

Введение . . . . .	3
<b>Глава I. Обработывающая среда и ее свойства</b> . . . . .	<b>5</b>
§ 1. Водяной пар . . . . .	5
§ 2. Влажный воздух и его параметры . . . . .	6
§ 3. Диаграммы влажного воздуха . . . . .	9
§ 4. Основные процессы изменения состояния воздуха . . . . .	11
§ 5. Топочные газы. <i>Ida</i> -диаграмма . . . . .	14
<b>Глава II. Свойства древесины, имеющие значение при ее сушке</b> . . . . .	<b>18</b>
§ 6. Влага в древесине . . . . .	18
§ 7. Основные способы определения влажности древесины . . . . .	19
§ 8. Гигроскопичность древесины. Равновесная влажность . . . . .	22
§ 9. Усушка и разбухание древесины. Плотность древесины . . . . .	24
§ 10. Влияние сушки древесины на ее прочность . . . . .	27
<b>Глава III. Физические явления, происходящие в древесине при ее сушке</b> . . . . .	<b>29</b>
§ 11. Способы сушки древесины . . . . .	29
§ 12. Закономерности движения влаги в древесине и характеристика основных процессов сушки . . . . .	30
§ 13. Напряжения в древесине при сушке. Влаготеплообработка . . . . .	33
§ 14. Основные принципы построения рациональных режимов сушки древесины . . . . .	35
<b>Глава IV. Классификация сушильных устройств. Тепловое и циркуляционное оборудование</b> . . . . .	<b>37</b>
§ 15. Классификация сушильных устройств . . . . .	37
§ 16. Классификация оборудования сушильных устройств . . . . .	38
§ 17. Калориферы . . . . .	38
§ 18. Конденсаторо-водо- и увлажнительные трубы. Паропроводы . . . . .	41
§ 19. Тонки . . . . .	44
§ 20. Вентиляторы . . . . .	46
§ 21. Вентиляторные и эжекторные установки . . . . .	48
<b>Глава V. Сушильные камеры для пиломатериалов</b> . . . . .	<b>51</b>
§ 22. Классификация сушильных камер . . . . .	51
§ 23. Ограждения сушильных камер . . . . .	51
§ 24. Методы укладки пиломатериалов в штабеля . . . . .	54
§ 25. Воздушные и паровоздушные камеры периодического действия . . . . .	55
§ 26. Камеры периодического действия с аэродинамическим подогревом . . . . .	64
§ 27. Конденсационные сушильные камеры . . . . .	66
§ 28. Газовые камеры периодического действия . . . . .	67
§ 29. Воздушные камеры непрерывного действия . . . . .	70
§ 30. Газовые камеры непрерывного действия . . . . .	75
§ 31. Область применения сушильных камер . . . . .	77

Глава VI. Транспорт и устройства для формирования штабелей в сушильных цехах . . . . .	79
§ 32. Основные принципы формирования штабелей . . . . .	79
§ 33. Устройства для формирования и транспортирования штабелей . . . . .	81
§ 34. Организация транспортных работ в сушильном цехе. Планировка цеха . . . . .	87
§ 35. Техника безопасности при транспортных работах в сушильных цехах . . . . .	91
Глава VII. Проведение камерной сушки пиломатериалов . . . . .	93
§ 36. Подготовка камеры к сушке. Принципы проведения камерной сушки . . . . .	93
§ 37. Режимы камерной сушки . . . . .	95
§ 38. Режимы влаготеплообработок . . . . .	102
§ 39. Контроль за влажностью древесины и внутренними напряжениями в процессе сушки . . . . .	103
§ 40. Качество сушки пиломатериалов. Окончание процесса сушки . . . . .	108
§ 41. Расчет продолжительности сушки . . . . .	113
§ 42. Расчет производительности и учет работы сушильных камер . . . . .	117
§ 43. Техника безопасности при обслуживании сушильных камер и противопожарные мероприятия . . . . .	121
Глава VIII. Атмосферная сушка пиломатериалов . . . . .	123
§ 44. Особенности атмосферной сушки пиломатериалов . . . . .	123
§ 45. Устройство и планировка складов атмосферной сушки . . . . .	124
§ 46. Организация и проведение атмосферной сушки. Антисептирование пиломатериалов . . . . .	129
§ 47. Интенсификация процессов атмосферной сушки . . . . .	132
Глава IX. Особые способы сушки пиломатериалов . . . . .	134
§ 48. Диэлектрическая сушка . . . . .	134
§ 49. Сушка в жидкостях . . . . .	136
§ 50. Индукционная сушка . . . . .	138
§ 51. Вакуумная сушка . . . . .	139
Глава X. Сушка шпона . . . . .	141
§ 52. Особенности сушки шпона . . . . .	141
§ 53. Типы роликовых сушилок . . . . .	142
§ 54. Воздушные роликовые сушилки . . . . .	144
§ 55. Газовые роликовые сушилки . . . . .	149
Глава XI. Сушка измельченной древесины . . . . .	152
§ 56. Классификация сушилок для сушки измельченной древесины . . . . .	152
§ 57. Барабанные сушилки . . . . .	153
§ 58. Пневматические сушилки . . . . .	157
§ 59. Ленточные сушилки . . . . .	159
Глава XII. Сушка в производстве древесноволокнистых плит . . . . .	161
§ 60. Сушка древесноволокнистых плит . . . . .	161
§ 61. Сушка древесноволокнистой массы в производстве твердых древесноволокнистых плит сухим способом . . . . .	162

