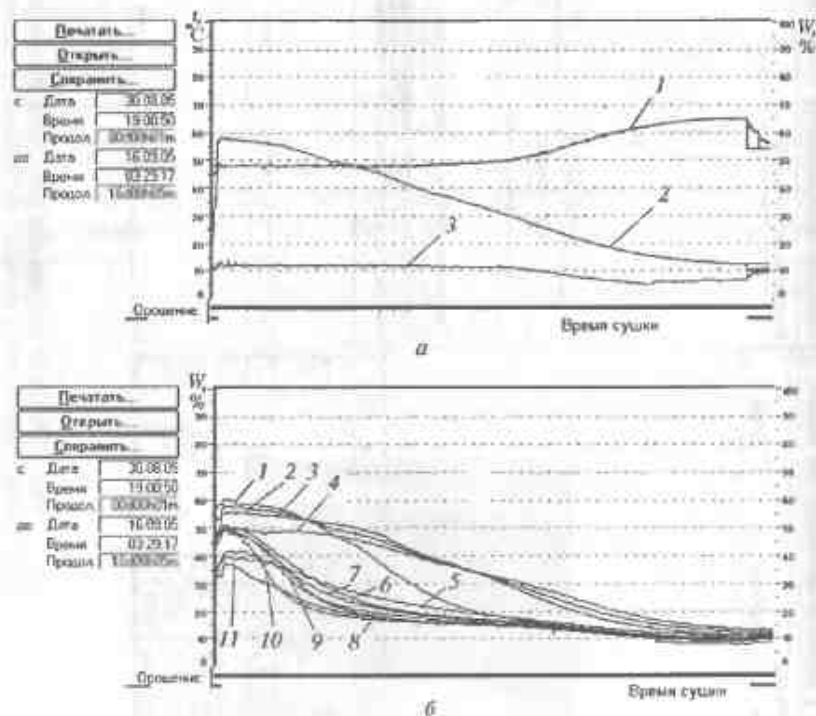


Рис. 17.7. Окно отчета проведенной сушки (а):  
1 — кривая изменения температуры в камере; 2 — интегральная кривая влажности пиломатериалов; 3 — кривая равновесной влажности;  
окно (б) отчета влажности отдельных досок;  
1—11 — кривые влажности досок штабеля, измеренной электровлагомером

В отчете о произведенной сушке этого материала (рис. 17.7, а) отмечается время начала и конца сушки, даются кривые изменения интегральной влажности древесины 2, температуры 1 и равновесной влажности 3 в ходе сушки. На рис. 17.7, б приведены кривые влажности 11 досок штабеля, в которых были установлены датчики электровлагомера.

### Контрольные вопросы

1. Каким образом регулируют состояние агента обработки в установках тепловой обработки, в сушилках?
2. Как осуществляется ручное и автоматическое регулирование?
3. Из каких элементов состоит автоматический регулятор температуры?
4. Дайте классификацию автоматических регуляторов.
5. Каков принцип действия электромагнитного клапана?
6. Как работает регулирующий клапан с электроприводом?
7. Каковы назначение и принцип работы однооборотных исполнительных механизмов?
8. Что называется системой автоматического регулирования (САР)?
9. По какому принципу классифицируются САР?
10. Опишите работу системы автоматической стабилизации в сушильной камере периодического действия.
11. В чем заключается особенность работы системы регулирования процесса сушки с обратной связью?

## Глава 18

# ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

### § 71. Принципы проектирования установок

При проектировании установок для гидротермической обработки следует различать два направления.

К **первому направлению** относятся установки, выпускаемые в виде продукции машиностроительных заводов (сборные лесосушильные камеры, сушилки для шпона, измельченной древесины, автоклавы и т. п.). Их проектирование ведется в соответствии с ГОСТ Р 15.201—2000 «Разработка и постановка продукции на производство» и государственными стандартами группы ЕСКД.

В соответствии со стандартом первоначально составляется техническое задание на проектирование. Затем разрабатывается техническая и нормативно-техническая документация. Далее изготавливаются и испытываются опытные образцы продукции, осуществляется приемка результатов разработки, подготовка и освоение их производства.

Техническое задание на разработку и производство продукции составляется совместно заказчиком и разработчиком на основе исходных требований заказчика, которые могут быть изложены в заявке на разработку продукции. На основании изучения условий применения, тенденций развития и имеющегося научно-технического задела разработчик производит необходимые научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы, включая патентные исследования, технико-экономические обоснования, моделирование и другие методы создания продукции. При этом учитываются требования к техническому уровню изделия, предусмотренные нормативно-техническими

документами, стандартами, требованиями безопасности жизнедеятельности и охраны природы.

Разработка конструкторской, технологической, а при необходимости — и программной документации, производится в соответствии со стандартами единой системы конструкторской документации (ЕСКД), единой системы технологической (ЕСТД) и программной (ЕСПД) документации. Например, виды и комплектность конструкторской документации устанавливает ГОСТ 2.102—73, стадии разработки — ГОСТ 2.103—73, техническое предложение — ГОСТ 2.118—73, а технический проект — ГОСТ 2.120—73\*.

Обязательными стадиями разработки конструкторской документации являются технический проект и рабочая документация.

Для подтверждения соответствия технической документации исходным требованиям изготавливаются опытные образцы изделия (опытные партии). Для мелкосерийной или единичной продукции, а также при модернизации серийной продукции опытный образец, как правило, не изготавливается.

Опытные образцы или единичную продукцию (головной образец) подвергают приемочным испытаниям в соответствии с действующими типовыми программами и методиками испытаний. В случае их отсутствия испытания проводят по программе и методике, подготовленной разработчиком и согласованной с заказчиком.

По результатам приемочных испытаний устанавливается соответствие изделия требованиям технического задания, оценивается его технический уровень, даются рекомендации по доработке (в случае необходимости) и разрешение на производство.

К **второму направлению** относится строительство сушильных камер пиломатериалов, бассейнов и ванн для тепловой обработки или пропитки древесных сортиментов в строительных ограждениях или модернизация действующих установок. Проектирование ведется в соответствии с документом «Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» (СН 202—81) и стандартами группы СПДС (система проектной документации для строительства).

При разработке проектов строительства или реконструкции цехов и участков гидротермической обработки следует учитывать последние научные и технические достижения в этой области. Необходимо руководствоваться действующими нормативными документами по проектированию, государственными стандарта-

ми (ЕСКД), санитарными нормами и правилами, требованиями безопасности жизнедеятельности, противопожарными, электротехническими нормами и правилами на производство строительных и монтажных работ. Подлежит определению патентная способность и чистота машин, приборов, оборудования, применяемых в проекте.

Проекты должны выполняться на основании технических заданий на проектирование, исходных данных заказчика.

Задание на проектирование составляют заказчик совместно с проектировщиком. Оно должно содержать следующие данные:

- наименование предприятия и задачи проекта;
- основание и исходные данные для проектирования, стадийность проектирования;
- требования к разработке вариантов проекта (части проекта);
- планируемый уровень капитальных затрат;
- затраты на проектирование с указанием источника финансирования;
- сроки проектирования и строительства;
- наименование организаций — участников разработки проекта, строительства, монтажа, испытаний объекта.

При необходимости определяются ориентировочные затраты на проведение предпроектных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В качестве исходных данных для проектирования цеха (участка) гидротермической обработки заказчик выдает: суммарное годовое количество и спецификацию сырья (пиломатериалов, заготовок, шпона, измельченной древесины), подлежащих обработке; требования к конечному продукту; наличие и вид теплоносителя на предприятии (технологический насыщенный пар, горячая вода, природный газ и пр.). Должны быть представлены: генеральный план предприятия с указанием места расположения строящегося цеха (или место действующего, но подлежащего реконструкции); схемы коммуникаций трубопроводов, кабелей электропередачи, водоснабжения и канализации; характеристика грунта строительной площадки; метеорологические данные (среднегодовые температуры и относительная влажность, средние температуры для летних и зимних условий). Необходимы дополнительные сведения: о смежных цехах, о внутризаводском транспорте, предполагаемых способах и средствах механизации погрузочно-разгрузочных и транспортных работ.

Собственно проектирование может выполняться в одну или две стадии. Одностадийное проектирование (разработка техни-

ческого проекта со сводным сметным расчетом стоимости) ведется для технически несложных объектов, а также при наличии типовых и повторно применяемых проектов. В остальных случаях проектирование ведется в две стадии: первая — разработка технического проекта со сводным сметным расчетом стоимости, и вторая — составление рабочей документации.

После окончания строительства по выполненному проекту проводятся испытания для подтверждения соответствия технической документации исходным требованиям и составления технико-экономической характеристики объекта.

В своей практической деятельности техник-технолог по деревообработке встречается, в основном, со вторым направлением. В этом случае готовый проект установки для гидротермической обработки древесины должен включать в себя следующие материалы:

- обоснование выбора типа и конструктивной схемы установки, принципа организации транспортных работ в цехе (на участке);
- технологический расчет цеха (участка) сушки древесины;
- тепловой расчет установки;
- аэродинамический или гидравлический расчет;
- разработка конструкции установки; составление ее технической характеристики;
- конструктивное оформление проекта, т. е. разработка рабочих чертежей, специального оборудования, монтажных чертежей основных узлов и установки в целом;
- строительное оформление проекта, т. е. планировка производственных и вспомогательных помещений цеха и разработка чертежей зданий и сооружений;
- сметы на строительные работы, оборудование и его монтаж;
- эксплуатационные сметы и калькуляция себестоимости обработки.

Текстовая часть проекта представляется в виде расчетно-пояснительной записки, а графическая часть — чертежей общего вида устройства, чертежей зданий и сооружений, чертежей отдельных узлов, монтажных схем (например, теплоснабжения), электрических схем и пр.

В производственной практике приходится сталкиваться преимущественно с проектированием новых сушильных камер пиломатериалов или модернизацией уже имеющихся. Однако не меньшее значение имеет проектирование новых и реконструкция действующих сушилок для шпона, измельченной древесины

и другого назначения (сушка чурок, дров и пр.), а также установок тепловой обработки и пропитки древесины.

Детальное изучение вопросов проектирования установок гидротермической обработки древесины является предметом специальных учебных пособий [1, 9, 15, 22, 23, 39].

Ограничимся рассмотрением содержания тех технологических разделов проекта, которые являются общими независимо от назначения создаваемого объекта. К этим разделам относятся технологический, тепловой, аэродинамический или гидравлический расчеты.

## § 72. Технологический расчет установок

Технологический расчет производится с целью установления числа сушильных, пропиточных тепловых установок, которое требуется для выполнения заданной программы. Для сушильных цехов пиломатериалов дополнительно определяется программа в условном материале.

В этом разделе решаются следующие вопросы:

- выбор способа обработки и типа установки;
- определение продолжительности процесса;
- назначение размеров установки;
- расчет ее вместимости и производительности;
- расчет необходимого числа установок.

Выбор способа обработки и типа устройств определяется профилем проектируемого предприятия, назначением обрабатываемого материала, а также соображениями экономики процесса и качества готовой продукции.

В частности, рекомендации по выбору типа сушильной камеры пиломатериалов и организации транспортных работ в цехе рассмотрены в § 35.

Расчет производительности всех типов установок представлен в соответствующих главах учебного пособия.

Когда в цехе монтируется несколько однотипных установок, их число определяется делением заданной производительности цеха на производительность одной установки. Расчет усложняется, если обработке подлежит разнородный по размерам и свойствам материал. В этих случаях число установок нужно определять для каждого типоразмера материала в отдельности с суммированием полученных результатов.

Технологический расчет сушильных камер пиломатериалов может производиться либо последовательным вычислением их производительности и числа для каждой заданной размерно-породной группы материала, либо переводом заданной фактической производительности цеха в объем условного материала. Результат при этом не изменится. Методика технологического расчета в достаточно полном объеме рассмотрена и дополнена примером в § 45. Габаритные размеры сушильного пакета или штабеля приведены в § 32, а рекомендации по выбору основных технологических размеров камеры — в § 33.

В некоторых случаях число установок лимитируется особенностями технологии производства или располагаемой площадью цеха. Тогда производительность одной установки оказывается заданной, и следует определять ее вместимость и режимные параметры обработки, определяющие продолжительность процесса.

## § 73. Тепловой расчет установки

Целью теплового расчета является:

- определение затрат тепловой энергии на сушку, тепловую обработку или пропитку древесных сортиментов;
- выбор типа и расчет нагревательных устройств;
- расчет системы воздухообмена;
- определение расхода теплоносителя, топлива и параметров системы трубопроводов.

Расчет ведется на примере сушильной камеры пиломатериалов в такой последовательности:

- выбор расчетного материала и обоснование этого выбора;
- установление расчетных параметров сушильного агента;
- определение параметров наружного воздуха;
- расчет количества влаги, испаряемой из  $1 \text{ м}^3$  пиломатериалов в единицу времени (час, секунду);
- определение массы и объема циркулирующего в штабеле и в камере сушильного агента; температурного перепада в штабеле;
- расчет системы воздухообмена с окружающей средой;
- определение расхода тепловой энергии на сушку: а) расход тепла на прогрев древесины; б) расход тепла на испарение влаги из древесины; в) расход тепла на компенсацию тепловых потерь через ограждения;

- подбор и расчет тепловой мощности калориферов;
- расчет расхода теплоносителя, расхода топлива;
- расчет системы трубопроводов;
- выдача рекомендаций по источникам теплоснабжения сушильного цеха (участка).

**Выбор расчетного материала.** В техническом задании на проектирование указывается ряд размерно-породных групп пиломатериалов, которые подлежат сушке. Мощность теплового оборудования, установленного в камере, должна обеспечивать выполнение режимных параметров сушки всех высушиваемых пиломатериалов.

В качестве расчетного выбирают самый быстросохнущий материал из имеющихся в спецификации. Для его сушки требуется наибольшая тепловая мощность.

**Расчетные параметры сушильного агента.** Для последующих расчетов требуются параметры сушильного агента на входе его в штгель. Величины этих параметров устанавливаются по данным I и II ступеней режима сушки расчетного материала. Режим его сушки находится в соответствующей таблице режимов (§ 41).

Все расчеты принято вести по параметрам II ступени режима. Параметры I ступени используются в расчетах затрат тепла на компенсацию тепловых потерь, при определении толщины теплоизоляционного слоя ограждения.

Данные по ступеням, взятые из режима сушки, вносятся в таблицу, форма которой приведена в табл. 18.1.

Таблица 18.1. Расчетные параметры сушильного агента

Ступень режима	Переходная влажность	$t_1, ^\circ\text{C}$	$\varphi_1$	$\Delta t_1, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{вп}}, ^\circ\text{C}$	$d_1, \text{г/кг}$	$I_1, \text{кДж/кг}$	$\rho_1, \text{кг/м}^3$	$v_{\text{пр}1}, \text{м}^3/\text{кг}$
I	$W_{II} - 35$					—	—	—	—
II	35—25								

Дополнительно к этим данным рассчитываются: влагосодержание,  $d_1$ , г/кг, теплосодержание воздуха,  $I_1$ , кДж/кг, его плотность  $\rho_1$ , кг/м<sup>3</sup> и приведенный удельный объем  $v_{\text{пр}1}$ , м<sup>3</sup>/кг сух. воздуха. Перечисленные параметры могут быть найдены по  $I-d$ -диаграмме влажного воздуха. Однако для более точных расчетов рекомендуется воспользоваться формулами, приведенными ниже.

$$d_1 = 622 \cdot \varphi_1 p_{\text{н}1} / (p_a - \varphi_1 p_{\text{н}1}), \quad (18.1)$$

где  $\varphi_1$  — степень насыщенности воздуха;  $p_{\text{н}1}$  — давление насыщения водяного пара при расчетной температуре воздуха (см. рис. 1.1);  $p_a$  — атмосферное давление воздуха (0,1 МПа).

$$I_1 = t_1 + 0,001d_1(1,93t_1 + 2490); \quad (18.2)$$

$$\rho_1 = \frac{348 - 132 \cdot [d_1 / (622 + d_1)]}{273 + t_1}; \quad (18.3)$$

$$v_{\text{пр}1} = 4,62(273 + t_1) \cdot (622 + d_1)10^{-6}. \quad (18.4)$$

**Выбор параметров наружного воздуха.** Сведения о параметрах наружного воздуха требуются при определении расходов тепла на сушку, для расчета системы воздухообмена, в технико-экономических расчетах. При их выборе необходимо учитывать географическое расположение местности, где будет строиться сушильный цех, и времена года. Эти параметры выбирают по климатологическим таблицам (СНиП II-1.6—72), один из вариантов которых приведен в Приложении 1.

По зимним условиям рассчитывают тепловую мощность калориферов и, в частности, расходы тепла на нагревание древесины, на испарение из нее влаги, на компенсацию тепловых потерь через ограждения. Среднегодовые условия используются в технико-экономических расчетах, а летние условия — при расчетах системы воздухообмена, в частности, размеров приточно-вытяжных каналов сушильной камеры.

При подаче воздуха в камеру из отапливаемого помещения (коридора управления, цеха, лаборатории) его параметры для расчета принимают в соответствии со СНиП II-33—75, в пределах:  $t_0 = 18...25 ^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_0 = 0,5...0,7$ .

Для удобства расчетов все параметры наружного воздуха рекомендуется представить в виде таблицы, форма которой приведена в табл. 18.2.

Таблица 18.2. Параметры наружного воздуха

Условия	$t_0, ^\circ\text{C}$	$\varphi_0$	$d_0, \text{г/кг}$	$I_0, \text{кДж/кг}$	$\rho_0, \text{кг/м}^3$	$v_{\text{пр}0}, \text{м}^3/\text{кг}$
Зимние					—	—
Летние						
Среднегодовые					—	—

Влагосодержание  $d_0$ , теплосодержание  $I_0$ , плотность  $\rho_0$  и приведенный удельный объем  $v_{\text{пр}0}$  приточного воздуха рассчитывают по формулам (18.1)—(18.4).

Расчет количества испаряемой из материала влаги. Первоначально определяются масса воды  $M_{вз}$ , удаляемой из  $1 \text{ м}^3$  расчетного материала за весь цикл сушки по выражению (6.10), а базисная плотность, входящая в выражение, находится по табл. 2.2.

Массу воды, которая испаряется из древесины в среднем за цикл сушки, в секунду (средняя скорость сушки),  $M_c$ , кг/с, определяют по формуле (6.12).