Глава XIII. Контроль и регулирование процессов сушки древесины . . . . .	164
§ 62. Приборы для контроля за состоянием сушильного агента . . . . .	164
§ 63. Конструкции термометров и психрометров . . . . .	165
§ 64. Приборы для измерения скорости движения сушильного агента . . . . .	171
§ 65. Принципы регулирования состояния сушильного агента. Автоматические регуляторы . . . . .	172
§ 66. Системы автоматического регулирования состояния сушильного агента . . . . .	175
Литература . . . . .	178

ББК 37.130.3

Р24

УДК 674.04.047

**Расев А. И.**

**Р24 Сушка древесины. Учебник для проф.-техн. училищ.— М.: Высш. школа, 1980.— 181 с., ил. (Проф.техобразование. Деревообрабатывающая пром-сть). 30 к.**

В учебнике даны сведения о свойствах влажного воздуха и теплового газа и процессах изменения его состояния.

Приведены некоторые сведения о свойствах древесины (влажности, гигроскопичности и усушки). Рассмотрены основные явления, проходящие в процессах сушки. Описаны технологические приемы, оборудование, конструкции устройств для сушки древесины (пиломатериалов, шпона, измельченной древесины, древесноволокнистых плит). Изложены принципы контроля и регулирования режимов сушки древесины. Даны основные сведения по охране труда и технике безопасности.

Р 31503—121 104—80  
052(01)—80

3002000000

6П6.5  
ББК 37.130.3

В процессе сушки древесину окружает газообразная или жидкая среда. Эта среда называется *агентом сушки* или *сушильным агентом*. Сушильный агент передает тепло высушиваемой древесине и воспринимает испаренную из нее влагу.

Агентами сушки могут быть атмосферный воздух, топочные газы, водяной пар и их смеси, а в некоторых случаях гидрофобные, т. е. не смешивающиеся с водой, жидкости и водные растворы солей.

Гидрофобные жидкости используют в процессах сушки сравнительно редко. Их основные свойства будут рассмотрены в § 49.

Как правило, все процессы сушки проходят при давлении, близком к *атмосферному*, или *барометрическому*. Его колебания, связанные с погодными условиями, сравнительно невелики. Для технологии сушки давление сушильного агента будем считать всегда постоянным и равным технической атмосфере, т. е. приблизительно 0,1 МПа\*.

## § 1. Водяной пар

Рассмотрим наиболее важные свойства водяного пара, имеющие значение при 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 равновесия. Пар, находящийся в равновесии с образующей его жидкостью, будет *насыщенным*. Давление его в этом состоянии называется *давлением насыщения*.

Давление насыщения водяного пара  $p_n$  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 — определенная температура насыщения

\* 1 МПа  $\approx$  10 кгс/см<sup>2</sup>.

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

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 к давлению насыщения, соответствующего этой температуре, называют степенью насыщенности пара и обозначают

$$\varphi_n = p/p_n. \quad (1)$$

Насыщенный пар имеет  $p = p_n$ , а следовательно  $\varphi_n = 1$ . Он не может быть сушильным агентом, так как не способен испарять влагу из материала. В качестве сушильного агента используют перегретый пар, температура которого должна быть выше  $100^\circ\text{C}$ .

## § 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, т. е. он является влажным.

Атмосферное давление влажного воздуха равно сумме *парциальных давлений* сухого воздуха и водяного пара, содержащегося в воздухе. Парциальным давлением называют давление одной составляющей смеси газов.

Предположим, что из герметичного сосуда, содержащего смесь сухого воздуха и водяного пара при атмосферном давлении, каким-то образом удалили сухой воздух. Если объем сосуда при этом не изменился, то, измерив давление, мы обнаружим, что оно стало ниже первоначального. Измеренное давление и будет парциальным давлением водяного пара.

Обозначим парциальное давление пара  $p_n$ , сухого воздуха  $p_a$ , а атмосферное давление  $p_a$ . Тогда можно записать

$$p_a = p_n + p_a. \quad (2)$$

Сухой атмосферный воздух отличается постоянством своего состава и его можно рассматривать как однородный газ. Состояние однородного газа обычно определяется двумя параметрами — давлением и температурой, а при постоянном давлении — только температурой.

Содержание в воздухе водяного пара непостоянно. Поэтому состояние влажного воздуха определяется еще дополнительным параметром, характеризующим количество и состояние содержащегося в нем водяного пара. Состояние влажного воздуха в сушильной технике можно характеризовать двумя параметрами, поскольку давление остается постоянным.

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. Как и в чистом виде, пар в воздухе может быть перегретым (ненасыщенным) и насыщенным.

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

$$\varphi = p_n / p_{n*} \quad (3)$$

Если  $p_n = p_{n*}$  и  $\varphi = 1$ , то воздух содержит максимально возможное при данной температуре количество пара. Такой воздух насыщен водяным паром.

Сушильным агентом может быть лишь воздух, содержащий перегретый пар.

Отношение (3) называют *степенью насыщения воздуха паром* или *степенью насыщения*.

*Плотность* влажного воздуха — это масса одного кубического метра смеси воздуха и пара. Плотность воздуха обозначается  $\rho$  и имеет размерность  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Плотность влажного воздуха складывается из плотности сухого воздуха  $\rho_{\text{в}}$  и плотности содержащегося в воздухе водяного пара  $\rho_{\text{п}}$ .

Плотность пара в воздухе иногда называют *абсолютной влажностью воздуха*.

*Приведенный удельный объем* влажного воздуха — это объем влажного воздуха, приходящийся на 1 кг сухого воздуха. Обозначается латинской буквой  $v_{\text{пр}}$  и имеет размерность  $\text{м}^3/\text{кг}$  сухого воздуха.

Величины плотности и приведенного удельного объема в значительной степени зависят от температуры и степени насыщения воздуха. Они определяются графически, о чем будет сказано ниже.

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* называют массу водяного пара (в граммах), приходящуюся на 1 кг сухой части воздуха. Оно обозначается латинской буквой  $d$ . Так как пар и сухой воздух занимают один и тот же объем, то в соответствии с определением влагосодержание выражается отношением

$$d = 1000 \cdot \frac{p_n}{p_{\text{в}}} \frac{\text{г влаги}}{\text{кг сухого воздуха}} \quad (4)$$

*Теплосодержанием* воздуха называют общее количество тепла, содержащегося в воздухе, отнесенное к 1 кг сухой его части. Обоз-