Продолжительность сушки  $\tau_c$ , ч, определяется вычитанием из продолжительности процесса сушки  $\tau$  расчетного материала, рассчитанной по формуле (10.1), периодов начального прогрева  $\tau_{пр}$  и кондиционирования  $\tau_k$  (§ 41):

$$\tau_c = \tau - \tau_{пр} - \tau_k \quad (18.5)$$

Скорость сушки, как известно, не остается постоянной на различных этапах процесса. В начальный период она имеет максимальную величину, поскольку в это время градиент влажности также имеет наибольшее значение. По мере высыхания величина градиента влажности уменьшается, соответственно, падает и скорость сушки. Расчет тепловой мощности по рассчитанной ранее средней скорости сушки  $M_c$  приведет к недостатку тепловой мощности для начальной стадии процесса. Это обстоятельство требует введения в расчеты поправки, учитывающей отмеченную неравномерность скорости сушки. Величина этой поправки зависит в значительной степени от конечной влажности материала. С учетом отмеченного, эта величина будет тем больше, чем ниже конечная влажность.

Расчетное количество испаряемой влаги  $M_p$ , кг/с, определяется по выражению

$$M_p = M_c \chi, \quad (18.6)$$

где  $\chi$  — коэффициент неравномерности скорости сушки. При  $W_k = 12...15\% \rightarrow \chi = 1,2$ , при  $W_k \leq 12\% \rightarrow \chi = 1,3$ .

Определение объема и массы циркулирующего в штабеле и в камере сушильного агента. В камерах периодического действия количество циркулирующего в штабеле сушильного агента должно обеспечивать относительно равномерное просыхание пиломатериалов по ходу движения сушильного агента (по ширине штабеля). Это может быть достигнуто при некоторой относительно небольшой разнице температуры  $\Delta t$  на входе в штабель  $t_1$  и выходе из него  $t_2$ . При большом температурном перепаде, который имеет место при недостаточном количестве циркулирующего возду-

ха, будет наблюдаться большая неравномерность просыхания пиломатериалов в штабеле. Устранить этот недостаток возможно путем увеличения продолжительности сушки с доведением этой неравномерности до допустимого уровня. При малом температурном перепаде и, соответственно, большом количестве циркулирующего воздуха сушка будет проходить равномерно, но при повышенном расходе электрической энергии на привод вентиляторов. Как в первом, так и во втором случае будет возрастать себестоимость сушки. Тогда потребуется найти такое решение, которое обеспечивало бы минимальную себестоимость сушки.

В камерах непрерывного действия количество циркулирующего воздуха устанавливается в соответствии с требованиями режима сушки (см. табл. 9.7) исходя из обеспечения максимально допустимой психрометрической разности в загрузочном конце сушилки.

Приближенно эта задача решается следующим образом.

Задается температурный перепад  $\Delta t_{шт}$  в штабеле или камере. Далее определяются: масса  $G_{шт}$  и объем  $V_{шт}$  циркулирующего воздуха в камере, скорость циркуляции воздуха в штабеле  $\omega_{шт}$ .

Для камер периодического действия величина  $\Delta t_{шт}$  (в расчете на один штабель по ходу движения воздуха) в зависимости от категории качества сушки (табл. 9.11) принимается равной: I категория —  $1...2^\circ\text{C}$ , II категория —  $2...3^\circ\text{C}$ , III категория —  $3...4^\circ\text{C}$ . Для камер непрерывного действия величина перепада температуры определяется по данным режима сушки расчетного материала:

$$\Delta t_{шт} = \Delta t_1 - \Delta t_{2\text{мин}} \quad (18.7)$$

Перепад влагосодержания  $(d_2 - d_1)$  агента сушки в штабеле (штабелях),  $^\circ\text{C}$ ,

$$d_2 - d_1 = \Delta t_{шт} (0,4 + 0,00074d_1) \quad (18.8)$$

Удельная масса циркулирующего сушильного агента через штабель (штабеля) в расчете на один килограмм испаренной влаги,  $g_{шт}$ , кг/кг,

$$g_{шт} = \frac{1000}{d_2 - d_1} \quad (18.9)$$

Масса циркулирующего агента сушки  $G_{шт}$ , кг/ч,

$$G_{шт} = 3600 M_p g_{шт} \quad (18.10)$$

Объем циркулирующего агента сушки  $V_{шт}$  в единицу времени,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,

$$V_{шт} = G_{шт} v_{пр.1}, \quad (18.11)$$

где  $v_{пр.1}$  — приведенный удельный объем (см. табл. 18.1).

Скорость движения сушильного агента в штабеле (штабелях)  $\omega_{шт}$ ,  $\text{м}/\text{с}$ ,

$$\omega_{шт} = \frac{V_{шт}}{3600 m F_{ж.с.шт}}, \quad (18.12)$$

где  $m$  — количество штабелей в плоскости, перпендикулярной направлению потока агента сушки; для камер непрерывного действия  $m = 1$ ;

$F_{ж.с.шт}$  — площадь живого сечения штабеля.

Площадь живого сечения штабеля,  $F_{ж.с.шт}$ ,  $\text{м}^2$ ,

$$F_{ж.с.шт} = F_{штб} \cdot (1 - \beta_h), \quad (18.13)$$

где  $F_{штб}$  — площадь габаритного сечения штабеля в плоскости, перпендикулярной направлению воздушного потока,  $\text{м}^2$ ,  $F_{штб} = LH$ ;

$\beta_h$  — коэффициент заполнения штабеля по высоте.

Расчетный объем циркулирующего воздуха  $V_p$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , в сушильной камере:

$$V_p = V_{шт}/\eta, \quad (18.14)$$

где  $\eta$  — коэффициент использования воздушного потока — отношение объема сушильного агента, проходящего через штабеля, к общему объему циркулирующего в камере сушильного агента; принимается равным  $\eta = 0,75 \dots 0,85$ .

**Расчет системы воздухообмена.** Система воздухообмена сушильной камеры обеспечивает удаление из нее воды, испаренной из древесины и приток в камеру более сухого по отношению к находящемуся там воздуху. Для этого имеются, как отмечалось выше, приточные и вытяжные каналы. Они работают за счет разности давлений, создаваемой циркуляционными вентиляторами. В редких случаях для удаления отработанного воздуха устанавливаются специальные вентиляторы.

В камерах с нереверсивной циркуляцией каждый канал выполняет только одну функцию. Канал, расположенный в зоне избыточного давления всегда является вытяжным, а канал в зоне

разрежения — приточным. Отработанный воздух удаляется в атмосферу. Приток наружного воздуха всегда осуществляется из коридора управления или отапливаемого помещения цеха. В этом случае работа системы воздухообмена практически не зависит от климатических условий.

При реверсивной циркуляции функции приточного и вытяжного каналов периодически меняются в зависимости от направления вращения вентиляторов. Приточный воздух при этом вынужденно поступает только из атмосферы. Для воздухообмена сушильной камеры наиболее тяжелыми являются летние условия. Поэтому по этим условиям производится расчет приточного канала.

Расчет системы воздухообмена производится в указанной ниже последовательности.

Устанавливается удельная масса  $g_0$  приточного и отработанного воздуха, по отношению к 1 кг испаряемой влаги,  $\text{кг}/\text{кг}$ , ( $\text{кг}$  воздуха/ $\text{кг}$  воды):

$$g_0 = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \quad (18.15)$$

Определяется масса приточного и отработанного воздуха  $G_0$ ,  $\text{кг}/\text{ч}$ ,

$$G_0 = g_0 M_p \quad (18.16)$$

и рассчитываются объемы отработанного  $V_{отр}$  и приточного  $V_{пр}$  воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,

$$V_{отр} = G_0 v_{пр.2}, \quad (18.17)$$

$$V_{пр} = G_0 v_{пр.0}. \quad (18.18)$$

Площадь поперечного сечения  $F_{отр(пр)}$  приточного и вытяжного каналов,  $\text{м}^2$ ,

$$F_{отр(пр)} = V_{отр(пр)} / 3600 \cdot \omega_{кан}, \quad (18.19)$$

где  $\omega_{кан}$  — расчетная скорость движения отработавшего или приточного воздуха в канале,  $\text{м}/\text{с}$ ; принимаются в пределах 3...5  $\text{м}/\text{с}$ .

Размеры поперечного сечения ( $a \times b$ ) прямоугольного или диаметр круглого канала  $D$ ,  $\text{м}$ :

$$a \times b = F_{отр(пр)}; \quad D = \sqrt{\frac{4F_{отр(пр)}}{3,14}}. \quad (18.20)$$

Приточные и вытяжные каналы имеют клапаны, при помощи которых осуществляется регулирование количества свежего и отработанного воздуха. Размеры этих клапанов нормализованы. Эти размеры могут быть найдены в каталогах предприятий, выпускающих такое оборудование. В качестве примера можно обратиться к каталогу фирмы «АРКТИКА» на сайте [www.arktika.ru](http://www.arktika.ru). Размеры каналов рекомендуется принимать в соответствии с размерами клапанов. В камерах, оборудованных САР, клапаны снабжаются исполнительными механизмами (см. рис. 17.3, б).

**Определение расхода тепловой энергии на сушку.** Расход тепловой энергии на сушку включает затраты тепла на прогрев древесины, испарение из нее влаги и компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры.

Все последующие расчеты расхода тепла производят отдельно (если нет специальных указаний) для зимних условий (расчеты тепловой мощности камеры, расхода теплоносителя, расхода топлива) и среднегодовых условий (определение технико-экономических показателей).

Расход тепла на прогрев  $1 \text{ м}^3$  древесины  $Q_{\text{пр,м}^3}$ ,  $\text{кДж/м}^3$ , при  $t_0 < 0$  рассчитывается по формулам (4.10) и (4.11), а при  $t_0 > 0$  по формуле (4.14).

Удельный расход тепла при прогреве древесины  $q_{\text{пр}}$ ,  $\text{кДж/кг}$ , в расчете на  $1 \text{ кг}$  испаряемой влаги для зимних и среднегодовых условий определяется по отношению (6.9).

Тепловая мощность сушильной камеры при прогреве пиломатериалов рассчитывается в том случае, когда теплоносителем является водяной пар. Нагревание материала осуществляется путем пуска пара в сушильное пространство камеры через увлажнительные трубы при работающих калориферах. Данные по тепловой мощности требуются в дальнейшем для расчета расхода пара в период прогрева. При водяном теплоносителе (горячая вода) этот расчет не производится, поскольку прогрев идет только за счет тепловой мощности калориферов.

Тепловая мощность камеры при прогреве древесины  $Q_{\text{пр}}$ ,  $\text{кВт}$  (только зимние условия):

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пр,м}^3} E_p / 3600 \tau_{\text{пр}}, \quad (18.21)$$

где  $\tau_{\text{пр}}$  — продолжительность прогрева пиломатериалов, ч (§ 41).

**Расход тепла на испарение влаги.** Первоначально определяется удельный расход тепла на испарение влаги для зимних и среднегодовых условий,  $q_{\text{исп,р}}$ ,  $\text{кДж/кг}$ , по выражению (6.8).

Тепловая мощность камеры, необходимая для испарения из материала влаги  $Q_{\text{исп}}$ ,  $\text{кВт}$ , (рассчитывается только для зимних условий):

$$Q_{\text{исп}} = q_{\text{исп,р}} M_p. \quad (18.22)$$

Расчет расхода тепла на компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры. Тепловая энергия, затраченная на компенсацию тепловых потерь через ограждения камер, равна сумме тепловых потерь через охлаждающиеся элементы ограждений камеры. Потери через боковые стены, разделяющие смежные камеры, не учитывают. Если в блоке больше четырех камер, то рассчитываются потери тепла для камеры, находящейся внутри блока. При меньшем числе камер рассчитывается крайняя камера в блоке, включая потери через ее боковую стену, смежную с улицей или производственным помещением. Охлаждающимися элементами ограждения являются торцовые стены, двери, пол, перекрытие камеры, ее боковая стена (при числе менее четырех камер в блоке).

Суммарные потери тепла через ограждения,  $Q_{\text{отр}}$ ,  $\text{кВт}$ , рассчитываются по формуле (4.17), а удельный расход на компенсацию тепловых потерь  $q_{\text{отр}}$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{ч/кг}$ ,

$$q_{\text{отр}} = \frac{Q_{\text{отр}}}{3600 M_p}. \quad (18.23)$$

Расчет тепловых потерь удобно вести в табличной форме, предварительно составив планировку блока камер и конструктивную схему камеры с размерами элементов ее ограждений.

Форма таблицы для расчета тепловых потерь через ограждения дана в табл. ПЗ.4 Приложения 3.

Тепловая изоляция камер должна удовлетворять условию, при котором на внутренней поверхности ограждений не происходит конденсация водяного пара (такому требованию должны удовлетворять ограждения и других отапливаемых помещений). В этом случае коэффициент теплопередачи ограждений  $K_y$  должен удовлетворять условию

$$K_y \leq \alpha_{\text{ин}} \frac{t_1 - t_{\text{ф}}}{t_1 - t_0}, \quad (18.24)$$

где  $\alpha_{\text{ин}}$  — коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ограждения,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$t_1$  — температура агента сушки на I ступени режима,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_p$  — температура точки росы агента сушки, °С; без большой погрешности можно принять  $t_p = t_m - 1$ , °С.

Расчетный коэффициент теплопередачи  $K$  должен быть несколько меньше полученного выше. Принимается  $K = (0,8...0,85)K_r$ .

Далее следует разработать конструкцию того или иного ограждения. При этом надо решить, из каких слоев и строительных материалов формируется ограждение. На следующем этапе рассчитывается толщина теплоизоляционного слоя  $S_r$ , м, этого ограждения:

$$S_r = \lambda_r \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{\alpha_n} - \sum_{j=1}^m \frac{S_j}{\lambda_j} - \frac{1}{\alpha_{ин}} \right), \quad (18.25)$$

где  $\alpha_n, \alpha_{ин}$  — коэффициенты теплообмена на наружной и внутренней поверхностях ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>°С), соответственно;

$\lambda_r$  — коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, Вт/(м°С);

$S_j, \lambda_j$  — толщина и коэффициент теплопроводности  $j$ -го слоя материала (штукатурка, листы металла, элементы каркаса, наружная обшивка и пр.) формирующего ограждение, м, Вт/(м°С); толщина слоя устанавливается из конструктивных соображений.

Значения коэффициентов теплопроводности для наиболее распространенных материалов, используемых в конструкциях ограждений лесосушильных камер, приведены в Приложении 2.

В расчетах тепловых потерь через пол допустимо принять коэффициент теплопередачи пола  $K = 0,5K_{ст}$ , а площадь, — равной произведению ширины полосы пола вдоль стены на ее длину. Ширина этой полосы составляет 2 м.

Коэффициент теплообмена  $\alpha_{н(ин)}$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С), в условиях вынужденной конвекции рассчитывается по выражениям:

- при скорости потока воздуха  $\omega \leq 5$  м/с:

$$\alpha = 5,8 + 3,95\omega; \quad (18.26)$$

- при  $\omega > 5$  м/с:

$$\alpha = 7,12\omega^{0,78}. \quad (18.27)$$

Полученные расчетные значения толщины ограждений могут отличаться от тех, которые устанавливаются исходя из требований СНиП или стандартов на строительные конструкции. В этом случае принимается рекомендованная этими документа-

ми толщина ограждения и далее пересчитывается его коэффициент теплопередачи.

При разработке конструкции и расчете ограждения сушильной камеры следует иметь в виду, что коэффициент теплопередачи может варьировать в пределах 0,35...0,8 Вт/(м<sup>2</sup>°С).

**Общий расход тепловой энергии на сушку пиломатериалов.** Удельный расход тепловой энергии на сушку пиломатериалов  $q_{сум}$ , кДж/кг, складывается, как было установлено выше (§ 28), из затрат тепла на прогрев древесины, на испарение из нее влаги и компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры. Расчет ведется для среднегодовых условий для камер периодического действия и зимних и среднегодовых условий для камер непрерывного действия по выражению (6.7).

Расход тепла на сушку, отнесенный к 1 м<sup>3</sup> высушенной древесины  $Q_{исп.м^3}$ , кВт·ч/м<sup>3</sup>, (расчет ведется только для среднегодовых условий):

$$Q_{исп.м^3} = \frac{q_{сум} \cdot M_{м^3}}{3600}. \quad (18.28)$$

**Подбор и расчет мощности калориферов** выполняется в следующем порядке. Сначала рассчитывается тепловая мощность калориферов. Затем производится выбор модели, номера калориферов и их размещение в камере в соответствии с ее конструктивной схемой. Далее рассчитываются коэффициент теплопередачи калориферов и поверхность их нагрева. В конечном итоге, уточняются число калориферов, их параметры и составляется схема монтажа в камере.

**Тепловая мощность калориферов  $Q_{кэл}$ , кВт,** рассчитывается по выражениям:

- для камер периодического действия:

$$Q_{кэл} = (Q_{исп} + Q_{отр}) \cdot 1,15; \quad (18.29)$$

- для камер непрерывного действия:

$$Q_{кэл} = 1,15 \cdot q_{сум} M_{с^1} \quad (18.30)$$

где 1,15 — коэффициент, который характеризует не учтенные расходы тепла на прогрев камеры, транспортных средств, оборудования и пр.

**Вид теплоносителя.** Теплоносителем в сушильных камерах могут служить горячая вода, водяной насыщенный пар, электроэнергия и топочные газы. Выбор теплоносителя обусловлен не

только наличием источника энергоснабжения, но и рядом экономических соображений (ценами на тот или иной вид энергии, лимитами на топливо, стоимостью теплогенерирующего оборудования и т. п.). В некоторых случаях этот выбор определяется технологическими требованиями к проведению процесса сушки.

Преимущественно в системах теплоснабжения лесосушильных камер в настоящее время используется горячая вода. Водяной пар применяется значительно реже (при наличии паровой котельной на предприятии). Еще реже теплоносителем служит электроэнергия по причине ее высокой стоимости. Сушка пиломатериалов непосредственно топочными газами (газовые сушилки) практически не применяется.

Тип и марка calorифера выбираются при разработке конструктивной схемы сушильной камеры. Для камер с вертикально-поперечной циркуляцией можно рекомендовать calorиферы базовой серии ТБЗ (теплоноситель — горячая вода) или КПЗ-Ск (водяной пар). В камерах с горизонтально-поперечной циркуляцией, имеющих ограниченное пространство для размещения технологического оборудования (calorиферов, вентиляторов и др.) и камерах непрерывного действия следует монтировать водяные calorиферы серии КСкЗ(4) или паровые КПЗ(4)-Ск.

При предварительном определении числа calorиферов следует стремиться к тому, чтобы площадь, занимаемая calorиферами (с учетом монтажных зазоров), была близка к площади поперечного сечения циркуляционного канала. В местах подсоединения выходных патрубков calorиферов к распределительным трубам ширина монтажного зазора должна быть не менее 250 мм. Размеры других зазоров устанавливаются исходя из возможности проведения монтажных работ и обслуживания calorиферов. Следует для обеспечения минимального аэродинамического сопротивления по возможности устанавливать calorиферы по ходу движения сушильного агента в один ряд.