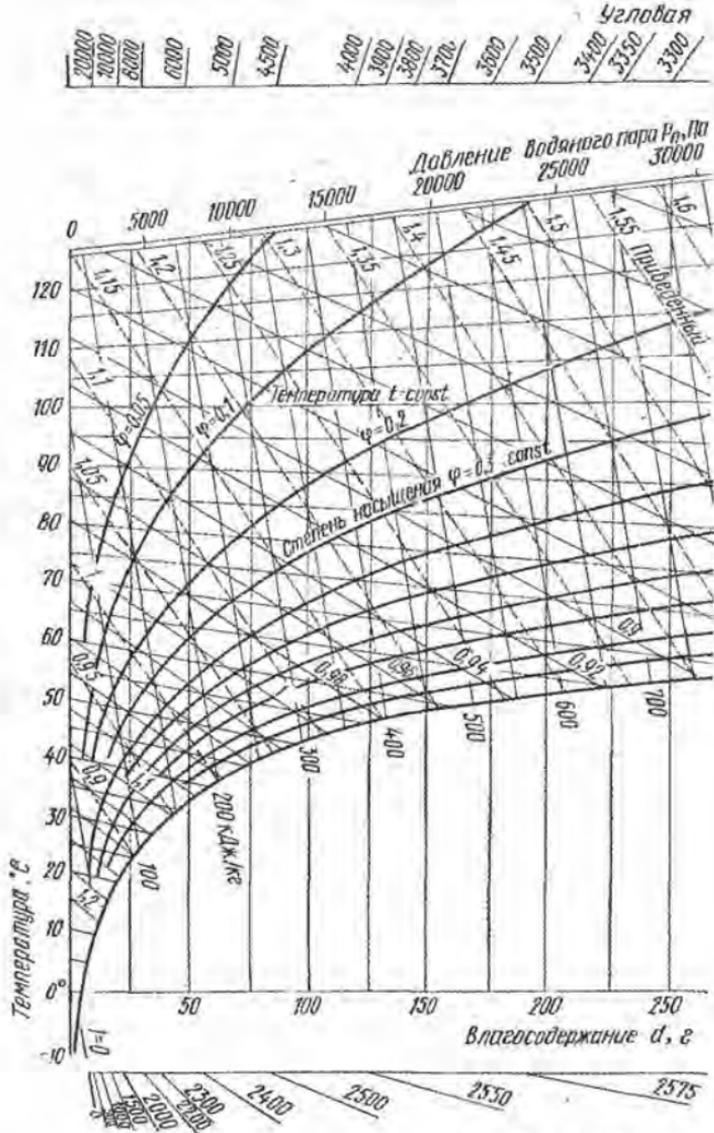


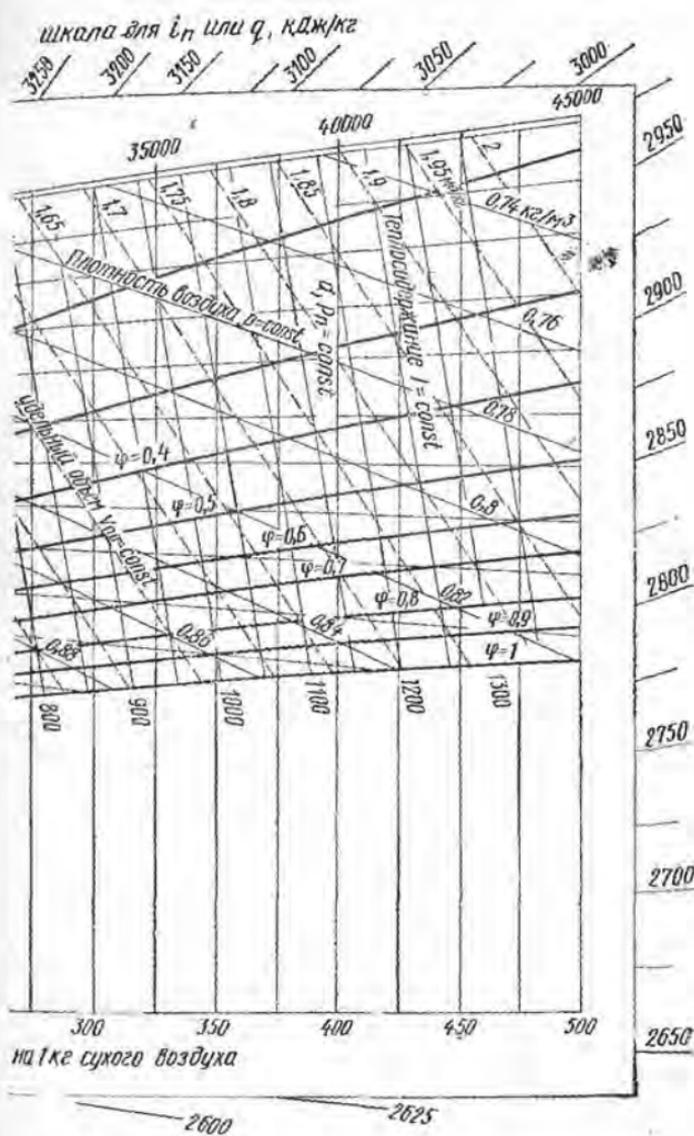
Рис. 1  $I$  $d$ -диаграмма

начается латинской буквой  $I$  и имеет размерность  $\text{кДж}^*/\text{кг}$  сухого воздуха. Оно складывается из теплосодержания сухого воздуха  $i_{\text{в}}$  и энтальпии содержащегося в воздухе пара  $i_{\text{п}}$ . Так как на 1 кг сухой части приходится  $0,001d$  кг влаги, то теплосодержание выразится суммой

$$I = i_{\text{в}} + 0,001d i_{\text{п}}. \quad (5)$$

Состояние воздуха иногда характеризуют относительной влажностью воздуха. *Относительная влажность воздуха* — это отношение абсолютной влажности в данном состоянии к абсолютной влажности воздуха, насыщенного влагой, при

\* 1 кДж  $\approx$  0,229 ккал.



влажного воздуха

той же температуре. Численно это отношение равно отношению  $p_n/p_n$ . Следовательно, относительная влажность воздуха и степень насыщения характеризуют одну и ту же величину. Однако термин «относительная влажность» — метеорологический. В сушильной технике применяется термин «степень насыщения».

### § 3. Диаграммы влажного воздуха

Рассмотренные выше параметры влажного воздуха могут быть легко определены с помощью  $Id$ - и  $tp$ -диаграмм влажного воздуха.

Впервые диаграмма, устанавливающая взаимосвязь между параметрами влажного воздуха, была разработана русским ученым, профессором Л. К. Рам-

зным в 1918 г. Она получила название *Id-диаграмма влажного воздуха*, так как была построена в координатах «теплосодержание — влагосодержание». Значителен вклад в термодинамику сушительных процессов советского ученого, профессора И. В. Кречетова, который усовершенствовал *Id*-диаграмму и предложил новую *tp*-диаграмму влажного воздуха.

Рассмотрим вариант *Id*-диаграммы проф. И. В. Кречетова.

На *Id*-диаграмму (рис. 1) 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 кривых. Кривая  $\varphi=1$  делит диаграмму на две области: верхнюю, которая характеризует состояние воздуха, содержащего перегретый или сухой насыщенный пар, и нижнюю область, определяющую состояние воздуха, содержащего мокрый пар.

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 (штрихами или пунктиром) семейства прямых  $\rho=\text{const}$  и  $v_{пр}=\text{const}$ .

*Id*-диаграмма является весьма важным пособием для сушильщика. Однако область ее применения ограничена.

Во влажном воздухе с повышением его температуры и степени насыщения будет возрастать содержание пара и соответственно уменьшаться количество сухого воздуха. Влагосодержание при этом увеличивается. При температуре  $t=100^\circ\text{C}$  и  $\varphi=1$  в паровоздушной смеси остается ничтожно малое количество собственно воздуха, ее влагосодержание стремится к бесконечности и эта смесь превращается в чистый водяной пар. Такое состояние или близкое к этому не может быть изображено на *Id*-диаграмме. Вместе с тем в сушильной практике в качестве сушильного агента широкое применение находит воздух с повышенной температурой и степенью насыщения, а также чистый перегретый пар атмосферного давления.

Взаимосвязь между параметрами влажного воздуха любых, без ограничения состояний может быть установлена с помощью *tp*-диаграммы (рис. 2).

Эта диаграмма построена в координатах температура  $t$  — парциальное давление водяного пара  $p_n$ . Она содержит семейство линий;  $t=\text{const}$  (горизонталы),  $p_n=\text{const}$  и  $d=\text{const}$  (вертикали),  $I=\text{const}$  (наклонные прямые) и  $\varphi=\text{const}$  (расходящиеся кривые).

Крайняя левая вертикаль характеризует состояние сухого воздуха без примеси пара, а крайняя правая — состояние чистого перегретого пара (при  $t=100^\circ\text{C}$  — сухого насыщенного пара). Область диаграммы, заключенная между этими вертикалями, определяет состояние влажного воздуха, имеющего любые соотношения собственно воздуха и пара.

С помощью *Id*- и *tp*-диаграмм 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  $\rho$  и удельный объем  $v_{\text{вп}}$ .

Находим на диаграмме точку пересечения линий  $t=86^{\circ}\text{C}$  и  $\varphi=0,4$ . Полученная точка характеризует заданное состояние воздуха. По положению этой точки относительно линии теплосодержания  $I$ , влагосодержания  $d$ , парциального дав-

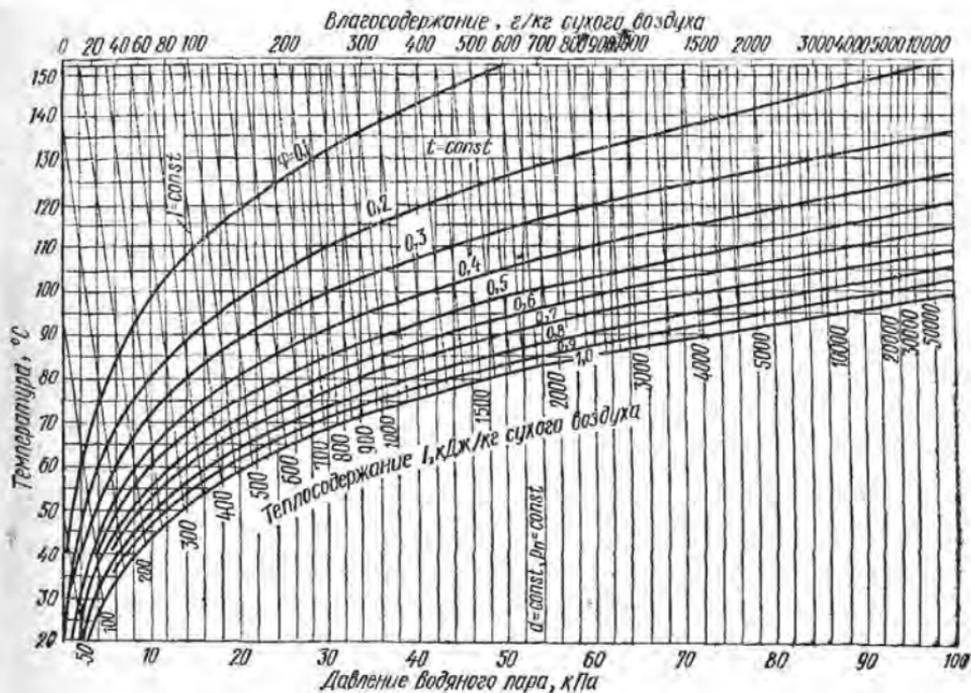


Рис. 2.  $tp$  — диаграмма влажного воздуха

ления  $p_n$ , плотности  $\rho$  и удельного объема  $v_{\text{вп}}$ , соответствующим шкалам и масштабу делений, определяем:

$I_d=635$  кДж/кг,  $d=205$  г/кг,  $p_n=25250$  Па,  $\rho=0,873$  кг/м<sup>3</sup>,  $v_{\text{вп}}=1,38$  м<sup>3</sup>/кг.

2. По  $Id$ -диаграмме найти температуру, теплосодержание  $I$  и влагосодержание  $d$  воздуха, насыщенного влагой, если парциальное давление пара составляет  $30\,000$  Па.

Если воздух насыщен влагой, то его состояние на диаграмме изображается линией  $\varphi=1$ . Точка, которая характеризует состояние воздуха по условию задачи, лежит на пересечении линий  $\varphi=1$  и  $p_n=30\,000$  Па. По положению этой точки находим:  $t=68^{\circ}\text{C}$ ,  $I=745$  кДж/кг,  $d=260$  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 и смешение воздуха различных состояний. 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 насыщения. Количество влаги в воздухе остается неизменным, а, следовательно, влагосодержание постоянным. На  $Id$ -диаграмме нагревание воздуха, первоначальное состояние которого характеризуется точкой 1 (рис. 3), изображается вертикальной прямой 1—2, параллельной линии  $d = \text{const}$ .

Охлаждение воздуха связано с понижением его температуры, теплосодержания и повышением степени насыщения (линия 1—3).

В определенных условиях при охлаждении воздух может достигнуть состояния насыщения (точка 4).

Дальнейшее его охлаждение будет сопровождаться конденсацией водяного пара (отрезок 4—5) и уменьшением влагосодержания. Состояние, при котором воздух, охлаждаясь о сухую поверхность, достигает насыщения, называется *точкой росы*, а соответствующая этому состоянию температура — температурой росы  $t_p$ .

Аналогично изображаются процессы нагревания и охлаждения на  $tp$ -диаграмме.

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 насыщения и влагосодержание увеличиваются. Теплосодержание же остается постоянным ( $I = \text{const}$ ), так как тепло, затрачиваемое на испарение, передается образовавшемуся пару и остается в воздухе в виде скрытой теплоты парообразования.

Если исходное состояние воздуха характеризуется точкой 1 на  $Id$ -диаграмме (см. рис. 3), то процесс испарения влаги изобразится прямой 1—6, параллельной линии  $I = \text{const}$ .