После того, как выбрана марка calorиферов и предварительно установлено их число, производится расчет его коэффициента теплопередачи  $K$  по рекомендациям, которые даны в табл. 6.3 (§ 30).

Для этого предварительно определяется площадь фронтального сечения  $f_{\text{фр}}$ , свободная для прохода циркулирующего воздуха. В том случае когда монтажные зазоры перекрываются специальными экранами,

$$f_{\text{фр}} = \sum_{i=1}^n f_{\text{фр},i}, \quad (18.31)$$

где  $f_{\text{фр},i}$  — площадь фронтального сечения одного calorифера; находится в таблицах технических характеристик calorиферов (для calorиферов серии ТБЗ в табл. 6.2);

$n$  — число calorиферов в ряду.

При отсутствии экранов (наиболее распространенный случай) за площадь  $f_{\text{фр}}$  принимается габаритная площадь поперечного сечения циркуляционного канала.

Массовая скорость  $(\omega_p)_{\text{фр}}$ , кг/(м<sup>2</sup>с), равна

$$(\omega_p)_{\text{фр}} = \frac{V_p \rho_1}{3600 f_{\text{фр}}}. \quad (18.32)$$

Массовая скорость сушильного агента может находиться в пределах 2...7 кг/(м<sup>2</sup>с).

При применении водяных calorиферов следует, кроме того, установить скорость циркуляции  $\omega_{\text{вод}}$ , м/с, в них воды. Рекомендуемые скорости находятся в пределах 0,4...0,8 м/с.

Расчетная поверхность нагрева calorиферов  $F_{\text{квл}}$ , м<sup>2</sup>, определяется по выражению

$$F_{\text{квл}} = k_f \frac{Q_{\text{квл}}}{0,001 \cdot K \cdot \Delta t}, \quad (18.33)$$

где  $k_f$  — коэффициент запаса площади, характеризующий термические сопротивления загрязнений на наружной и внутренней поверхности труб, не учтенные течения сушильного агента через монтажные зазоры, колебания температуры теплоносителя; его величина составляет 1,2...1,3.

$\Delta t$  — температурный напор; в зависимости от вида теплоносителя рассчитывается по выражениям (6.19) или (6.20).

Требуемое количество calorиферов  $n$  в камере:

$$n = \frac{F_{\text{квл}}}{F}, \quad (18.34)$$

где  $F$  — поверхность нагрева одного calorифера; находится в таблице технической характеристики calorифера.

Если полученное значение  $n$  не соответствует выбранному ранее количеству, то процедуру подбора повторяют, выбирая иную модель или номер calorифера.

Теплоснабжение сушильной камеры, сушильного цеха. В данном учебном пособии рассматривается использование двух видов теплоносителей: горячей воды и водяного пара.

Теплоноситель — горячая вода. Горячая вода как теплоноситель получила последнее время очень широкое распространение в деревообрабатывающей промышленности. Источником ее получения являются водяные котлы, работающие на отходах деревообрабатывающих производств. Эти котлы просты в устройстве и управлении, отличаются высоким уровнем механизации, имеют относительно невысокую стоимость (по сравнению с паровыми), не подлежат регистрации в государственных органах. Кроме того, горячая вода более удобна для применения в системах автоматического регулирования (САР) процессов сушки.

Разработка системы теплоснабжения проводится в следующем порядке: а) составляется схема теплоснабжения камеры и сушильного цеха; б) определяется тепловая мощность сушильного цеха; в) рассчитываются диаметры трубопроводов и расход воды, которая циркулирует в системе.

Схема теплоснабжения сушильного цеха включает схемы монтажа caloriferов к камере и системы управления (места расположения вентилей, гидроклапанов САР), подсоединения магистральных труб подачи воды к камерам и отвода от них.

Тепловая мощность сушильного цеха  $N_{цех}$ , кВт:

$$N_{цех} = 1,2 \cdot Q_{кал} n_k, \quad (18.35)$$

где 1,2 — коэффициент; учитываются дополнительные затраты тепловой энергии на нагрев бытовых помещений, коридора управления, склада сухих пиломатериалов.

Более точно дополнительные затраты энергии  $Q_{доп}$ , кВт, могут быть подсчитаны по выражению:

$$Q_{доп} = 0,02 \cdot V_{пом}, \quad (18.36)$$

где 0,02 — средние удельные затраты в зимний период энергии на 1 м<sup>3</sup> объема помещения, кВт/м<sup>3</sup>;

$V_{пом}$  — объем помещений, м<sup>3</sup>.

**Расчет диаметров трубопроводов.** Первоначально рассчитываем расход воды  $W_k$ , м<sup>3</sup>/час, проходящей через caloriferы одной камеры:

$$W_k = \omega_{вкл} f_n n, \quad (18.37)$$

где  $f_n$  — площадь сечения для прохода теплоносителя в calorифере; берется в табл. 6.2, Приложениях 3 и 4 (в зависимости от типа calorифера);

$\omega_{вкл} = 0,4 \dots 0,8$  м/с — скорость движения воды через сечение  $f_n$ .

Трубы подвода и отвода воды, к которым подключены calorиферы в камере, имеют одинаковый диаметр. Диаметр  $D_k$ , мм, этих труб равен

$$D_k = 1000 \sqrt{1,27 \frac{W_k}{\omega_{вкл,k}}}, \quad (18.38)$$

где  $\omega_{вкл,k}$  — скорость движения воды в трубах; принимается равной 1,0...1,5 м/с.

Трубы этого диаметра выходят из камеры в коридор управления. На подводящей трубе монтируется управляющий вентиль, снабженный исполнительным механизмом САР. На отводящей трубе устанавливается вентиль ручного управления. Должны быть предусмотрены вентили для слива воды из системы.

Секундный расход воды  $W_m$ , м<sup>3</sup>/с, в магистральных трубах при числе камер  $n_k$

$$W_m = W_k n_k. \quad (18.39)$$

Диаметр  $D_m$ , мм, магистральных труб, подводящих (отводящих) воду к камерам

$$D_m = 1000 \sqrt{1,27 \frac{W_m}{\omega_{вкл,m}}}. \quad (18.40)$$

где  $\omega_{вкл,m}$  — скорость движения воды в магистральной трубе 1,5—2 м/с.

Полученные расчетом диаметры труб округляются в большую сторону до величины  $D_k$ , мм (условный проход), регламентированной стандартам (ГОСТ 10704—76). Размеры труб приведены в табл. 6.4.

Пример схемы теплоснабжения сушильной камеры периодического действия приведен на рис. 7.7 (§ 33).

Теплоноситель — водяной пар. Расчеты ведутся в той же последовательности, что и в предыдущем случае. После составления схемы теплоснабжения рассчитывается тепловая мощность сушильного цеха и расход водяного пара.

Расчет ведется для зимних условий. Тепловая мощность сушильного цеха  $N_{цех}$ , кВт, равна

$$N_{цех} = 1,2(Q_{кал} n_{к,с} + Q_{пр} n_{к,пр}), \quad (18.41)$$

где  $n_{к,с}$ ,  $n_{к,пр}$  — число камер в цехе, находящихся одновременно под сушкой и под прогревом; соотношение  $n_{к,с}/n_{к,пр} = 5 \dots 7$ ;

$Q_{пр}$  — тепловая мощность камеры в период прогрева (18.21).

Часовой расход водяного пара для одной камеры в период сушки  $A_c$ , кг/ч, в период прогрева  $A_{пр}$ , кг/ч и для сушильного цеха  $A_{цех}$ , кг/ч:

$$A_c = \frac{3600 \cdot Q_c}{i_n}; \quad (18.42)$$

$$A_{пр} = \frac{3600 \cdot Q_{пр}}{i_n}; \quad (18.43)$$

$$A_{цех} = \frac{3600 \cdot N_{цех}}{i_n}, \quad (18.44)$$

где  $i_n$  — теплота парообразования; при давлении пара 0,2...0,3 МПа, в среднем можно принять равной 2200 кДж/кг.

Расход пара, проходящего через увлажнительные трубы при прогреве  $A_{ултпр}$ , кг/ч, с учетом того, что в калориферы также подается водяной пар:

$$A_{ултпр} = A_{пр} - A_c \quad (18.45)$$

Расход пара на 1 м<sup>3</sup> расчетного материала  $A_{м^3}$ , кг/м<sup>3</sup>:

$$A_{м^3} = \frac{q_{суш} \cdot M_{м^3}}{i_n} \quad (18.46)$$

Ориентировочно расход пара на годовую программу в условном материале  $A_{год}$ , т/год, будет равен

$$A_{год} = 0,001 \cdot A_{м^3} \cdot Y \cdot k_r, \quad (18.47)$$

где  $k_r$  — коэффициент, учитывающий увеличение расхода пара на компенсацию тепловых потерь при сушке условного материала по сравнению с расчетным; ориентировочно он равен 1,2 [23].

Диаметр магистрального паропровода, а также диаметры паропроводящих труб к калориферам и увлажнительным трубам —  $D$ , мм, определяются по формуле

$$D = 1000 \sqrt{1,27 \frac{A}{3600 \rho_n \omega_n}}, \quad (18.48)$$

где  $A$  — часовой расход пара для соответствующей трубы;

$\rho_n$  — плотность пара; при давлении пара 0,2...0,3 МПа в среднем равна 1,35 кг/м<sup>3</sup>;

$\omega_n$  — скорость движения пара в паропроводе; при диаметре  $D_y \leq 50$  мм —  $\omega_n = 25...30$  м/с, для магистральных паропроводов  $D_y \geq 65$  мм — 40...50 м/с.

Для труб, по которым удаляется конденсат, используется формула (18.48), в которую подставляется плотность конденсата  $\rho_{кон} = 950...960$  кг/м<sup>3</sup>, а скорость движения конденсата  $\omega_{кон}$  принимается равной 0,5...1,0 м/с. Схемы подключения конденсатоотводчиков и рекомендации по их применению содержатся в литературе [10, 19, 23, 31].

## § 74. Аэродинамический расчет сушилки

Целями аэродинамического расчета сушильной камеры являются:

- разработка схемы циркуляции сушильного агента в камере;
- определение количества циркулирующего агента;
- выбор класса и типа циркуляционного вентилятора, а также расчет его параметров.

Все перечисленные цели расчета, кроме последней, достигнуты ранее при выборе типа сушильной камеры (класс вентилятора и схема циркуляции) и в тепловом расчете (количество циркулирующего агента сушилки).

Задача аэродинамического расчета сводится, таким образом, к выбору типа и расчету основных параметров циркуляционного вентилятора, а именно, его марки, номера, производительности и развиваемого давления, КПД, а также мощности привода.

**Выбор типа и марки вентилятора.** Современные камеры должны снабжаться вентиляторами, которые вместе с электродвигателями находятся внутри сушильной камеры. Такие вентиляторы, рассчитанные на условия эксплуатации при температуре до 120 °С, выпускаются отечественными и зарубежными фирмами.

Число вентиляторов  $m$  в камере определяется соответствии с принятой конструктивной схемой по рекомендациям, данным в § 33, 34.

Производительность одного вентилятора  $V_{вент}$ , м<sup>3</sup>/ч,

$$V_{вент} = \frac{V_p}{m} \quad (18.49)$$

Далее устанавливается предварительно номер вентилятора по его максимальной производительности и его габаритные размеры. Например, при выборе осевого вентилятора серии FTDA — по данным табл. 6.5 (§ 31). Затем уточняются соответствующие размеры циркуляционного канала.

Давление, развиваемое вентилятором. Для уточнения номера вентилятора и определения остальных его характеристик требуется рассчитать давление,  $P_{\text{вент}}$ , Па, развиваемое вентилятором.

Камеры имеют замкнутое кольцо циркуляции. Это означает, что давление  $P_{\text{вент}}$ , Па, создаваемое вентилятором, определяется только аэродинамическим сопротивлением системы. Это сопротивление равно сумме сопротивлений прямолинейных участков каналов, местных сопротивлений, которыми являются штабеля, калориферы, изменения площадей поперечного сечения каналов, изменения направления движения сушильного агента.

$$P_{\text{вент}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (18.50)$$

где  $\Delta P_i$  — падение давления на  $i$ -м участке аэродинамического сопротивления.

В свою очередь,  $\Delta P_i$ , Па, равно

$$\Delta P_i = \xi_i \frac{\rho_1 \omega_i^2}{2}, \quad (18.51)$$

где  $\xi_i$  — коэффициент местного сопротивления;

$\omega_i$  — расчетная скорость на участке местного сопротивления.

На прямолинейном участке коэффициент сопротивления

$$\xi_{\text{прл}} = \frac{k l P}{4 f}, \quad (18.52)$$

где  $k$  — коэффициент трения;

$l$  — длина участка, м;

$P$  — периметр участка, м;

$f$  — площадь сечения канала, перпендикулярного движению агента сушки, м<sup>2</sup>.

Величину коэффициента трения  $k$  принимают равной: для кирпичных неоштукатуренных каналов — 0,04; для оштукатуренных каналов — 0,03; для металлических каналов — 0,016.

Значения коэффициентов местных сопротивлений на участках кольца циркуляции воздуха приведены ниже.

При повороте потока без закругления  $\xi_{\text{пов}}$

Угол поворота в градусах .....	90	120	135	150
Коэффициент $\xi_{\text{пов}}$ .....	1,10	0,55	0,25	0,20

При повороте потока с закруглением (радиус  $R$ ) на 90° для круглой (диаметр  $D$ ) или квадратной ( $b \times b$ ) трубы.

$R/D (R/b)$ .....	0,75	1	1,25	1,5	1,2
Коэффициент $\xi_{\text{зак}}$ .....	0,5	0,25	0,2	0,175	0,15

Для трубы прямоугольного сечения  $b \times h$  величину  $\xi_{\text{зак}}$  принимают, как у квадратной трубы, по отношению  $R/b$ , а затем умножают на коэффициент  $\eta$ , величина которого зависит от соотношения  $b/h$ .

$b/h$ .....	0,25	0,50	0,66	0,80	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
$\eta$ .....	1,80	1,50	1,30	1,17	1,00	0,80	0,67	0,56	0,46	0,40	0,37

Внезапное сужение  $\xi_{\text{суж}}$  потока.

$f/F$ .....	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\xi_{\text{суж}}$ .....	0,29	0,25	0,18	0,13	0,08	0,04	0,01	0

Внезапное расширение  $\xi_{\text{расш}}$  потока.

$f/F$ .....	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\xi_{\text{расш}}$ .....	1,0	0,81	0,64	0,48	0,36	0,25	0,16	0,1	0,05	0,01

Коэффициент сопротивления штабеля,  $\xi_{\text{шт}}$ , уложенного на прокладках без шпаций, определяется по графику, представленному на рис. 18.1, в зависимости от толщины пиломатериалов, ширины штабеля и толщины прокладок.

Расчетная скорость  $\omega_p$ , м/с, на участках местных сопротивлений (кроме штабеля):

$$\omega_p = \frac{V_p}{3600 F_{\text{мин}}}, \quad (18.53)$$

где  $F_{\text{мин}}$  — минимальная площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>, на расчетном участке местного сопротивления.

Для штабеля за расчетную скорость принимается скорость движения воздуха  $\omega_{\text{шт}}$ , м/с, перед входом в штабель, т. е. в габаритном продольном сечении штабеля (см. формулу (18.13)).

$$\omega_{\text{шт}} = \frac{V_{\text{шт}}}{3600 F_{\text{шт}}}. \quad (18.54)$$

Для калориферов величина аэродинамического сопротивления (потеря давления)  $\Delta P_p$ , Па, рассчитывается непосредственно по формулам, приведенным в табл. 18.3.

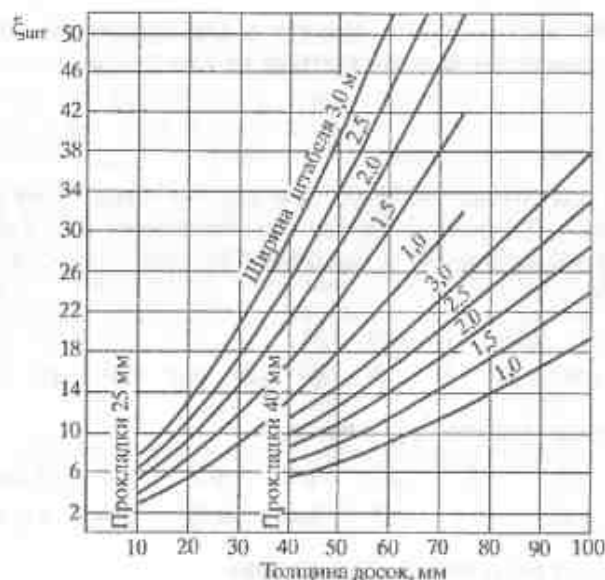


Рис. 18.1. График для определения коэффициента сопротивления штабеля  $\xi_{шт}$  при поперечной циркуляции сушильного агента

Таблица 18.3. Аэродинамическое сопротивление caloriferов

Марка calorифера, теплообменника	$\Delta P_a$ , Па
КПСкЗ... Ск-01УЗ	$6,05(\omega p)_{\text{оп}}^{1,212}$
КПСк4... Ск-01УЗ	$8,63(\omega p)_{\text{оп}}^{1,212}$
КСкЗ...02ХЛЗБ	$6,05(\omega p)_{\text{оп}}^{1,212}$
КСк4...02ХЛЗБ	$8,63(\omega p)_{\text{оп}}^{1,212}$
ТБЗ-10	$1,96(\omega p)_{\text{оп}}^{1,093}$
ТБЗ-15	$3,27(\omega p)_{\text{оп}}^{1,093}$
ТБЗ-20	$4,94(\omega p)_{\text{оп}}^{1,093}$

Для расчета давления, создаваемого вентилятором должна быть составлена аэродинамическая схема кольца циркуляции в камере с указанием местных сопротивлений. В качестве примера на рис. 18.2 приведена схема для камеры с вертикально-поперечной циркуляцией сушильного агента, где условными обозначениями и номерами отмечены участки аэродинамических сопро-

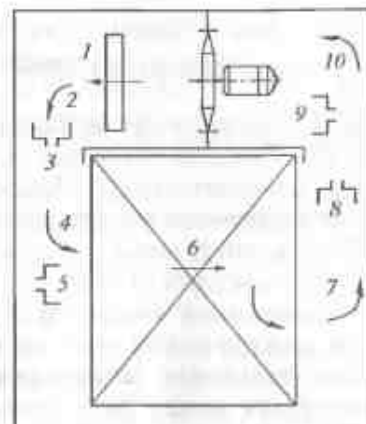


Рис. 18.2. Аэродинамическая схема сушильной камеры: 1...10 — участки местных сопротивлений; 1 — calorifer; 2, 4, 7, 10 — повороты потока на 90°; 3, 8 — сужение потока; 5, 10 — расширение потока; 6 — штабель

тивлений. Размеры каналов устанавливаются в соответствии с конструктивной схемой камеры. Расчеты целесообразно сводить в таблицу, форма которой приведена в табл. ПЗ.6 Приложения 3.

Характеристики вентиляторов составлены для воздуха при стандартных условиях ( $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ). Поэтому расчетное давление  $P_p$  пересчитывают в характеристическое давление  $P_{\text{хар}}$ , Па, используя отношение

$$P_{\text{хар}} = \frac{1,2 P_{\text{расч}}}{\rho_1} \quad (18.55)$$

Если характеристическое давление не превышает максимальное давление, развиваемое выбранным вентилятором, то допустимо принять для установки в камере ранее выбранный вентилятор.

Более точный выбор производится по индивидуальным характеристикам вентиляторов, приведенным в каталогах предприятий, выпускающих вентиляторы. В частности, каталог ЗАО «ЛАДА-ФЛЕКТ» содержит индивидуальные характеристики вентиляторов, отличающихся по номеру, по числу лопаток вентилятора и частоте вращения электродвигателя (пример приведен на рис. 6.15). Тогда по расчетной производительности вентилятора  $V_{\text{вент}}$  и характеристическому давлению  $P_{\text{хар}}$  находится индивидуальная характеристика того вентилятора, который обеспечивает для данных параметров наименьшую мощность установленного электродвигателя. По полученной рабочей точке на характери-

стике далее определяется угол установки лопаток вентилятора —  $\alpha$ , КПД вентилятора —  $\eta_{\text{вент}}$ , уточняется установленная мощность электродвигателя —  $N_{\text{эл}}$ .

Точка на характеристике может не совпадать с нанесенными на график кривыми. Фактические значения  $\alpha$ ,  $\eta_{\text{вент}}$  и  $N_{\text{эл}}$  могут быть получены методом интерполяции. Мощность установленного электродвигателя выбирается по кривой, лежащей над полученной точкой. Расхождение между положениями точки и кривой мощности свидетельствует о том, что требуемая мощность  $N_{\text{вент}}$  меньше установленной мощности  $N_{\text{эл}}$  электродвигателя. В целях экономии электрической энергии в этом случае рекомендуется установка частотных регуляторов числа оборотов электродвигателя. Экономия может быть весьма существенной, поскольку снижение числа оборотов электродвигателя (при той же производительности и давлении) уменьшает потребление электроэнергии в кубичной зависимости.

Если при уточнении параметров вентилятора окажется, что более рациональна установка вентилятора другого номера (по сравнению с выбранным предварительно), то следует внести соответствующие изменения высоты (ширины) циркуляционного канала (если это не повлечет изменение схемы монтажа калориферов). Потребуется, кроме того, сделать пересчет давления, развиваемого вентилятором.

Пример технологического, теплового и аэродинамического расчета сушильной камеры приведен в Приложении 3.

### Контрольные вопросы

1. Какие направления различают при проектировании установок для гидротермической обработки древесины?
2. Какими документами следует руководствоваться при проектировании установок?
3. Какие данные должно содержать задание на проектирование?
4. Какие материалы должен содержать проект установки для гидротермической обработки древесины?
5. Какие вопросы решаются в технологическом расчете?
6. Назовите цели теплового расчета установки.
7. Назовите цели аэродинамического расчета.

## Глава 19 ЭКОНОМИКА ПРОЦЕССОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

### § 75. Техничко-экономические показатели работы установок гидротермической обработки древесины

Техничко-экономические показатели установок, участков или цехов гидротермической обработки древесины определяются при проведении заводских испытаний. Предварительные их значения выявляются в процессе проектирования. К основным показателям относятся:

- размеры и вместимость установки;
- производительность, выражаемая обычно в кубических метрах древесины (при сушке пиломатериалов и заготовок — в кубических метрах условного материала);
- суммарные капитальные затраты (отдельно на строительные сооружения и оборудование) на установку и на  $1 \text{ м}^3$  ее годовой производительности;
- характеристики нагревательных устройств (тип, тепловая мощность, поверхность нагрева);
- характеристики циркуляционных устройств (тип и число вентиляторов, их напор, производительность, мощность);
- характеристики пропиточного оборудования;
- удельный расход тепловой энергии, топлива или пара (на  $1 \text{ м}^3$  обработанного материала или на  $1 \text{ кг}$  испаряемой воды);
- удельный расход электроэнергии;
- себестоимость обработки.

При испытаниях, кроме того, определяются некоторые дополнительные показатели, специфичные для установки данного

назначения. Например, для лесосушильных камер — показатели интенсивности и равномерности циркуляции сушильного агента (средняя скорость, ее разброс по объему штабеля, коэффициент использования воздушного потока), показатели качества сушки, сортность пиломатериалов до и после сушки.

Рассмотрение методики испытаний всех типов установок гидротермической обработки древесины в рамках настоящего учебного пособия не представляется возможным ввиду их большого разнообразия. Поэтому ограничимся рассмотрением в качестве примера методики, по которой испытываются сушильные камеры пиломатериалов.

**Методика испытаний сушильной камеры.** При испытаниях определяются технологические, технические, энергетические и экономические показатели работы камеры, которые целесообразно представить в табличной форме (табл. 19.1).

Таблица 19.1. Показатели работы сушильной камеры

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения
<b>Технологические показатели</b>		
1	Внутренние размеры камеры	м
	длина	
	ширина	
2	Внутренний объем камеры	м <sup>3</sup>
	длина	
	ширина	
3	Размеры штабеля	м
	длина	
	ширина	
4	Габаритный объем штабеля	м <sup>3</sup>
	длина	
	ширина	
5	Вместимость камеры в условном материале	м <sup>3</sup> усл.
	длина	
	ширина	
6	Коэффициент полезного использования внутреннего объема камеры	%
	длина	
	ширина	
<b>Технико-энергетические показатели</b>		
7	Тип теплообменников	
8	Поверхность нагрева теплообменников	м <sup>2</sup>

Продолжение табл. 19.1

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения
9	Удельная поверхность нагрева калориферов (на 1 м <sup>3</sup> усл. материала)	м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> усл.
10	Температура теплоносителя	°С
11	Вид теплоносителя	
12	Тепловая мощность камеры (максимальная)	кВт
13	Удельная тепловая мощность, максимальная (на 1 м <sup>3</sup> усл. материала)	кВт/м <sup>3</sup> усл.
14	Тип циркуляционных вентиляторов, их номер	
15	Количество установленных вентиляторов	шт.
16	Мощность установленных вентиляторов	кВт
16	Объем циркулирующего агента сушки (по характеристикам вентиляторов)	м <sup>3</sup> /ч
17	Объем циркулирующего воздуха в камере (фактический)	м <sup>3</sup> /ч
18	Скорость движения сушильного агента в штабеле, м/с	
19	Коэффициент использования воздушного потока	
20	Удельная мощность системы циркуляции (на 1 м <sup>3</sup> условного материала)	кВт/м <sup>3</sup> усл.
<b>Показатели качества сушки</b>		
21	Средняя конечная влажность пиломатериалов в штабеле	%
22	Среднее квадратическое отклонение влажности	%
23	Перепад влажности по толщине материала	%
24	Показатель остаточных деформаций	%
25	Пересортица	%
26	Брак	%

Окончание табл. 19.1

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения
<b>Экономические показатели</b>		
27	Годовая производительность камеры в условном материале	м <sup>3</sup> усл./г.
28	Удельный расход тепловой энергии на 1 м <sup>3</sup> условного материала	кВт · ч/м <sup>3</sup> усл.
29	Удельный расход электроэнергии на 1 м <sup>3</sup> условного материала	кВт · ч/м <sup>3</sup> усл.
30	Цена камеры $C_c$ или сметная стоимость строительства	тыс. руб. или тыс. у. е.
31	Удельная цена камеры $C_{к,ул}$ (отнесенная к м <sup>3</sup> вместимости камеры в условном материале)	руб./м <sup>3</sup>
32	Приведенная удельная цена камеры (отнесенная к производительности камеры в усл. материале)	руб./м <sup>3</sup>
33	Уровень автоматизации	

Первоначально проводятся **подготовительные работы**. На этом этапе устанавливается исправность сушильной камеры. Путем пробного кратковременного пуска проверяется работоспособность систем циркуляции и нагревания сушильного агента в камере, приточно-вытяжных каналов, приборов контроля и регулирования. Подготавливаются измерительные устройства и приборы, необходимые для проведения испытаний. Для опытных сушек желательны сосновые пиломатериалы толщиной 40 мм (соответствующие условному материалу). Однако они могут проводиться на любом пиломатериале с последующим пересчетом полученных показателей на условный материал.

**Натурные испытания** проводятся в такой последовательности:

- устанавливаются тип камеры и ее конструктивная схема;
- изучаются устройство ограждений и двери камеры, системы циркуляции сушильного агента, теплоснабжения, приточно-вытяжных каналов, системы увлажнения, системы автоматического контроля и регулирования;
- производятся измерения внутренних размеров камеры: ее длины, ширины и высоты, дверного проема, технологиче-

ского отсека, габаритов штабеля (длины, ширины, высоты), высоты транспортной тележки или подштабельного основания;

- устанавливается вид теплоснабжения камеры, изучается конструкция теплообменников, системы подачи теплоносителя;
- при водяном теплоснабжении измеряются расход воды с помощью счетчика расхода, установленного на подводящем трубопроводе, и температура воды на входе в калориферы и выходе из них;
- при использовании пара его расход устанавливается дроссельными расходомерами с регистрирующим устройством;
- при электрическом теплоснабжении для определения расхода используются трехфазные счетчики;
- устанавливается класс вентилятора, определяется его номер, замеряются диаметры шкивов привода вентилятора при наличии клиноременной передачи;
- выписываются приведенные в паспортных данных электродвигателя, его мощность и частота вращения;
- при работающих вентиляторах измеряется напряжение, подаваемое на обмотки электродвигателя, сила тока и расход электроэнергии;
- измеряются диаметры приточного и вытяжного каналов;
- снимаются характеристики системы увлажнения с указанием диаметра трубы, характеристики форсунок, системы подачи воды в форсунки;
- указываются типы системы САР, измерителя-регулятора температуры, его марка, тип и марка термопреобразователей, тип и марка исполнительных механизмов.

**Расчетные показатели** устанавливаются следующим образом.

Вместимость камеры в условном материале  $E_{усл}$ , м<sup>3</sup>, рассчитывается по уравнению (7.1 и 10.4) с учетом результатов проведенных замеров.

Внутренний объем камеры  $V_{квн}$ , м<sup>3</sup>, включая технологический отсек, определяется по выражению

$$V_{квн} = B_{квн} H_{квн} L_{квн}. \quad (19.1)$$

Коэффициент заполнения внутреннего объема камеры пиломатериалами равен

$$K_v = E_{усл} / V_{квн}. \quad (19.2)$$

Расчет максимальной тепловой мощности камеры  $Q_{с, \max}$ , кВт, производится по данным, полученным в период сушки на первой ступени режима, по следующим выражениям:

- для водяного теплоносителя

$$Q_{с, \max} = V_n \rho_n c_n (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) / 3600, \quad (19.3)$$

где  $V_n$  — объемный расход воды, м<sup>3</sup>/с;

$\rho_n$  — плотность воды, принимаемая равной 1000 кг/м<sup>3</sup>;

$c_n$  — удельная теплоемкость воды, 4,19 кДж/(кг °С);

$t_{\text{вх}}, t_{\text{вых}}$  — температура воды на входе и выходе из калориферов камеры, °С;

- для технологического пара

$$Q_{с, \max} = G_{\text{п}} (i_{\text{п}} - i_{\text{кон}}) / 3600, \quad (19.4)$$

где  $G_{\text{п}}$  и  $i_{\text{п}}$  — массовый расход, кг/с, и энтальпия, кДж/кг, пара;

$i_{\text{кон}}$  — энтальпия конденсата, кДж/кг;

- для электроэнергии

$$Q_{с, \max} = A_{\text{ч}}, \quad (19.5)$$

где  $A_{\text{ч}}$  — часовой расход электроэнергии по счетчику, кВт · ч/ч.

Удельная тепловая мощность (максимальная)  $Q_{\text{уд, макс}}$ , кВт/м<sup>3</sup> условного материала:

$$Q_{\text{уд, макс}} = Q_{с, \max} / E_{\text{усл}}, \quad (19.6)$$

Объем циркулирующего воздуха определяется на не загруженной материалом камере при работающих вентиляторах следующим образом. Анемометром измеряется скорость движения воздуха (§ 12) не менее чем в 12 точках циркуляционного канала либо канала образованного боковой стеной камеры и поперечным или горизонтальным экраном, который отделяет сушильное пространство камеры от технологического отсека. Далее замеряются размеры поперечного сечения этого канала и рассчитывается объем циркулирующего воздуха  $V_{\text{шпр}}$ , м<sup>3</sup>/ч, по выражению

$$V_{\text{шпр}} = 3600 F_k \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{n}, \quad (19.7)$$

где  $\omega_i$  — скорость движения воздуха в  $i$  точке, м/с;

$n$  — число точек замера;

$F_k$  — площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>.

Скорость движения воздуха в штабеле  $\omega_{\text{шт}}$ , загруженном в камеру, измеряется анемометром с диффузором (§ 12) не менее чем в 12 его точках, равномерно распределенным по продольному сечению штабеля. Далее рассчитывается средняя скорость движения воздуха  $\omega_{\text{ср}}$ , м/с,

$$\omega_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^m \frac{\omega_{j, \text{шт}}}{m} \quad (19.8)$$

и далее отклонения от средней скорости  $\Delta\omega_{\text{ср}}$ , м/с,

$$\Delta\omega_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^m \frac{\omega_j - \omega_{\text{ср}}}{m}. \quad (19.9)$$

Объем циркулирующего воздуха в штабеле  $V_{\text{шт}}$  рассчитывается по выражению

$$V_{\text{шт}} = \omega_{\text{ср}} F_{\text{ж.с}}, \quad (19.10)$$

где  $F_{\text{ж.с}}$  — площадь продольного сечения штабеля, свободная для прохода воздуха, м<sup>2</sup>.

В свою очередь,

$$F_{\text{ж.с}} = L_{\text{шт}} H_{\text{шт}} (1 - \beta_{\text{в}} \beta_{\text{д}}), \quad (19.11)$$

где  $L_{\text{шт}}, H_{\text{шт}}$  — длина и ширина штабеля, соответственно;

$\beta_{\text{в}}$  — коэффициент заполнения штабеля по высоте (§ 32);

$\beta_{\text{д}}$  — коэффициент заполнения штабеля по длине (§ 32).

Коэффициент полезного использования воздушного потока  $\mu$  определяется по отношению

$$\mu = V_{\text{шт}} / V_{\text{шпр}}, \quad (19.12)$$

Удельная электрическая мощность привода вентилятора  $N_{\text{эл, шт}}$  в кВт на 1 м<sup>3</sup> условного материала

$$N_{\text{эл, шт}} = N_{\text{фак}} / E_{\text{усл}}, \quad (19.13)$$

где  $N_{\text{фак}}$  — часовой расход электроэнергии на привод вентиляторов по показаниям счетчика, кВт · ч/ч.

Годовая производительность камеры в условном материале  $\Pi_{\text{усл}}$ , м<sup>3</sup> усл./г,

$$\Pi_{\text{усл}} = 335 \cdot E_{\text{усл}} / \tau_{\text{об, усл, ф}}, \quad (19.14)$$

где  $\tau_{\text{об, усл, ф}}$  — приведенная продолжительность сушки условных пилломатериалов, сутки, включая время загрузки и разгрузки ка-

меры материалом, установленная по фактической продолжительности процесса в опытных сушках.

Расход тепловой энергии на сушку  $1 \text{ м}^3$  условного материала  $Q_{\text{тпн}}$ , кВт · ч/м<sup>3</sup> усл., устанавливается для одного оборота камеры. При опытной сушке пиломатериалов по характеристикам, соответствующим условному материалу, расход подсчитывается по выражению

$$Q_{\text{тпн}} = 24 \cdot \bar{Q}_c \tau_{\text{об, усл. ф}}, \quad (19.15)$$

где  $\bar{Q}_c$  — усредненная тепловая мощность сушилки за время собственно сушки в обороте камеры.

Удельный расход тепловой энергии на сушку  $Q_{\text{уд, тпн}}$ , кВт · ч/м<sup>3</sup> усл.,

$$Q_{\text{уд, тпн}} = Q_{\text{тпн}} / E_{\text{усл.}}, \quad (19.16)$$

Электроэнергия на сушку затрачивается в основном на привод циркуляционных вентиляторов. Расход электроэнергии на САР незначительны, они могут учитываться в некоем коэффициенте, характеризующем неучтенные затраты. Тогда удельный расход электроэнергии на сушку, отнесенный на  $1 \text{ м}^3$  условного материала  $A_{\text{уп}}$ , кВт · ч/м<sup>3</sup> усл., рассчитывается по отношению

$$A_{\text{уп}} = A_{\text{об}} / E_{\text{усл.}}, \quad (19.17)$$

где  $A_{\text{об}}$  — расход электроэнергии на сушку по показаниям счетчика за один оборот сушилки.

Цена покупной сушильной камеры устанавливается по прайс-листам фирм изготовителей. При расчетах общих затрат необходимо включить средства, которые израсходованы на подготовительные строительные работы, доставку, монтаж и пуско-наладочные работы.

При оценке стоимости конвективных сушилок заводского изготовления (импортных и отечественных) предприниматели ориентируются на удельную цену  $\Pi_{\text{к, уд}}$ , тыс. руб./м<sup>3</sup>, под которой понимается отношение их полной стоимости  $\Pi_{\text{к}}$  к вместимости  $E$ . Эта цена, в зависимости от фирмы-производителя, колеблется в пределах 40,0...60,0 тыс. руб./м<sup>3</sup> (цены 2008—2009 гг.). При строительстве стационарных камер затраты оказываются существенно ниже. Их удельная цена составляет  $\Pi_{\text{к, уд}} = 20,0...30,0$  тыс. руб./м<sup>3</sup>, причем удельная стоимость технологического оборудования  $\Pi_{\text{т, о, уд}}$  (калориферов, вентиляторов и пр.) и систем автоматики равна 25...35 % от  $\Pi_{\text{к, уд}}$ .

Показатели, характеризующие качество сушки, определяются в соответствии с методикой, которая рассмотрена в § 43. Нормативные показатели качества сушки приведены в табл. 9.11.

## § 76. Себестоимость сушки древесины

Себестоимость обработки является важнейшим показателем работы цеха или участка тепловой обработки и сушки древесины. Правильный учет расходов и отнесение их к различным статьям необходим для экономического анализа результатов как деятельности данного участка производства, так и предприятия в целом.