В процессе испарения воздух может оказаться насыщенным водяным паром (точка 7). 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 7 характеризует состояние воздуха, называемое *пределом охлаждения при испарении* или *пределом охлаждения*. Температура, при которой воздух, испаряя влагу, достигает состояния насыщения, называется *температурой предела охлаждения*  $t_{п.о.}$ .

Мокрое тело, омываемое воздухом, при достаточной длительности процесса приобретает температуру, равную температуре пре-

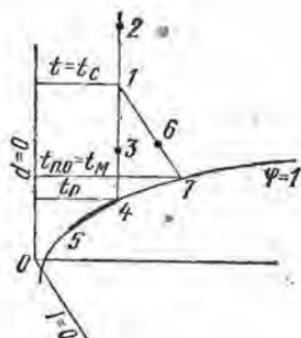


Рис. 3. Схема процессов нагревания, охлаждения воздуха и испарения влаги на  $Id$ -диаграмме

дела охлаждения. Важно отметить, что  $t_{п.о}$  при атмосферном давлении, а следовательно, и температура мокрого тела, окруженного воздухом, независимо от температуры последнего, всегда ниже  $100^\circ\text{C}$ . При атмосферном давлении  $t_{п.о} = 100^\circ\text{C}$  имеет только чистый перегретый пар.

Температура предела охлаждения может быть измерена смоченным термометром, т. е. термометром, у которого чувствительный элемент — шарик обернут тканью, смачиваемой в воде. Смоченный термометр в паре с обычным, сухим термометром образует прибор — психрометр (рис. 4).

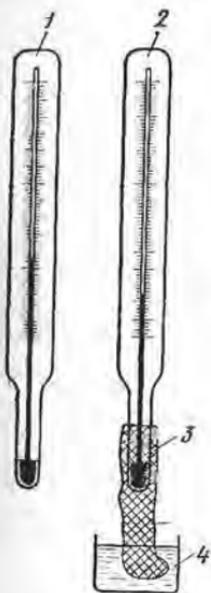


Рис. 4. Общий вид психрометра:

1 — сухой термометр, 2 — смоченный термометр, 3 — тканевый чехол, 4 — сосуд с водой

По показаниям сухого ( $t_c$ ) и смоченного ( $t_m$ ) термометров с помощью  $Id$ - и  $tp$ -диаграмм определяются все параметры воздуха. Для этого на диаграмме нужно найти точку пересечения прямой  $t_m = \text{const}$  с кривой  $\varphi = 1$  (см. рис. 3, точка 7). Через эту точку проводят линию  $I = \text{const}$  до пересечения ее с линией  $t_c = \text{const}$ . Полученная точ-

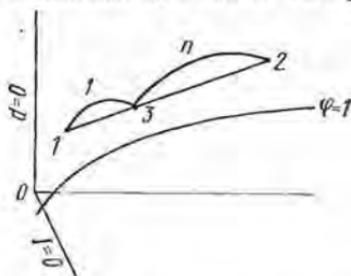


Рис. 5. Схема процесса смешения воздуха различных состояний на  $Id$ -диаграмме

ка 1 будет характеризовать состояние воздуха. Кроме того, степень насыщения  $\varphi$  может быть определена по психрометрическим диаграммам или таблицам.

Для операторов сушильных установок большой интерес представляют процессы смешения воздуха различных состояний, поскольку для обеспечения нормальной работы сушильных камер необходимо разбавлять находящийся в них воздух свежим.

Состояние смеси зависит от состояния ее компонентов и пропорции, в которой эти компоненты смешивают. Для анализа процесса смешения и определения параметров смеси используют только  $Id$ -диаграмму. Процесс смешения на диаграмме изображается следующим образом (рис. 5). Пусть смешиваются  $G_1$  килограмм воздуха состояния 1 и  $G_2$  килограмм воздуха состояния 2. Точки 1 и 2 на  $Id$ -диаграмме характеризуют состояние компонентов. Точка со-

стояния смеси находится по отрезке прямой  $I-2$ . Для нахождения положения этой точки на отрезке необходимо первоначально определить коэффициент пропорции смеси  $n$  из соотношения

$$n = \frac{G_1(1 - 0,001d_1)}{G_2(1 - 0,001d_2)}. \quad (6)$$

Затем отрезок  $I-2$  следует разделить на  $n+1$  часть, и от точки, характеризующей состояние преобладающего компонента (например, от точки  $I$ ), отложить одну часть. Получаем точку  $З$ , которая и характеризует состояние смеси. Для удобства построения рекомендуется брать  $n > 1$ .

**Примеры. 1.** Воздух температурой  $t=50^\circ\text{C}$  и степенью насыщения  $\varphi=0,7$  нагревают в теплообменнике до температуры  $90^\circ\text{C}$ . Найти теплосодержание  $I$  и степень насыщения  $\varphi$  нагретого воздуха. Находим на  $Id$ - или  $tp$ -диаграммах точку пересечения линий  $t=50^\circ\text{C}$  и  $\varphi=0,7$ . Из этой точки проводим прямую, параллельную линиям  $d=\text{const}$  (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,  $\varphi \approx 0,13$ .

2. Воздух, имеющий  $t=90^\circ\text{C}$  и  $\varphi=0,2$ , проходит через слой сырого материала и выходит из него при  $t_2=70^\circ\text{C}$ . Определить степень насыщения  $\varphi_2$  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 насыщения воздуха искомого состояния равна 0,5.

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

Выполнив на  $Id$ - или  $tp$ -диаграммах построения, аналогичные показанным на рис. 3, определяем, что  $t_p=65^\circ\text{C}$  и  $t_{п.о.}=66^\circ\text{C}$ .

4. По показаниям психрометра  $t_c=75^\circ\text{C}$  и  $t_m=60^\circ\text{C}$  определить с помощью  $Id$ - или  $tp$ -диаграмм следующие параметры: степень насыщения  $\varphi$ , влагосодержание  $d$  и теплосодержание  $I$ .

Находим точку пересечения линий  $t_m=60^\circ\text{C}$  и  $\varphi=1$ ; 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 50 кг воздуха при  $t_1=60^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_1=0,7$  и 25 кг воздуха при  $t_2=92^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_2=0,5$ . Определить температуру  $t_3$  и степень насыщения  $\varphi_3$  полученной смеси.

На  $Id$ -диаграмме выполняем следующие построения: находим точки  $I$  и  $2$ , характеризующие состояние воздуха, проводим отрезок прямой, соединяющий эти точки; рассчитываем коэффициент пропорции смеси  $n$ , предварительно определив влагосодержание воздуха состояний 1 и 2:  $d_1=100$  г/кг,  $d_2=400$  г/кг,

$n = \frac{50(1 - 0,1)}{25(1 - 0,4)} = 3$ ; делим отрезок  $I-2$  на  $n+1$  частей, т. е. на 4; откладываем одну часть от точки  $I$  (точка  $I$  характеризует состояние преобладающего компонента); получаем точку  $З$ , которая определяет состояние смеси. Таким образом,  $t_3=70^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_3=0,68$ .

## § 5. Топочные газы. $Ida$ -диаграмма

Топочные газы получают на деревообрабатывающих предприятиях в результате бездымного сжигания древесных отходов, природного газа и мазута. В некоторых случаях используют отходящие газы от котельных. В смеси с влажным воздухом топочные

газы используют для сушки измельченной древесины, шпона и пиломатериалов.

Состояние топочных газов зависит от вида и состава топлива, его влажности и условий горения. Оно характеризуется теми же параметрами, что и состояние воздуха.

В процессе горения химическая энергия топлива превращается в тепловую. Получаемые топочные газы состоят в основном из кислорода ( $O_2$ ), азота ( $N_2$ ), водорода ( $H_2$ ), углекислого газа ( $CO_2$ ) и водяных паров ( $H_2O$ ).

Физические свойства газов мало отличаются от свойств атмосферного воздуха. Поэтому для определения состояния топочного газа может быть применена *Id*-диаграмма с расширенной температурной шкалой. С целью установления взаимосвязи параметров газа с составом и влажностью топлива, а также условиями горения последнего в топке на *Id*-диаграмму наносят дополнительные линии постоянной влажности топлива  $W = \text{const}$  и коэффициента избытка воздуха  $\alpha = \text{const}$ . Такая диаграмма получила название *Id $\alpha$ -диаграммы топочных газов*. На рис. 6 дана *Id $\alpha$ -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). В деревообработке принят метод расчета влажности по отношению к массе сухой части вещества (абсолютная влажность), что будет рассмотрено ниже (см. § 6 учебника).

Для удобства расчетов линии постоянной влажности топлива на диаграмме имеют двойное обозначение, соответствующее относительной  $W_0$  и абсолютной  $W$  влажности.

Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ , являющийся основной характеристикой условий горения топлива, показывает величину отношения количества воздуха, затрачиваемого на сжигание топлива, к минимально необходимому количеству воздуха для полного сгорания этого топлива. Для получения топочного газа как агента сушки сжигание топлива проводят при  $\alpha > 1$ .

При полном сгорании топлива содержание углекислого газа зависит только от коэффициента  $\alpha$  и определяется (в %) из соотношения

$$CO_2 = 20,2/\alpha. \quad (7)$$

Таким образом, каждой величине  $\alpha$  соответствует вполне определенное содержание  $CO_2$ . Поэтому на линиях  $\alpha = \text{const}$  дано двойное обозначение ( $\alpha$  и  $CO_2$ ). Содержание углекислого газа в топочных газах определяют газоанализаторами.

*Id $\alpha$ -диаграмма* для древесного топлива может быть использована и для анализа состояния газов, получаемых при сжигании мазута и природного газа. Процесс горения мазута с достаточной степенью точности характеризуется на *Id $\alpha$ -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  $t=700^{\circ}\text{C}$  и содержание  $\text{CO}_2=10\%$ . Требуется определить теплосодержание  $I$ , влагосодержание  $d$ , плотность  $\rho$ , удельный объем  $v$ , 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:  $I=1320$  кДж/кг;  $d=155$  г/кг;  $\rho=0,34$  кг/м<sup>3</sup>;  $v_{\text{гр}}=3,4$  м<sup>3</sup>/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  $v_{\text{гр}}$ , плотность  $\rho$  полученного газа.