При составлении калькуляции себестоимости возникает необходимость разнесения расходов цеха или участка за определенный период (например, за месяц или квартал) на обработку тех или иных партий материала в соответствии с действительными затратами. Приблизительно это может быть сделано путем учета суммарных расходов цеха за отчетный период и соответствующей разбивки этих расходов по партиям однородного материала.

Рассмотрим методику расчета на примере сушильного цеха. Полные расходы цеха  $\Sigma Z_{\text{цех}}$  можно разделить на три группы:

I группа — зарплата рабочих, занятых на транспортных работах  $\Sigma Z_1$ ; эта группа расходов пропорциональна объему высушенной древесины, но не зависит от продолжительности процесса сушки.

II группа — затраты на топливо или пар  $\Sigma Z_2$ ; эти расходы частично зависят от объема древесины (расход тепловой энергии на нагревание древесины и испарение влаги) и частично — от продолжительности сушки (тепловые потери через ограждения).

III группа — зарплата операторов и служащих, расходы на электроэнергию, амортизация оборудования, цеховые и общезаводские расходы  $\Sigma Z_3$ ; эти затраты пропорциональны продолжительности сушки и не зависят от объема.

Приблизительно можно считать, что 50 % расходов II группы зависит от объема древесины. Это позволяет определить частичную себестоимость  $C_V$  сушки по затратам, пропорциональным объему высушенной древесины:

$$C_V = (\Sigma Z_1 + 0,5 \Sigma Z_2) / \Sigma P_{\text{ф}}, \quad (19.18)$$

где  $\Sigma P_{\text{ф}}$  — фактическая производственная мощность цеха, м<sup>3</sup> древесины, за расчетный период.

Частичная себестоимость сушки  $C_c$  по затратам, пропорциональным продолжительности сушки, для каждой однородной партии пиломатериалов определяется выражением

$$C_c = K_v K_z (0,5 \sum Z_{II} + \sum Z_{III}) / \sum P_{усл}, \quad (19.19)$$

где  $\sum P_{усл}$  — мощность цеха в условном материале за расчетный период;

$K_v$  и  $K_z$  — коэффициенты перевода фактического объема пиломатериалов в условный (см. (10.5)) для данной партии.

Полная приближенная себестоимость  $C$  сушки  $1 \text{ м}^3$  древесины той или иной партии выражается суммой:

$$C = C_v + C_c. \quad (19.20)$$

Правильность расчета расходов по партиям однородных пиломатериалов проверяется равенством

$$\begin{aligned} \sum Z_I + \sum Z_{II} + \sum Z_{III} &= \\ = C_1 P_1 + C_2 P_2 + \dots + C_n P_n, \end{aligned} \quad (19.21)$$

где  $P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum P_{\phi}$ .

Соотношения между расходами I, II и III групп зависят от типа сушильных камер, степени механизации транспортных работ, объемов и характеристики высушиваемых пиломатериалов и других факторов. В каждом конкретном случае они должны определяться по фактическим отчетным данным. Ориентировочно эти соотношения характеризуются данными, приведенными в табл. 19.2.

Таблица 19.2. Ориентировочное распределение общих затрат по группам

Расходы по группам, %	I	II	III
Воздушные камеры периодического действия (технологический пар)	20	50	30
Воздушные камеры периодического действия (вода, топливо — отходы)	30	20	50
Воздушные камеры непрерывного действия (технологический пар)	25	40	35
Воздушные камеры непрерывного действия (вода, топливо — отходы)	30	20	50

**Пример.** Сушильный цех оборудован сушильными камерами периодического действия. Теплоносителем является горячая вода. Топливо — отходы лесопильного цеха. За месяц затраты цеха составили 1765 тыс. руб. Высушено  $7057 \text{ м}^3$  условного материала (см. табл. 10.6, § 45). Объем высушенных пиломатериалов по размерно-породным группам приведен в табл. 17.3

Таблица 19.3. Объем высушенных пиломатериалов по размерно-породным группам (см. табл. 11.10)

Порода, вид и толщина пиломатериалов	Фактический объем, $\text{м}^3$	Объем в условном материале, $\text{м}^3$
Сосновые, обрезные (25 мм)	2000	2133
Буковые, обрезные (32 мм)	1000	1643
Дубовые, обрезные (50 мм)	600	3281
Итого	3600	7057

Требуется рассчитать себестоимость сушки  $1 \text{ м}^3$  фактически высушенного материала по размерно-породным группам.

Цеховая себестоимость сушки  $1 \text{ м}^3$  условного материала

$$C_{усл} = Z_{цех} / \sum P_{усл} = 1765 / 7057 \text{ м}^3 \text{ усл.} = 250,1 \text{ руб.}$$

Полные затраты цеха разбиваем по группам в соответствии с данными табл. 17.2. Они составляют: I группа — 529,5 тыс. руб., II группа — 353 тыс. руб., III группа — 882,5 тыс. руб. В соответствии с выражениями (17.18) и (17.19) частичная себестоимость, связанная с объемом фактически высушенных пиломатериалов

$$C_v = (529500 + 0,5 \cdot 353000) / 3600 = 196,1 \text{ руб.}$$

Частичная себестоимость, зависящая от продолжительности сушки:

для сосновых пиломатериалов:

$$C_c = 0,86 \cdot 1,24(0,5 \cdot 353000 + 882500) / 7057 = 160,0 \text{ руб.};$$

для буковых пиломатериалов:

$$C_c = 1,11 \cdot 1,48(0,5 \cdot 353000 + 882500) / 7057 = 246,5 \text{ руб.};$$

для дубовых пиломатериалов:

$$C_c = 0,93 \cdot 5,88(0,5 \cdot 353000 + 882500) / 7057 = 820,6 \text{ руб.}$$

Таким образом, себестоимость сушки  $1 \text{ м}^3$  будет равна:  
 сосновых пиломатериалов  $C = 356,1$  руб.;  
 буковых пиломатериалов  $C = 442,6$  руб.;  
 дубовых пиломатериалов  $C = 1016,7$  руб.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные технико-экономические показатели установок тепловой обработки и сушки древесины.
2. На какие три группы можно условно разделить расходы цеха, и по каким признакам?
3. Каково ориентировочное распределение общих затрат по этим группам?
4. Каково содержание подготовительных работ?
5. В каком порядке проводятся натурные испытания?
6. Как рассчитывается вместимость камеры?
7. Как определяется тепловая мощность камеры?
8. Каким образом определяется объем циркулирующего сушильного агента?
9. Как рассчитывается производительность камеры?

### Литература

1. Акишенков С. И. Расчет и проектирование газовых лесосушильных камер: учеб. пособие для вузов. Л.: ЛТА, 1982.
2. Богданов Е. С. Справочник по сушке древесины / Е. С. Богданов, В. В. Козлов, В. Б. Кунтыш, В. И. Мелехов. М.: Лесная промышленность, 1990.
3. Білей П. В. Теоретичні основи теплової обробки і сушіння деревини. Коломия: Вік, 2005.
4. Білей П. В. Сушка древесины твердых лиственных пород. М.: Экология, 1992.
5. Боровиков А. М., Узлеев Б. Н. Справочник по древесине. М.: Лесная промышленность, 1980.
6. Ванш С. И. Древесиноведение. 3-е изд. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949.
7. Горшин С. Н. Атмосферная сушка пиломатериалов. М.: Лесная промышленность, 1971.
8. Запруднов В. И., Стриженко В. В. Основы строительного дела: учебник для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008.
9. Качалин Н. В. Расчет устройств для гидротермической обработки древесины: учеб. пособие для вузов. Л.: ЛТА, 1976.
10. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины: учебник для средних учебных заведений. М.: Лесная промышленность, 1987.
11. Кречетов И. В. Сушка древесины: учеб. пособие для вузов. 4-е изд. М.: Бриз, 1997.
12. Кришер О. Научные основы техники сушки: пер. с нем. М.: Гослесбумиздат, 1961.
13. Музалевский В. И., Леонов Л. В. Технологические измерения и приборы в лесной и деревообрабатывающей промышленности: учебник для вузов. М.: Лесная промышленность, 1991.
14. Лавриченко В. А. Менеджмент и маркетинг: учеб. пособие для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008.

15. *Лебедев П. Д.* Проектирование сушильных установок. М.: Энергия, 1963.
16. *Леонов Л. В.* Основы автоматизации деревообрабатывающего производства: учебник для вузов / Л. В. Леонов, Л. Г. Молчанов, В. К. Вороницын. М.: Лесная промышленность, 1982.
17. *Лыков А. В.* Теория сушки. М.: Энергия, 1968.
18. *Лыков А. В.* Тепломассобмен: справочник. М.: Энергия, 1978.
19. *Расев А. И.* Тепловая обработка и сушка древесины: учебник для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009.
20. *Расев А. И., Красухина Л. П.* Транспорт в лесосушильных цехах: учеб. пособие для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008.
21. *Расев А. И.* Проведение камерной сушки пиломатериалов: учеб. пособие для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008.
22. *Расев А. И., Красухина Л. П.* Проектирование сушильных камер периодического действия: учеб. пособие для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009.
23. Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер / Е. С. Богданов, В. И. Мелехов, В. В. Новиков, А. И. Расев и др. М.: Экология, 1993.
24. *Романенко П. Н., Обливин А. Н., Семенов Ю. П.* Теплопередача: учеб. пособие для вузов. М.: Лесная промышленность, 1969.
25. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. Архангельск: ЦНИИМОД, 1985.
26. *Рыкунин С. Н.* Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пособие для вузов / С. Н. Рыкунин, Ю. П. Тюкина, В. С. Шалаев. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007.
27. *Рыкунин С. Н., Кандалина Н. Л.* Технология деревообработки: учебник. М.: Академия, 2005.
28. *Серговский П. С., Расев А. И.* Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учебник для вузов. М.: Лесная промышленность, 1987.
29. *Серговский П. С.* Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учебник для вузов. М.: Лесная промышленность, 1975.
30. *Скуратов Н. В.* Контроль сушильных напряжений в древесине: учеб. пособие для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006.
31. *Соколов П. В.* Проектирование сушильных и нагревательных установок для древесины: учеб. пособие для вузов. М.: Лесная промышленность, 1965.

32. *Стерлин Д. М.* Сушка в фанерном и стружечном производстве. М.: Лесная промышленность, 1977.
33. *Тетерин Л. А.* Применение установок с СВЧ-нагревом древесины для сушки лесоматериалов. М.: ГНЦ лесопромышленного комплекса РИА, 2003.
34. *Уголев Б. Н.* Деформативность древесины и напряжения при сушке. М.: Лесная промышленность, 1971.
35. *Уголев Б. Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2001.
36. *Чудинов Б. С.* Теория тепловой обработки древесины. М.: Наука, 1968.
37. *Чудинов Б. С.* Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984.
38. *Шелгунов Ю. В., Кутуков Г. Б., Лебедев Н. И.* Технология и оборудование лесопромышленных предприятий: учебник для вузов. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 1997.
39. *Шубин Г. С.* Проектирование установок для гидротермической обработки древесины: учеб. пособие для вузов. М.: Лесная промышленность, 1983.
40. *Шубин Г. С.* Сушка и тепловая обработка древесины. М.: Лесная промышленность, 1990.
41. *Янтовский Е. И., Левин Л. А.* Промышленные тепловые насосы. М.: Энергоатомиздат, 1989.
42. *Vjorn Esping Trokhandboken.* Stockholm: Traforskningsinstitutet, 1977.
43. *Cech M. Y.* Manuel de operateur de sechoir a bois pour l'Est du Canada / M. Y. Cech, F. Pfaff. Ottawa: Forintek Canada Corp., 1980.

Основные климатологические данные некоторых городов России

Город	Расчетная температура		Среднегодовая температура	Степень влажности воздуха, ф, %, при условиях	
	для отопления, $t_{0,от}$	для вентиляции (летнее время), $t_{0,вет}$		летних	средне-годовых
Архангельск	-32	18	0,2	75,0	81,3
Владивосток	-24	24	4,6	83,3	75,3
Волгоград	-35	28	7,7	55,0	71,5
Воронеж	-25	25	5,6	70,0	73,5
Н. Новгород	-29	22	3,6	70,7	78,0
Иркутск	-38	23	-1,3	67,7	71,2
Казань	-31	24	3,3	68,7	76,6
Кемь	-29	16	0,5	75,0	81,1
Вятка	-31	21	1,3	71,7	78,3
Красноярск	-36	24	0,6	69,0	73,4
С.-Петербург	-24	20	4,1	71,0	79,5
Москва	-30	21	3,6	62,7	79,0
Новороссийск	-15	27	12,6	68,3	73,8
Омск	-37	23	0,0	67,0	75,9
Пермь	-33	21	1,3	73,3	78,5
Ростов-на-Дону	-19	28	9,2	56,7	72,0
Саратов	-24	23	5,0	58,0	72,3
Екатеринбург	-32	21	0,8	70,7	76,8
Уфа	-31	24	2,6	72,0	77,6
Хабаровск	-35	24	—	70,0	72,4

Технические характеристики основных строительных материалов

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии		
	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C$ , кДж/(кг · °С)	$\lambda$ , Вт/(м · °С)
Железобетон	2500	0,84	1,69
Бетон на гравии или щебне	2400	0,84	1,51
Вермикулитбетон	800	0,84	0,21
То же	400	0,84	0,09
Пенобетон	1000	0,84	0,29
То же	600	0,84	0,14
То же	300	0,84	0,08
Цементно-песчаный раствор	1800	0,84	0,58
Известково-песчаный раствор	1600	0,84	0,47
Цементно-шлаковый раствор	1400	0,84	0,41
Сухая штукатурка	800	0,84	0,15
Кладка из глиняного обыкновенного кирпича (ГОСТ 530—71) на цементном растворе	1800	0,8	0,56
Маты минераловатные прошивные (ГОСТ 21880—76)	125	0,84	0,056
То же	75	0,84	0,052
Плиты минераловатные на синтетическом и битумном связующем (ГОСТ 9573—72; ГОСТ 10140—71; ГОСТ 12394—66)	300	0,84	0,084
То же	100	0,84	0,056
То же	50	0,84	0,048

Окончание Прил. 2

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии		
	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C$ , кДж/(кг·°С)	$\lambda$ , Вт/(м·°С)
Плиты из стеклотканного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499-78)	50	0,84	0,056
Маты и полосы из стекловолкна прошивные (ТУ 212372-75)	150	0,84	0,064
Пенополистирол (ТУ 6-05-11-78)	150	1,34	0,05
То же	100	1,34	0,041
Пенополистирол (ГОСТ 15588-70)	40	1,34	0,038
Пенопласт ПХВ (ТУ 6-05-1179-75) и ПВ-1 (ТУ 6-05-1158-78)	125	1,26	0,052
То же	100 и менее	1,26	0,041
Пенополиуретан (ТУ 8-56-70; ТУ 67-98-75; ТУ 67-87-75)	80	1,47	0,041
То же	60	1,47	0,035
То же	40	1,47	0,029
Засыпка из гравия керамзитового (ГОСТ 9759-76)	800	0,84	0,18
То же	400	0,84	0,12
Засыпка из гравия шунгизитового (ГОСТ 19345-73)	800	0,84	0,16
То же	400	0,84	0,11
Засыпка из вермикулита вспученного (ГОСТ 12865-67)	300	0,84	0,076
То же	100	0,84	0,064
Листы асбестоцементные плоские (ГОСТ 18121-75)	1800	0,84	0,35
Рубероид (ГОСТ 10923-76), пергамин (ГОСТ 2697-75), толь (ГОСТ 10999-76)	600	1,68	0,17
Асфальтобетон (ГОСТ 9128-76)	2100	1,68	1,05

## Пример расчета сушилки

### 1. Задание на проектирование сушилки

#### 1. Производительность сушильного цеха, м<sup>3</sup>/год

№ п/п	Порода пиломатериалов	Толщина, мм		
		25	40	50
1	Сосна	1200	—	500
2	Бук	—	300	200
3	Ясень	—	—	400

2. Длина материала — 3,0 м.
3. Ширина материала — разная.
4. Характеристика материала — доски необрезные.
5. Начальная влажность — 60 %.
6. Назначение материала — мебельное производство.
7. Место постройки: г. Самара.
9. Теплоноситель — горячая вода  $t_n = 92,0$  °С.
10. Электроэнергия — 220/380 В.

*Примечание.* К сушильному цеху примыкает деревообрабатывающий цех с числом рабочих 20 человек.

### 2. Выбор типа сушильной камеры и принципа организации транспортных работ

В соответствии с рекомендациями § 34 проектируемый сушильный цех относится к предприятию первой группы, выпускающему продукцию высокого качества (мебельное производство). Сушка ведется до конечной влажности  $W_k = 8$  %, величина которой соответствует эксплуатационной влажности (см. табл. 9.11) для мебельных изделий.

По производственной мощности производство относится к предприятиям малой мощности. Рациональным типом в данном

случае будет воздушная сушильная камера периодического действия с вертикально-поперечной циркуляцией и продольной загрузкой штабелей, конструктивная схема которой приведена на рис. 7.5, а.

Поскольку к сушильному примыкает деревообрабатывающий цех, целесообразно строительство смежных цехов, оборудованных котельной, работающей на отходах деревообработки. Это объясняется тем, что наибольшее количество отходов дает деревообрабатывающий цех и их транспортировка в котельную не вызовет затруднений.

Малая производственная мощность определяет также целесообразность формирования штабеля из сушильных пакетов, так как отпадает необходимость закупки дорогого оборудования, необходимого для формирования целого штабеля (лифта-подъемника, траверсной тележки). Сушильные пакеты планируется формировать вручную, а штабель собирать из сушильных пакетов непосредственно на транспортной вагонетке с помощью электрической тали.

Учитывая заданную длину пиломатериалов, равную 3,0 м, предварительно планируется сушильная камера, рассчитанная на размещение в камере двух штабелей по длине.

При анализе рынка строительных материалов данной местности установлено, что в районе строительства находится завод железобетонных конструкций, выпускающий плиты перекрытия длиной до 6,5 м и газобетонные блоки размером 200x200x400 мм, плотностью 600 кг/м<sup>3</sup>. Завод имеет возможность поставки жидкого бетона на предприятие. На основании изложенного принимается решение о строительстве сушильных камер и смежного с ними раскройного цеха из указанных выше материалов.

### 3. Установление габаритных размеров штабеля (сушильного пакета) и основных размеров камеры

Поскольку для транспортировки сушильных пакетов планируется применение электрической тали, принимаем ширину пакета  $B = 1,8$  м. Высоту пакета, учитывая безопасность и удобство работы при ручном формировании, —  $H = 1,2$  м, длина пакета определяется длиной высушиваемых пиломатериалов  $L = 3,0$  м. Штабель формируется на рельсовой тележке. В целях обеспечения устойчивости штабеля при перемещении его высота не должна более чем в 1,5 раза превышать его ширину. Из этого следует, что штабель можно формировать из двух пакетов по высоте.

Высота штабеля складывается из высоты двух пакетов  $2H$ , высоты транспортной тележки  $h_t = 0,2$  м (§ 38) и одной межпакетной прокладки толщиной  $S = 0,1$  м. Таким образом, высота штабеля  $H_{шт} = 2,7$  м.

Высота сушильного пространства камеры должна превышать высоту штабеля на величину технологического зазора, который равен 0,1 м. Высота камеры  $H_k$ , м, (внутренний размер) ориентировочно равна сумме высот сушильного пространства и циркуляционного канала  $H_n$  (предварительно принимаем  $H_n = 1,1$  м). Следовательно,  $H_k = 3,9$  м.

Ширина камеры  $B_k$  (внутренний размер) складывается из ширины штабеля и ширины двух боковых циркуляционных каналов  $B_{бок}$ .

Принимаем:  $B_{бок} = 0,6$  м.

Ширина камеры:  $B_k = B + 2B_{бок} = 1,8 + 1,2 = 3,0$  м.

Длина камеры:  $L_k = 2L + 0,3 = 6,3$  м.

Высота дверного проема:  $H_{дп} = H_{шт} + 0,1 = 2,7 + 0,1 = 2,8$  м.

Ширина дверного проема:  $B_{дп} = B + 2 \cdot 0,1 = 1,8 + 0,2 = 2,0$  м.

### 4. Технологический расчет сушильного цеха

Технологический расчет производится с целью установления числа сушильных камер, которое требуется для выполнения заданной программы, и определения программы сушильного цеха (участка) в условном материале, а также для уточнения габаритных размеров камеры.

Сушка ведется в соответствии с требованиями по II категории качества (мебельное производство, корпуса клавишных инструментов, столярно-строительные изделия, пассажирское вагоно-, авто-, судостроение и пр.); как установлено выше  $W_k = 8\%$ .

Требуемое число камер  $n$  для выполнения заданной программы рассчитывается путем деления годовой производительности сушильного цеха в условном материале  $Y$  на годовую производительность одной сушильной камеры также в условном материале  $P_y$ :

$$n = \frac{Y}{P_y}$$

Пересчет фактического объема пиломатериалов, который дан в задании на проектирование, в условный и расчет произво-

длительности сушильного цеха (участка) в условном материале сделан в табличной форме и приведен в табл. ПЗ.1.

В расчетах принимаем скорость циркуляции сушильного агента в штабеле равной  $\omega_{\text{шпр}} = 1,5$  м/с, толщину прокладок 25 мм, а высоту штабеля — удвоенной высоте сушильных пакетов — 2,4 м.

Таблица ПЗ.1. Расчет пропускной способности сушильного цеха в условном материале

Характеристика материала						Продолжительность цикла сушки $\tau = \tau_{\text{сух}} + \tau_{\text{всп}} =$			
Порода	Толщина $S_1$ , мм	Ширина $S_2$ , мм	Влажность, %		Категория качества сушки	$\tau_{\text{сух}}, \text{ч}$	$A_{\text{ш}}$	$A_{\text{в}}$	$A_{\text{к}}$
			начальная, $W_{\text{н}}$	конечная, $W_{\text{к}}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сосна	25	Разная	60	8	II	67	0,84	1,25	1,15
Сосна	50	Разная				124	0,91		
Бук	40	Разная				167	0,95		
Бук	50	Разная				255	0,99		
Ясень	50	Разная				255	0,99		
Сосна, условный материал	40	150	60	12	II	101	0,88	1,0	1,15

Окончание табл. ПЗ.1

$= (\tau_{\text{сух}} A_{\text{ш}} A_{\text{в}} A_{\text{к}}) / 24 + 0,1$ , сутки			Коэффициенты заполнения штабеля			$K$	Фактический объем, $\Phi$ , м <sup>3</sup>	Объем в условном материале, $Y$ , м <sup>3</sup>
$\tau_{\text{сух}}, \text{ч}$	$\tau_{\text{всп}}, \text{сутки}$	$\tau$ , сутки	$\beta_{\text{ш}}$	$\beta_{\text{в}}$	$\beta_{\text{к}}$			
11	12	13	14	15	16	17	18	19
80,9	3,4	3,5	0,66	0,5	0,92	1,36	1200	1632
162,2	6,8	6,9		0,67		2,00	500	1000
228,0	9,5	9,6		0,62		3,00	300	900
362,9	15,1	15,2		0,67		4,41	200	882
362,9	15,1	15,2		0,67		4,41	400	1764
102,2	4,3	4,4	0,91	0,62	0,92	—	—	—
Итого: $Y =$								6178

Годовая производительность камеры  $\Pi_y$ , м<sup>3</sup> усл./г., в условном материале

$$\Pi_y = \frac{335}{\tau_y} E_y,$$

а ее вместимость:

$$E_y = 2BHL\beta_{\text{ш}}\beta_{\text{в}}\beta_{\text{к}};$$

$$E_y = 2 \cdot 1,8 \cdot 2,4 \cdot 3 \cdot 0,91 \cdot 0,67 \cdot 0,92 = 14,5 \text{ м}^3 \text{ усл.};$$

$$\Pi_y = 335 \cdot 14,5 / 4,4 = 1104 \text{ м}^3 \text{ усл./г.}$$

Требуемое число камер  $n = 6178 / 1104 = 5,6$ . Принимаем для строительства в сушильном цеху шесть камер.

## 5. Тепловой расчет сушильной камеры

Целями теплового расчета являются: определение затрат теплоты на сушку пиломатериалов, выбор типа и расчет нагревательных устройств, расчет системы воздухообмена, определение расхода теплоносителя, топлива и параметров системы трубопроводов.

Расчет ведется в последовательности, приведенной в § 72.

**5.1. Выбор расчетного материала.** В соответствии с техническим заданием на проектирование сушке подлежат пять размерно-породных групп пиломатериалов. Мощность теплового оборудования, установленного в камере, должна обеспечивать выполнение режимных параметров сушки всех пиломатериалов.

В качестве расчетного материала выбираем такой, сушка которого требует максимальной тепловой мощности калориферов по сравнению с другими группами. Таковым является самый быстросохнущий материал из имеющихся в спецификации, а именно, сосновые пиломатериалы толщиной 25 мм (по данным в табл. ПЗ.1).

**5.2. Расчетные параметры сушильного агента.** Величины этих параметров устанавливаются по данным I и II ступеней режима сушки расчетного материала. Режим его сушки находится в соответствующей таблице режимов (§ 41, табл. 9.1).

Все расчеты в дальнейшем ведем по параметрам II ступени режима. Параметры I ступени используем в расчетах затрат тепла на компенсацию тепловых потерь при определении толщины теплоизоляционного слоя ограждения.

Данные по ступеням, взятые из режима сушки, вносим в табл. ПЗ.2. Дополнительно к режимным данным рассчитываем: влагосодержание,  $d_1$ , г/кг, теплосодержание воздуха,  $I_1$ , кДж/кг, его плотность  $\rho_1$ , кг/м<sup>3</sup>, и приведенный удельный объем  $v_{пр1}$ , м<sup>3</sup>/кг сух. воздуха.

Таблица ПЗ.2. Расчетные параметры сушильного агента

Ступень режима	Переходная влажность	$t_1$ , °C	$\varphi_1$	$\Delta t_1$ , °C	$t_{в1}$ , °C	$d_1$ , г/кг	$I_1$ , кДж/кг	$\rho_1$ , кг/м <sup>3</sup>	$v_{пр1}$ , м <sup>3</sup> /кг
I	$W_n - 35$	75	0,77	6	69	—	—	—	—
II	35—25	75	0,61	11	64	175	536	0,92	1,28

$$d_1 = 622 \cdot \varphi_1 \cdot p_{н1} / (p_a - \varphi_1 \cdot p_{н1}) = \\ = 622 \cdot 0,61 \cdot 36 / (100 - 0,61 \cdot 36) = 175 \text{ г/кг.}$$

Давление насыщения водяного пара при  $t_1 = 75$  °C —  $p_{н1} = 36$  кПа (см. рис. 1.1),  $p_a$  — атмосферное давление воздуха (100 кПа).

$$I_1 = t_1 + 0,001 \cdot d_1 (1,93 \cdot t_1 + 2490) = \\ = 75 + 0,001 \cdot 175 (1,93 \cdot 75 + 2490) = 536 \text{ кДж/кг;}$$

$$\rho_1 = \frac{348 - 132 \cdot [d_1 / (622 + d_1)]}{273 + t_1} = \\ = \frac{348 - 132 \cdot [175 / (622 + 175)]}{273 + 75} = 0,92 \text{ кг/м}^3;$$

$$v_{пр1} = 4,62 \cdot (273 + t_1) \cdot (622 + d_1) \cdot 10^{-6} = \\ = 4,62 \cdot (273 + 75) \cdot (622 + 175) \cdot 10^{-6} = 1,28 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

**5.3. Выбор параметров наружного воздуха.** Сведения о параметрах наружного воздуха требуются при определении расходов тепла на сушку, для расчета системы воздухообмена, в технико-экономических расчетах. При их выборе необходимо учитывать географическое расположение строительства предприятия и вре-

мена года. Эти параметры выбираем по климатологическим таблицам (Приложение 1).

По зимним условиям рассчитываем тепловую мощность калориферов и, в частности, расходы тепла на нагревание древесины, на испарение из нее влаги, на компенсацию тепловых потерь через ограждения. Среднегодовые условия используем в технико-экономических расчетах, а летние условия — при расчетах системы воздухообмена, в частности, размеров приточно-вытяжных каналов сушильной камеры.

Расчеты ведем по условиям г. Саратова, как наиболее близкого к г. Самара, а их результаты сводим в табл. ПЗ.3.

Таблица ПЗ.3. Параметры наружного воздуха

Условия	$t_0$ , °C	$\varphi_0$	$d_0$ , г/кг	$I_0$ , кДж/кг	$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	$v_{пр0}$ , м <sup>3</sup> /кг
Зимние	-24	—	0	-24	—	—
Летние	23	0,58	9,8	47,8	1,17	0,776
Среднегодовые	5	0,72	4	15	—	—

Влагосодержание  $d_0$ , теплосодержание  $I_0$ , плотность  $\rho_0$  и приведенный удельный объем  $v_{пр0}$  приточного воздуха рассчитывают по формулам, примененным выше:

• летние условия:

$$d_0 = 622 \cdot \varphi_0 \cdot p_{н0} / (p_a - \varphi_0 \cdot p_{н0}) = \\ = 622 \cdot 0,58 \cdot 2,7 / (100 - 0,58 \cdot 2,7) = 9,8 \text{ г/кг;}$$

давление насыщения водяного пара при  $t_1 = 23$  °C —  $p_{н1} = 2,7$  кПа,  $p_a$  — атмосферное давление воздуха (100 кПа);

$$I_0 = t_0 + 0,001 \cdot d_0 (1,93 t_0 + 2490) = \\ = 23 + 0,001 \cdot 9,8 (1,93 \cdot 23 + 2490) = 47,8 \text{ кДж/кг;}$$

$$\rho_0 = \frac{348 - 132 \cdot [d_0 / (622 + d_0)]}{273 + t_0} =$$

$$= \frac{348 - 132 \cdot [9,8 / (622 + 9,8)]}{273 + 23} = 1,17 \text{ кг/м}^3;$$

$$v_{пр0} = 4,62 \cdot (273 + t_0) \cdot (622 + d_0) \cdot 10^{-6} = \\ = 4,62 \cdot (273 + 23) \cdot (622 + 9,8) \cdot 10^{-6} = 0,776 \text{ м}^3/\text{кг;}$$

- среднегодовые условия:

$$d_0 = 622 \cdot \varphi_0 p_{n0} / (p_a - \varphi_0 p_{n0}) = \\ = 622 \cdot 0,72 \cdot 0,9 / (100 - 0,72 \cdot 0,9) = 4 \text{ г/кг};$$

давление насыщения водяного пара при  $t_1 = 5^\circ\text{C}$  —  $p_{n1} = 0,9 \text{ кПа}$ ,  $p_a$  — атмосферное давление воздуха (100 кПа);

$$I_0 = t_0 + 0,001 \cdot d_0 (1,93 \cdot t_0 + 2490) = \\ = 5 + 0,001 \cdot 4 \cdot (1,93 \cdot 5 + 2490) = 15 \text{ кДж/кг}.$$

**5.4. Расчет количества испаряемой из материала влаги.** Масса воды  $M_{w0}$ , удаляемой из  $1 \text{ м}^3$  расчетного материала за весь цикл сушки при базисной плотности древесины сосны  $400 \text{ кг/м}^3$ :

$$M_{1\text{м}^3} = \rho_{\text{баз}} (W_n - W_k) / 100 = 400(60 - 8) / 100 = 208 \text{ кг/м}^3.$$

Определяем массу воды, которая испаряется из древесины в среднем за цикл сушки, в секунду (средняя скорость сушки),  $M_c$ , кг/с:

$$M_c = \frac{M_{w0} E_p}{3600 \tau_{\text{с.с}}} = \frac{208 \cdot 7,9}{3600 \cdot 69,1} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Вместимость камеры  $E_p$ , используя данные, приведенные в табл. ПЗ.1 для расчетного материала, находим:

$$E_p = LBHm\beta_{\text{д}}\beta_{\text{ш}}\beta_{\text{в}} = 3 \cdot 1,8 \cdot 2,4 \cdot 2 \cdot 0,92 \cdot 0,66 \cdot 0,5 = 7,9 \text{ м}^3.$$

Продолжительность собственно сушки  $\tau_{\text{с.с}}$  определяется (18.5) вычитанием из продолжительности процесса сушки  $\tau_{\text{суш}}$  (см. табл. ПЗ.1) расчетного материала периодов начального прогрева  $\tau_{\text{пр}} = 1,5 \cdot 2,5 = 3,8 \text{ ч}$  и кондиционирования  $\tau_{\text{к}} = 8 \text{ ч}$ :

$$\tau_{\text{с.с}} = \tau_{\text{суш}} - \tau_{\text{пр}} - \tau_{\text{к}} = 80,9 - 3,8 - 8 = 69,1 \text{ ч}.$$

Расчетное количество испаряемой влаги  $M_p$  определяется по выражению

$$M_p = M_c \chi = 6,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3 = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Коэффициент неравномерности скорости сушки, при  $W_k = 8 \%$ ,  $\chi = 1,3$ .

**5.5. Определение массы и объема циркулирующего в штабеле и в камере сушильного агента.** Количество циркулирующего в штабеле сушильного агента должно обеспечивать относительно равномерное просыхание пиломатериалов по ширине штабеля. Это может быть достигнуто при некоторой относительно небольшой разнице температуры  $\Delta t$  на входе в штабель  $t_1$  и выходе из него  $t_2$ . Величина этого перепада зависит от ширины штабеля, характеристики высушиваемого материала и, в значительной степени, от скорости циркуляции. Для обеспечения качества сушки по категории II принимаем  $\Delta t_{\text{шт}} = 2^\circ\text{C}$ .

Расчет ведем в последовательности, рекомендованной в § 73.

Находим разность влагосодержания воздуха на выходе из штабеля  $d_2$  и на входе  $d_1$  в него:

$$d_2 - d_1 = \Delta t_{\text{шт}} (0,4 + 0,00075 d_1) = 2(0,04 + 0,00074 \cdot 175) = \\ = 1,06 \text{ г/кг}.$$

Удельная масса циркулирующего агента сушки:

$$g_{\text{шт}} = \frac{1000}{d_2 - d_1} = \frac{1000}{1,06} = 943 \text{ кг/кг}.$$

Масса циркулирующего агента сушки:

$$G_{\text{шт}} = 3600 g_{\text{шт}} M_p = 3600 \cdot 943 \cdot 0,0086 = 29\,207 \text{ кг/ч}.$$

Объем циркулирующего агента сушки:

$$V_{\text{шт}} = G_{\text{шт}} v_{\text{пр.1}} = 29\,207 \cdot 1,28 = 37\,400 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Скорость циркуляции сушильного агента в штабеле:

$$\omega_{\text{шт}} = \frac{V_{\text{шт}}}{3600 m F_{\text{ж.с.шт}}} = \frac{37\,400}{3600 \cdot 2 \cdot 3,6} = 1,45 \text{ м/с},$$

где  $m$  — количество штабелей в плоскости, перпендикулярной направлению потока агента сушки;  $m = 2$ ;

$F_{\text{ж.с.шт}}$  — площадь живого сечения штабеля.

$$F_{\text{ж.с.шт}} = F_{\text{штб}} \cdot (1 - \beta_n) = LH(1 - \beta_n) = 3 \cdot 2,4(1 - 0,5) = 3,6 \text{ м}^2,$$

где  $F_{\text{штб}}$  — площадь габаритного сечения штабеля в плоскости, перпендикулярной направлению воздушного потока,  $\text{м}^2$ ,  $F_{\text{штб}} = LH = 3 \cdot 2,4 \text{ м}^2$ .

Полученная величина  $\omega_{\text{шт}}$  находится в пределах допустимых значений.

Температура и влагосодержание агента сушки на выходе из штабеля будут равны:

$$t_2 = t_1 - \Delta t_{\text{шт}} = 75 - 2 = 73 \text{ }^\circ\text{C}; \quad d_2 = 175 + 1,06 = 176,06 \text{ г/кг.}$$

Плотность  $\rho_2$  и приведенный удельный объем  $v_{\text{пр}2}$  воздуха на выходе из штабеля практически не отличаются от  $\rho_1, v_{\text{пр}1}$ , поэтому их специально не рассчитываем.

Расчетный объем циркулирующего воздуха при коэффициенте использования воздушного потока  $\eta = 0,8$ :

$$V_p = V_{\text{шт}}/\eta = 37\,400/0,8 = 46\,750 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

**5.6. Расчет системы воздухообмена.** Система воздухообмена сушильной камеры обеспечивает удаление из нее воды, испаренной из древесины, и приток в камеру более сухого по отношению к находящемуся там воздуха. Для этого имеются приточные и вытяжные каналы. Они работают за счет разности давлений, создаваемой циркуляционными вентиляторами.

Проектируемая камера имеет реверсивную циркуляцию. Функции приточного и вытяжного каналов периодически меняются в зависимости от направления вращения вентиляторов. Приточный воздух при этом вынужденно поступает только из атмосферы. Для воздухообмена сушильной камеры наиболее тяжелыми являются летние условия. Поэтому расчет приточного канала производим по этим условиям.

Расчет системы воздухообмена производится в указанной ниже последовательности.

Устанавливаем удельные массы  $g_0$  приточного и отработавшего воздуха по отношению к 1 кг испаряемой влаги:

$$g_0 = \frac{1000}{d_2 - d_0} = \frac{1000}{176,06 - 9,8} = 6 \text{ кг/кг.}$$

Определяем массу приточного и отработавшего воздуха:

$$G_0 = 3600 \cdot g_0 \cdot M_p = 3600 \cdot 6 \cdot 8,6 \cdot 10^{-3} = 186 \text{ кг/ч,}$$

рассчитываем объемы отработавшего и приточного воздуха:

$$V_{\text{отр}} = G_0 \cdot v_{\text{пр}2} = 186 \cdot 1,28 = 278 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{\text{пр}} = G_0 \cdot v_{\text{пр}0} = 186 \cdot 0,776 = 145 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Площадь поперечного сечения канала определяем для наибольшего объема, поскольку функции каналов изменяются при реверсировании циркуляции:

$$F_{\text{отр}} = V_{\text{отр}}/3600 \cdot \omega_{\text{кан}} = 0,019 \text{ м}^2.$$

Скорость движения отработавшего (приточного) воздуха в канале принимаем

$$\omega_{\text{кан}} = 4 \text{ м/с.}$$

Выбираем прямоугольные каналы. Поскольку каналы имеют регулирующие клапаны, размер каналов устанавливаем по размерам клапанов. Выбираем алюминиевые клапаны АВК-300х150 (минимальный размер) фирмы «АРКТИКА» с исполнительным механизмом DAN 2N.

Из конструктивных соображений следует монтировать каналы сечением 300 × 150 мм, площадью 0,045 м<sup>2</sup>. Увеличенный размер площади поперечного сечения не отразится негативно на их работоспособности.

**5.7. Определение расхода тепловой энергии на сушку.** Расход тепловой энергии на сушку включает затраты тепла на прогрев древесины, испарение из нее влаги и компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры.

Все последующие расчеты расхода тепла производят отдельно для зимних условий и среднегодовых условий.

Расход тепла на прогрев древесины. Расход тепла на прогрев 1 м<sup>3</sup> древесины  $Q_{\text{пр}w}$ , кДж/м<sup>3</sup>, для зимних условий рассчитываем по формуле

$$Q_{\text{пр}w} = \rho \cdot [C_{(t)} \cdot (-t_0) + C_{(t)} t_w] + \rho_6 \cdot [W_w - W_{\text{тж}}/100] \cdot r_{\text{ст}}$$

В этой формуле: плотность древесины при  $W_w = 60 \%$ ;  $\rho = 640 \text{ кг/м}^3$  (§ 6);  $t_w$  — температура, до которой прогревается в камере древесина; она равна температуре смоченного термометра на I ступени режима сушки,  $t_w = 69 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл. П3.2); теплота плавления льда  $r_{\text{ст}} = 335 \text{ кДж/кг}$ .

Количество связанной незамерзшей влаги, содержащейся в древесине,

$$W_{\text{тж}} = 30 + 0,772 \cdot t_0 + 0,0082 \cdot t_0^2 = \\ = 30 - 0,772 \cdot 24 + 0,0082 \cdot 24^2 = 16,2 \%$$

Величины удельной теплоемкости  $C_{(t_0)}$  и  $C_{(t_m)}$  находим в зависимости от начальной влажности  $W_n = 60\%$  и расчетной температуры  $t_p$  (§ 9). В свою очередь, для  $C_{(t_0)}$ :  $t_p = \frac{t_0}{2} = \frac{-24}{2} = -12^\circ\text{C}$ , а для  $C_{(t_m)}$ :  $t_p = \frac{t_m}{2} = \frac{69}{2} = 34,5^\circ\text{C}$ ;  $C_{(t_0)} = 2,15 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $C_{(t_m)} = 2,84 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

$$Q_{\text{пр.м}^3, \text{з}} = 640 \cdot [2,15 \cdot 24 + 2,85 \cdot 69] + 400 \cdot [(60 - 16,2)/100] \cdot 335 = 217\,572 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Расход тепла на прогрев древесины для среднегодовых условий ( $t_0 > 0$ )

$$Q_{\text{пр.м}^3, \text{ср}} = \rho \cdot C_{(t_m)} (t_m - t_0) = 640 \cdot 2,85 \cdot (69 - 5) = 116\,736 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Удельную теплоемкость определяем при расчетной температуре  $t_p = (t_m + t_0)/2 = (69 + 5)/2 = 37^\circ\text{C}$  и влажности  $W_n = 60\%$ ;  $C_{(t_p)} = 2,85 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Удельный расход тепла при прогреве древесины, кДж/кг, в расчете на 1 кг испаряемой влаги для зимних и среднегодовых условий определяем по формуле:

для зимних условий:

$$g_{\text{пр.з}} = \frac{Q_{\text{пр.м}^3, \text{з}}}{M_{1, \text{м}^3}} = \frac{217\,572}{208} = 1046 \text{ кДж}/\text{кг},$$

для среднегодовых условий:

$$g_{\text{пр.ср}} = \frac{Q_{\text{пр.м}^3, \text{ср}}}{M_{1, \text{м}^3}} = \frac{116\,736}{208} = 561 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Расход тепла на испарение влаги. Удельный расход тепла на испарение влаги:

для зимних условий:

$$q_{\text{исп.з}} = \frac{1000 \cdot (I_2 - I_0)}{(d_2 - d_0)} - C_w t_m = \frac{1000 \cdot (536 + 24)}{176,02 - 0} - 4,19 \cdot 69 = 2892 \text{ кДж}/\text{кг},$$

для среднегодовых условий:

$$q_{\text{исп.ср}} = \frac{1000 \cdot (I_2 - I_0)}{(d_2 - d_0)} - C_w t_m = \frac{1000 \cdot (536 - 15)}{176,02 - 4} - 4,19 \cdot 69 = 2740 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Теплосодержание обработанного воздуха  $I_2 = I_1$  (табл. П3.2); удельная теплоемкость воды равна  $C_w = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Тепловая мощность, необходимая для испарения из материала влаги, рассчитывается только для зимних условий:

$$Q_{\text{исп}} = q_{\text{исп.з}} M_c = 2892 \cdot 8,6 \cdot 10^{-3} = 24,9 \text{ кВт}.$$

Расчет расхода тепла на компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры. Тепловая энергия, затраченная на компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры равна сумме тепловых потерь через охлаждающиеся элементы ограждений камеры. Потери через боковые стены, разделяющие смежные камеры, не учитывают. В блоке по проекту имеем шесть сушильных камер. Поэтому для расчета выбираем камеру, находящуюся в середине блока. Охлаждающимися элементами ограждения являются торцовые стены, двери, пол и перекрытие камеры. Одна торцовая стена выходит в коридор управления (отапливаемое помещение), другая торцовая стена — в отапливаемое помещение, где осуществляются сборка и хранение сушильных пакетов. Перекрытие камеры через чердачное помещение граничит с атмосферой.

Суммарные потери тепла через ограждения,  $Q_{\text{отр}}$ , кВт, камеры:

$$Q_{\text{отр}} = k \cdot \sum_{i=1}^n F_i K_i (t_c - t_0) \cdot 10^{-3},$$

где  $F_i, K_i$  — площадь,  $\text{м}^2$ , и коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ ,  $i$ -го элемента ограждения;

$t_1, t_0$  — температура воздуха внутри и снаружи камеры около  $i$ -го элемента ее ограждения,  $^\circ\text{C}$ ;

$k = 1,5$  — коэффициент, учитывающий увеличение потерь тепла через ограждения за счет «тепловых мостов», увлажнения те-

теплоизоляционных материалов, влияния на тепловые коэффициенты материала ограждений повышенной температуры.

Коэффициент теплопередачи пола принимаем  $K = 0,5 K_{стр}$ , а площадь — равной произведению двухметровой полосы пола вдоль стены на ее длину.

Для того чтобы исключить конденсацию на внутренней поверхности ограждений, коэффициент теплопередачи ограждений  $K_y$  должен удовлетворять условию:

$$K_y \leq \alpha_{вн} \frac{t_1 - t_p}{t_1 - t_0} = 14,9 \frac{75 - 68}{75 + 24} = 1,05 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

В этом расчете: коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ограждения,  $\alpha_{вн} = 5,8 + 3,95 \cdot 2,3 = 14,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ; температура агента сушки на I ступени режима,  $t_1 = 75 \text{ °C}$ ;

температура точки росы  $t_p = t_m - 1 = 69 - 1 = 68 \text{ °C}$ ;

температуру снаружи камеры принимаем для зимних условий  $t_0 = -24 \text{ °C}$ .

Расчетный коэффициент теплопередачи:

$$K = 0,8 K_y = 0,8 \cdot 1,05 = 0,84 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Стены камеры выкладываются из пенобетонных блоков плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$ . На внутреннюю поверхность стен наносится цементная штукатурка толщиной 2 см с последующей их гидроизоляцией битумным лаком.

Камеры перекрывают железобетонными плитами толщиной 150 мм, на которые наносят два слоя гидроизола и засыпают керамзитом. Внутреннюю поверхность перекрытия также покрывают битумным лаком.

Основу дверей составляют «сэндвич-панели», заполненные минераловатным теплоизоляционным материалом.

Пол камеры заливается бетоном с толщиной слоя 200 мм на песчаной подушке, толщина которой 300 мм.

Расчету подлежит толщина теплоизоляционного слоя стен, перекрытия и двери камеры.

Толщину теплоизоляционного слоя  $S_{тв}$ , м, ограждения рассчитываем по формуле

$$S_{тв} = \lambda_{тв} \cdot \left( \frac{1}{K} - \frac{1}{\alpha_{вн}} - \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{\lambda_j} - \frac{1}{\alpha_{вн}} \right).$$

Коэффициент теплообмена равен:

для наружных поверхностей ограждений, выходящих в отапливаемые помещения, при скорости движения воздуха  $\omega_{вн} = 0,5 \text{ м/с}$ :

$$\alpha_{н.от} = 5,8 + 3,9 \cdot \omega_{вн} = 5,8 + 3,9 \cdot 0,5 = 7,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)};$$

для наружной поверхности перекрытия (скорость ветра принимаем равной 5 м/с):

$$\alpha_n = 7,12 \cdot \omega^{0,78} = 7,12 \cdot 5^{0,78} = 25 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Для штукатурки стен и лакового покрытия величинами  $S/\lambda$  (термическим сопротивлением) пренебрегаем ввиду их ничтожно малой величины.

Рассчитываем толщину стен из пенобетона ( $\lambda = 0,14 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ , Приложение 2):

$$S_{стр} = 0,14 \left( \frac{1}{0,84} - \frac{1}{7,8} - \frac{1}{14,9} \right) \approx 0,14 \text{ м}.$$

Такая толщина, удовлетворяя условию отсутствия конденсации, не соответствует требованиям прочности и устойчивости стены с точки зрения строительных норм. Для несущей стены из пенобетона плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$ , высотой около 4 м ее толщина должна быть не менее 400 мм.

При  $S_{ст} = 0,4 \text{ м}$  коэффициент теплопередачи будет равен

$$K_{ст} = \left( \frac{1}{\alpha_n} + \frac{S_{ст}}{\lambda_{тв}} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{7,8} + \frac{0,4}{0,14} + \frac{1}{14,9} \right)^{-1} = 0,33 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

При расчете толщины теплоизоляции двери («сэндвич-панель») термическим сопротивлением металлических листов их облицовки также пренебрегаем. Коэффициент теплопроводности минераловатной теплоизоляции равен  $0,056 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

Толщина панели:

$$S_{пан.д} = 0,052 \left( \frac{1}{0,84} - \frac{1}{7,8} - \frac{1}{14,9} \right) \approx 0,056 \text{ м}.$$

Из конструктивных соображений, связанных с обеспечением формоустойчивости двери, принимаем толщину панелей 100 мм.

При  $S_{\text{мин}} = 0,1$  м

$$K_{\text{ст}} = \left( \frac{1}{7,8} + \frac{0,1}{0,056} + \frac{1}{14,9} \right) = 0,47 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Толщина засыпки керамзитом (плотность  $800 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) перекрытия исходя из его конструкции [коэффициенты теплопроводности: керамзита  $\lambda_{\text{кэр}} = 0,18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ; железобетона  $\lambda_{\text{ж.б.}} = 1,69 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ; толщина плит перекрытия  $0,15$  м]:

$$S_{\text{кэр}} = 0,18 \left( \frac{1}{0,84} - \frac{1}{25} - \frac{0,15}{1,69} - \frac{1}{14,9} \right) \approx 0,18 \text{ м}.$$

Расчет тепловых потерь приведен в форме таблицы (табл. ПЗ.4).

Таблица ПЗ.4. Расчет тепловых потерь через ограждения камеры ( $t_1 = 75^\circ\text{C}$ )

Элементы ограждений	Площадь ограждения, $F_0, \text{м}^2$	$K, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	Расчет потерь тепла при условиях					
			зимних			среднегодовых		
			$t_0, ^\circ\text{C}$	$t_1 - t_0, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{пер.л.}}, \text{Вт}$	$t_{0,\text{ср.}}, ^\circ\text{C}$	$t_1 - t_{0,\text{ср.}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{пер.л.}}, \text{Вт}$
Стена торцовая	$3 \times 3,9 = 11,7$	0,33	18*	57	214	20	55	207
Пол, смежный с торцовой стеной	$3 \times 2 = 6$	0,17	18*	57	58	20	55	56
Стена торцовая, за вычетом дверей	$11,7 - 2 \times 2,8 = 6,1$	0,33	18*	57	109	20	55	105
Пол, смежный с торцовой стеной	$3 \times 2 = 6$	0,17	18*	57	58	20	55	56
Дверь камеры	$2 \times 2,8 = 5,6$	0,47	18*	57	150	20	55	145
Перекрытие	$3 \times 6,3 = 18,9$	0,84	-24	99	1571	5	70	1111
Итого:					2160	Итого:		1680
$Q_{\text{огр.зим}} = 1,5 \cdot 2160/1000 = 3,24 \text{ кВт};$ $Q_{\text{огр.ср}} = 1,5 \cdot 1680/1000 = 2,52 \text{ кВт}.$								

Примечание. \* Температура внутренних отапливаемых помещений принята в соответствии со СНиП II-33-75.

Величину удельных затрат тепла  $q_{\text{огр.}}$ ,  $\text{кДж}/\text{кг}$ , компенсирующих потери через ограждения, рассчитывают по выражению: зимние условия:

$$q_{\text{огр.зим}} = \frac{Q_{\text{огр.зим}}}{M_c} = \frac{3,24}{8,6 \cdot 10^{-3}} = 377 \text{ кДж}/\text{кг};$$

среднегодовые условия:

$$q_{\text{огр.ср}} = \frac{Q_{\text{огр.ср}}}{M_c} = \frac{2,52}{8,6 \cdot 10^{-3}} = 293 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Общий расход тепловой энергии на сушку пиломатериалов. Удельный расход тепловой энергии на сушку пиломатериалов  $q_{\text{суш.}}$ ,  $\text{кДж}/\text{кг}$ , складывается из затрат тепла на прогрев древесины, на испарение из нее влаги и компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры (расчет ведем только для среднегодовых условий):

$$q_{\text{суш.}} = (q_{\text{пр.}} + q_{\text{исп.}} + q_{\text{огр.}}) \cdot 1,15 = (561 + 2740 + 293) \cdot 1,15 = 4133 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

где  $1,15$  — коэффициент, характеризующий дополнительные неучтенные расходы тепла на кондиционирование, на подогрев камеры, транспортных средств, оборудования и пр.

Расход тепла на сушку, отнесенный к  $1 \text{ м}^3$  высушенной древесины (расчет ведется только для среднегодовых условий):

$$Q_{\text{исп.м}^3} = \frac{q_{\text{суш.}} \cdot M_{\text{м}^3}}{3600} = \frac{4133 \cdot 208}{3600} = 239 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3.$$

5.8. Подбор и расчет мощности калориферов выполняем в следующем порядке. Сначала рассчитываем тепловую мощность калориферов. Затем проводим выбор модели, номера калориферов и размещаем их в камере в соответствии с ее конструктивной схемой. Далее рассчитываем коэффициент теплопередачи калориферов и поверхность их нагрева. В конечном итоге уточняем число калориферов, их параметры и составляем схему их монтажа в камере.

Тепловая мощность калориферов  $Q_{\text{кал.}}$ ,  $\text{кВт}$ , рассчитываем по выражению

$$Q_{\text{кал.}} = (Q_{\text{исп.}} + Q_{\text{огр.}}) \cdot 1,15 = (24,9 + 3,24) \cdot 1,15 = 32,4 \text{ кВт}.$$

**Выбор модели и номера калорифера.** В соответствии с техническим заданием теплоносителем является горячая вода при  $t_w = 92^\circ\text{C}$ . Калориферы устанавливаем в верхнем циркуляционном канале. Для обеспечения равномерности нагрева циркулирующего воздуха они должны быть равномерно распределены по длине камеры. По таким признакам, как малое аэродинамическое сопротивление и компактность, наиболее подходящими являются калориферы базовой серии ТБЗ. Учитывая длину камеры и высоту циркуляционного канала, принимаем к установке три калорифера марки ТБЗ 10.10.02УЗ. Их техническая характеристика дана в табл. ПЗ.5.

Таблица ПЗ.5. Техническая характеристика калорифера ТБЗ-10.10.02.УЗ

Обозначение	Число рядов труб	Габаритно-присоединительные размеры, мм				Площадь поверхности теплообмена $F, \text{ м}^2$	Площадь сечения для прохода теплоносителя, $f, \text{ м}^2$	Площадь фронтального сечения, $f_{\text{фр}}, \text{ м}^2$	Число ходов труб
		A	L	H	H <sub>1</sub>				
ТБЗ-10.10.02УЗ	1	1703	1827	997	861	29,6	0,00163	1,650	4

При монтаже калориферов установка дополнительных экранов, ограничивающих движение циркулирующего в плоскости расположения калориферов, не планируется. Поэтому приближенно за скорость сушильного агента во фронтальном сечении  $f_{\text{фр}}$  калориферов принимается скорость в циркуляционном канале  $\omega_u$ . Массовая скорость в этом канале

$$(\omega \cdot \rho)_u = \frac{V_p \rho_1}{3600 \cdot L_k H_u} = \frac{46750 \cdot 0,92}{3600 \cdot 6,3 \cdot 1,1} = 1,72 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

Коэффициент теплопередачи калорифера при скорости циркуляции греющей воды в калорифере  $\omega_{\text{вод}} = 0,5 \text{ м}/\text{с}$ .

$$K = 34,4(\omega_p)^{0,429} \cdot \omega_{\text{вод}}^{0,123} = 34,4 \cdot 1,72^{0,429} \cdot 0,5^{0,123} = 39,91 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Расчетная поверхность нагрева калориферов:

$$F_{\text{кэл}} = k_f \frac{Q_{\text{кэл}}}{0,001 \cdot K(t_{\text{вод}} - t_1)} = 1,3 \frac{32,4}{0,001 \cdot 39,91 \cdot (92 - 75)} = 62 \text{ м}^2.$$

Требуемое количество калориферов в камере:

$$n = \frac{F_{\text{кэл}}}{F} = \frac{62}{29,6} = 2,09.$$

Окончательно принимаем для установки в камере три калорифера марки ТБЗ-10.10.02УЗ. Подбор других марок не представляется целесообразным, поскольку выбранная марка имеет минимальную поверхность нагрева из тех калориферов, которые по своим размерам полностью перекрывают циркуляционный канал.

**5.9. Теплоснабжение камеры и сушильного цеха.** Разработку системы теплоснабжения производим в следующем порядке: а) составляем схему теплоснабжения камеры и сушильного цеха; б) определяем тепловую мощность сушильного цеха; в) рассчитываем диаметры трубопроводов и расход воды, которая циркулирует в системе.

Схема теплоснабжения сушильного цеха включает схемы: монтажа калориферов к камере, системы управления (места расположения вентилей, гидроклапанов САР), магистральных труб подачи воды к камерам и отвода от камер. (Выполняется в виде отдельного чертежа в соответствии с примером, приведенным в § 33, рис. 7.7.)

Тепловая мощность сушильного цеха:

$$N_{\text{цех}} = 1,2 \cdot Q_{\text{кэл}} \cdot n_k = 1,2 \cdot 32,4 \cdot 6 = 233,3 \text{ кВт}.$$

Расчет диаметров трубопроводов. Первоначально рассчитываем расход воды, проходящей через калориферы одной камеры:

$$W_k = \omega_{\text{кэл}} f_n n = 0,5 \cdot 0,00163 \cdot 3 = 0,00245 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Диаметры подводящей и отводящей труб, к которым подсоединяются калориферы в камере, имеют одинаковый диаметр. Диаметр этих труб при скорости движения воды 1,2 м/с равен:

$$D_k = 1000 \sqrt{1,27 \frac{W_k}{\omega_{\text{кэл},k}}} = 1000 \sqrt{\frac{1,27 \cdot 0,00245}{1,2}} = 50 \text{ мм}.$$

Расчетный диаметр точно совпадает со стандартным (ГОСТ 10704—76). Трубы этого диаметра выходят из камеры в коридор управления. На подводящей трубе монтируется регулирующий клапан, снабженный исполнительным механизмом для САР. На отводящей трубе устанавливается вентиль ручного управления. Предусмотрены вентили для слива воды из системы  $D_y = 20 \text{ мм}$ .

Секундный расход воды в магистральных трубах при числе камер, равном шести:

$$W_m = W_k n_k = 0,00245 \cdot 6 = 0,0147 \text{ м}^3/\text{с},$$

а часовой расход (для выбора циркуляционного насоса системы теплоснабжения):

$$W_{м.ч} = 3600 \cdot 0,0147 = 53 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Диаметр магистральных труб, подводящих (отводящих) воду к камерам:

$$D_m = 1000 \sqrt{1,27 \frac{W_m}{\omega_{\text{вод.м}}}} = 1000 \sqrt{1,27 \frac{0,0147}{2,0}} = 97 \text{ мм}.$$

Полученный расчетом диаметр магистральной трубы округляем в большую сторону до величины  $D_y = 100$  мм.

## 6. Аэродинамический расчет сушильной камеры

Целями аэродинамического расчета сушильной камеры являются:

- определение количества циркулирующего сушильного агента в камере;
- выбор схемы его циркуляции в камере;
- выбор класса циркуляционного вентилятора;
- выбор типа и расчет параметров вентилятора.

Класс вентилятора и схема циркуляции сушильного агента в камере установлены выше (см. п. 2). Расчетный объем циркулирующего воздуха определен в тепловом расчете (см. п. 5.5).

Задача аэродинамического расчета сводится к выбору типа и расчету основных параметров циркуляционного вентилятора, а именно, его марки, номера, производительности и развиваемого давления, КПД, а также мощности привода.

**Выбор типа и марки вентилятора.** В современные сушилки устанавливают осевые вентиляторы, которые вместе с электродвигателями находятся внутри камеры. Выбираем отечественный вентилятор серии FTDA, выпускаемый ЗАО «ЛАДА-ФЛЕКТ», г. Тольятти.

С учетом высоты циркуляционного канала, равной 1100 мм, и габаритных размеров вентиляторов (см. табл. 6.5) возможна установка вентиляторов 063 и 071. Предварительно выбираем реверсивный вентилятор серии FTDA-REV-063-6. Количество венти-

ляторов устанавливаем по рекомендациям, приведенным в § 74. При общей длине штабеля, равной 6,0 м, принимаем три вентилятора по длине камеры.

Объем циркулирующего в камере агента сушки составляет  $V_p = 48 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а его плотность  $\rho_1 = 0,92 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Производительность одного вентилятора составляет:

$$V_{\text{вен}} = V_p / 3 = 46750 / 3 = 15 580 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Техническая характеристика вентилятора FTDA-REV-0,63-6 приведена в табл. ПЗ.6.

Таблица ПЗ.6. Основные характеристики вентилятора FTDA-REV-063-6

Модель вентилятора	Исполнение корпуса 2				Мощность, кВт	Класс изоляции	Максимальная производительность и давление		Температура среды, °С
	А, мм	Б, мм	В <sub>max</sub> , мм	В <sub>1</sub> , мм			м <sup>3</sup> /ч	Па	
FTDA-REV-063-6	830	834	456	268	2,2	Н	18500	165	100

Давление, развиваемое вентилятором. Для уточнения номера вентилятора и определения остальных его характеристик требуется рассчитать давление,  $P_{\text{вен}}$ , Па, развиваемое вентилятором.

Камеры имеют замкнутое кольцо циркуляции. Давление  $P_{\text{вен}}$ , Па, создаваемое вентилятором, определяется только аэродинамическим сопротивлением системы. Оно равно сумме сопротивлений прямолинейных участков каналов, местных сопротивлений, которыми являются штабеля, калориферы, изменения площадей поперечного сечения каналов, изменения направления движения сушильного агента. Аэродинамическое сопротивление рассчитываем по формулам (18.50) и (18.51), § 74:

$$P_{\text{вен}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i; \quad \Delta P_i = \xi_i \frac{\rho_1 \omega_i^2}{2}.$$

Величина падения давления в калориферах:  $\Delta P_k = 1,96(\omega_p)^{1,993}$  (см. табл. 18.4).

Составляем аэродинамическую схему кольца циркуляции сушильного агента к камере, обозначаем участки местных сопротивлений. Эта схема полностью совпадает со схемой на рис. 18.2, которую используем в дальнейших расчетах. Размеры каналов определяем по данным п. 3. Далее рассчитываем аэродинамическое сопротивление  $\Delta P$  на каждом участке. Расчеты сводим в табл. ПЗ.7.

Таблица П3.7. Расчет давления, развиваемого вентилятором

№ участка	Наименование участков	Площадь сечения канала, м <sup>2</sup>	Площадь сечения канала, м <sup>2</sup>	Отношение площадей	Скорость воздуха в канале, м/с	Коэффициент сопротивления, ζ	Потери напора на участке, Δh, Па
1	Сопротивление caloriferов	—	—	—	—	—	6,25
2	Поворот потока на 90° в боковой канал	6,3	3,78	—	3,57	1,1	6,45
3	Сужение потока при повороте в боковой канал	6,3	3,78	0,6	3,57	0,13	7,62
4	Поворот потока на 90° к штабелю	3,78	9,45	—	3,57	1,1	6,45
5	Расширение потока перед штабелем	3,78	9,45	0,4	3,57	0,36	2,11
6	Сопротивление штабеля	—	—	—	1,43	11,0	10,53
7	Сужение потока при выходе из штабеля в боковой канал	9,45	3,78	0,4	3,57	0,27	1,58
8	Поворот потока на 90° при выходе из штабеля	9,45	3,78	—	3,57	1,1	6,45
9	Расширение потока при входе в циркуляционный канал	3,78	6,3	0,6	3,57	0,13	7,62
10	Поворот потока на 90° при входе в циркуляционный канал	3,78	6,3	—	3,57	1,1	6,45
Итого: P <sub>всн</sub>							61,5

Рассчитываем характеристическое давление вентилятора:

$$P_{\text{хар}} = 1,2 \cdot 61,5/0,92 = 80,2 \text{ Па.}$$

Поскольку характеристическое давление не превышает максимальное давление, развиваемое выбранным вентилятором, то окончательно выбираем вентилятор FTDA-REV-063-6.

## 7. Техническая характеристика сушильной камеры

В результате проведенных технологического, теплового и аэродинамического расчетов составлена техническая характеристика камеры, отражающая основные ее технические показатели. Эта характеристика представлена в табл. П3.8.

Таблица П3.8. Техническая характеристика сушильной камеры

№ п/п	Технические показатели	Размерность	Величина
1	Габаритные внутренние размеры камеры:	длина	6,3
		ширина	3,0
		высота	
2	Габаритные размеры пакета:	длина	3,0
		ширина	1,8
		высота	1,2
3	Число штабелей/сушильных пакетов в камере	шт.	2/4
4	Вместимость штабеля в условном материале	м <sup>3</sup>	7,25
5	Вместимость камеры в условном материале	м <sup>3</sup>	14,5
6	Производительность камеры в условном материале	м <sup>3</sup> /год	1104
7	Тепловая мощность камеры	кВт	32
8	Тип, марка calorифера, установленного в камере		ТБЗ-10.10.02У3
9	Число calorиферов в камере	шт.	3
10	Поверхность нагрева calorифера	м <sup>2</sup>	29,6
11	Тепловая мощность сушильного цеха	кВт	233
12	Марка вентилятора, установленного в камере		FTDA-REV-063-6
13	Мощность вентилятора	кВт	2,2
14	Число вентиляторов в камере	шт.	3
15	Объем циркулирующего сушильного агента	м <sup>3</sup> /ч	46750
16	Скорость сушильного агента в штабеле	м <sup>2</sup> /с	1,45
17	Температура теплоносителя	°C	92

## Оглавление

Предисловие .....	3
Введение .....	5
<b>Глава 1. ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ СРЕДА И ЕЕ СВОЙСТВА .....</b>	<b>9</b>
§ 1. Понятие об агентах обработки. Водяной пар .....	9
§ 2. Влажный воздух и его параметры .....	12
§ 3. <i>Id</i> -диаграмма влажного воздуха .....	14
§ 4. Основные процессы изменения состояния воздуха .....	17
§ 5. Топочные газы, <i>Ida</i> -диаграмма .....	21
<b>Глава 2. СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ КАК ОБЪЕКТА ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....</b>	<b>25</b>
§ 6. Вода в древесине. Плотность древесины .....	25
§ 7. Гигроскопичность древесины. Равновесная влажность .....	29
§ 8. Усушка и разбухание древесины .....	34
§ 9. Тепловые и электрические свойства древесины .....	36
§ 10. Влияние температуры и влажности древесины на ее прочность .....	41
<b>Глава 3. ИЗМЕРЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ .....</b>	<b>44</b>
§ 11. Приборы для контроля состояния агента обработки .....	44
§ 12. Приборы для измерения скорости движения газов .....	57

§ 13. Приборы для измерения давления .....	59
§ 14. Измерение влажности древесины .....	61
<b>Глава 4. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ .....</b>	<b>66</b>
§ 15. Основные способы тепловой обработки древесины .....	66
§ 16. Проварка древесины .....	69
§ 17. Пропарка древесины .....	77
§ 18. Тепловая обработка топочными газами .....	81
§ 19. Расчет устройств тепловой обработки .....	83
<b>Глава 5. СПОСОБЫ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ СУШКИ .....</b>	<b>90</b>
§ 20. Способы сушки древесины .....	90
§ 21. Основные закономерности движения влаги в древесине и характеристика основных процессов сушки .....	91
§ 22. Напряжения в древесине при сушке .....	96
§ 23. Принципы построения режимов сушки .....	100
<b>Глава 6. КЛАССИФИКАЦИЯ СУШИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ. ТЕПЛОВОЕ И ЦИРКУЛЯЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ .....</b>	<b>103</b>
§ 24. Классификация сушильных устройств .....	103
§ 25. Воздушные конвективные сушилки .....	105
§ 26. Газовые сушилки .....	109
§ 27. Сушилки, действующие перегретым паром .....	111
§ 28. Расчет расхода тепла на сушку .....	112
§ 29. Классификация оборудования сушильных устройств ..	115
§ 30. Тепловое оборудование .....	116
§ 31. Циркуляционное оборудование .....	125
<b>Глава 7. СУШИЛЬНЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>134</b>
§ 32. Разновидности сушильных камер. Штабель пиломатериалов .....	134

§ 33. Камеры периодического действия .....	140
§ 34. Камеры непрерывного действия .....	148
§ 35. Выбор типа сушильных камер .....	154
<b>Глава 8. ТРАНСПОРТ В СУШИЛЬНЫХ ЦЕХАХ .....</b>	<b>158</b>
§ 36. Основные понятия о транспорте в сушильных цехах ..	158
§ 37. Формирование сушильного штабеля .....	159
§ 38. Транспортные средства в сушильных цехах .....	163
§ 39. Состав сушильного цеха. Планировка сушильных цехов .....	178
<b>Глава 9. ТЕХНОЛОГИЯ КАМЕРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>187</b>
§ 40. Принципы проведения сушки пиломатериалов .....	187
§ 41. Технологические режимы сушки пиломатериалов ....	188
§ 42. Контроль текущей влажности пиломатериалов и сушильных напряжений .....	199
§ 43. Дефекты и качество сушки пиломатериалов .....	207
<b>Глава 10. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СУШИЛЬНЫХ КАМЕР. УЧЕТ РАБОТЫ СУШИЛЬНОГО ЦЕХА. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....</b>	<b>216</b>
§ 44. Производственные расчеты продолжительности сушки .....	216
§ 45. Производительность сушильных камер. Учет работы ..	222
§ 46. Безопасность жизнедеятельности. Пожарная безопасность .....	228
<b>Глава 11. АТМОСФЕРНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ..</b>	<b>232</b>
§ 47. Особенности атмосферной сушки пиломатериалов ....	232
§ 48. Устройство и планировка складов атмосферной сушки .....	233
§ 49. Организация и проведение атмосферной сушки. Антисептирование пиломатериалов .....	240

<b>Глава 12. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>245</b>
§ 50. Диелектрическая сушка .....	245
§ 51. Сушка в жидкостях .....	250
§ 52. Вакуумная сушка .....	251
<b>Глава 13. СУШКА ШПОНА .....</b>	<b>258</b>
§ 53. Особенности сушки шпона. Типы сушильных устройств .....	258
§ 54. Роликовые сушилки .....	259
§ 55. Сушка шпона непрерывной лентой .....	270
§ 56. Режимы и продолжительность сушки шпона .....	272
<b>Глава 14. СУШКА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ .....</b>	<b>274</b>
§ 57. Особенности сушки измельченной древесины. Классификация сушилок .....	274
§ 58. Барабанные сушилки .....	275
§ 59. Комбинированные сушилки .....	281
§ 60. Ленточные сушилки .....	285
<b>Глава 15. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ .....</b>	<b>287</b>
§ 61. Характеристика методов защиты древесины .....	287
§ 62. Области применения консервирования и огнезащиты древесины .....	290
§ 63. Средства химической защиты древесины от биоразрушений и возгорания .....	293
<b>Глава 16. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ .....</b>	<b>300</b>
§ 64. Физические явления в процессах пропитки. Подготовка древесины к пропитке .....	300
§ 65. Характеристика способов пропитки .....	306
§ 66. Технологические схемы автоклавной пропитки .....	310

§ 67. Оборудование автоклавных пропиточных установок .....	316
§ 68. Параметры защищенности древесины. Безопасность жизнедеятельности. Охрана окружающей среды .....	324
<b>Глава 17. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ .....</b>	<b>328</b>
§ 69. Принципы регулирования состояния сушильного агента. Автоматические регуляторы .....	328
§ 70. Системы автоматического регулирования состояния сушильного агента .....	335
<b>Глава 18. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК .....</b>	<b>342</b>
§ 71. Принципы проектирования установок .....	342
§ 72. Технологический расчет установок .....	346
§ 73. Тепловой расчет установки .....	347
§ 74. Аэродинамический расчет сушилки .....	363
<b>Глава 19. ЭКОНОМИКА ПРОЦЕССОВ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ .....</b>	<b>369</b>
§ 75. Техничко-экономические показатели работы установок гидротермической обработки древесины ...	369
§ 76. Себестоимость сушки древесины .....	377
<b>Литература .....</b>	<b>381</b>
<b>Приложение 1. Основные климатологические данные некоторых городов России .....</b>	<b>384</b>
<b>Приложение 2. Технические характеристики основных строительных материалов .....</b>	<b>385</b>
<b>Приложение 3. Пример расчета сушилки .....</b>	<b>387</b>

Расев Александр Иванович  
Косарин Анатолий Александрович

## Гидротермическая обработка и консервирование древесины

Учебное издание

Редактор Л. А. Милинская  
Корректор Л. А. Шитова  
Компьютерная верстка И. В. Кондратьевой  
Оформление серии П. Родькина

Подписано в печать 01.02.2010. Формат 60×90/16.  
Печать офсетная. Гарнитура «Тайме». Усл. печ. л. 26,0. Уч.-изд. л. 26,7.  
Бумага офсетная. Тираж 1500 экз. Заказ № 3015.

Издательство «ФОРУМ»  
101990, Москва — Центр, Колпачный пер., д. 9а  
Тел./факс: (495) 625-32-07, 625-52-43  
E-mail: forum-knigi@mail.ru

По вопросам приобретения книг обращайтесь:

Отдел продаж издательства «ФОРУМ»  
101990, Москва — Центр, Колпачный пер., д. 9а  
Тел./факс: (495) 625-52-43  
E-mail: alla-forum@mail.ru  
www.forum-books.ru

Отдел продаж «ИНФРА-М»  
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в  
Тел.: (495) 380-05-40 (доб. 252)  
Факс: (495) 363-92-12  
E-mail: ati@infra-m.ru

Отдел «Книга-почтой»  
E-mail: podpiska@infra-m.ru;  
books@infra-m.ru

Проект «Мегабiblioteca России»  
119019, Москва, ул. Моховая, д. 16  
(Российская государственная библиотека, кор. К)  
Тел.: (495) 695-93-15  
E-mail: mohovaya@infra-m.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Виды Печата»  
«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова».  
214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.