Находим на  $I\alpha$ -диаграмме точку пересечения линий  $t=900^{\circ}\text{C}$  и  $W=20\%$ . По положению точки определяем:  $I=1210$  кДж/кг,  $d=66$  г/кг;  $\alpha=2,22$ ;  $v_{\text{гр}}=3,65$  м<sup>3</sup>/кг;  $\rho \approx 0,29$  кг/м<sup>3</sup>.

## СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ, ИМЕЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ЕЕ СУШКЕ

### § 6. Влага в древесине

Древесина состоит из разнообразных растительных клеток преимущественно удлиненной формы. В древесине хвойных пород основным типом клеток являются трахеиды, а лиственных пород — волокна либриформа и сосуды. Кроме того, имеются клетки сердцевинных лучей и в небольшом количестве клетки древесной паренхимы.

Полости клеток, соединенные между собой порами (рис. 7), образуют в древесине макрокапиллярную систему, которая хорошо проницаема для жидкостей и газов в направлении вдоль волокон и значительно меньше — поперек волокон.

Стенки клеток имеют волокнистое строение. Они формируются из отдельных волоконцев — микрофибрилл, ориентированных вдоль оси клетки или под небольшим углом к ней. Микрофибриллы состоят из переплетенных между собой цепных молекул целлюлозы. Между микрофибриллами размещаются другие органические вещества — гемицеллюлозы и лигнин, а также имеются свободные сообщающиеся пространства, заполненные воздухом и влагой, количество которой непостоянно. Следовательно, в стенках клеток имеется своя капиллярная система, однако более тонкая, чем макрокапиллярная.

Содержание влаги в древесине, как и других веществах, характеризуют величиной отношения массы влаги в древесине к массе древесины. Это отношение, выраженное в процентах, называют *влажностью*. В технологии деревообработки принято рассчитывать влажность как отношение массы влаги, содержащейся в древесине, к ее массе в абсолютно сухом состоянии. Влажность  $W$  (в %) определяют в этом случае по выражению:

$$W = \frac{m_{вл}}{m_{сух}} \cdot 100 = \frac{m - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100, \quad (8)$$

где  $m$  — общая масса пробы, г;  $m_{сух}$  — масса пробы в абсолютно сухом состоянии, г;  $m_{вл}$  — масса влаги в пробе, г.

Влага в древесине может находиться как в полостях клеток, заполняя макрокапиллярную систему, так и в их стенках. Влагоу, находящуюся в полостях клеток и в пространствах между клетка-

ми, 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. Влажность предела насыщения ( $W_{п.н.}$ ) практически не зависит от породы и составляет в среднем 30%.

Если влажность древесины более  $W_{п.н.}$ , 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. I.

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

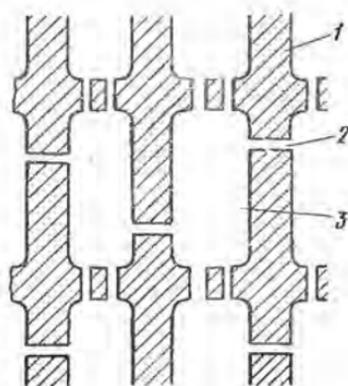


Рис. 7. Схема макроканилярной структуры древесины:

1 — стенка клетки, 2 — пора, 3 — полость клетки

Таблица I. Влажность свежесрубленной древесины

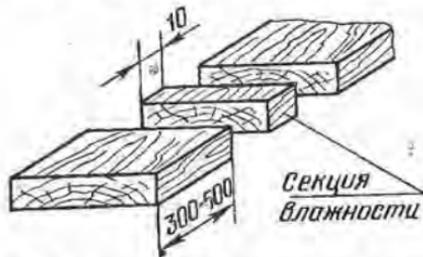
Порода	Влажность, %		
	ядра или спелой древесины	заболони	средняя
Сосна, ель	30—40	100—120	60—100
Лиственница	40—50	100—120	50—70
Береза	—	70—90	70—90
Дуб	50—80	70—80	60—80

## § 7. Основные способы определения влажности древесины

Влажность древесины определяют различными способами. Наиболее распространенными в деревообработке являются весовой и электрический способы.

**Весовой способ**, правила определения влажности которого регламентированы ГОСТ 16588—71, 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. 8) размером вдоль волокон около 10 мм. Эта проба называется *секцией влажности*. Секцию 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  $103 \pm 2^\circ \text{C}$ . Секцию периодически вынимают из шкафа и взвешивают, отмечая каждый раз в журнале результаты взвешивания. Первое взвешивание проводят 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 (в %) рассчитывают по отношению



$$W = \frac{m_n - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100. \quad (9)$$

Рис. 8. Схема вырезки секции влажности из доски

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

**Электрический способ** определения влажности основан на зависимости показателей электрических свойств древесины от ее влажности. Для измерения влажности в этом случае используют приборы, называемые *электровлагомерами*. Широкое распространение получили кондуктометрические влагомеры, принцип действия которых основан на зависимости электрического сопротивления древесины от ее влажности. Особенность работы этих электровлагомеров состоит в том, что они достаточно надежно измеряют влажность в диапазоне от 7 до 30%. Влажность выше 30% измеряется с большой погрешностью.

При сушке пиломатериалов используют электровлагомеры ЦНИИМОД-2; ЭВ8-100; ЭВА-2; ЭВА-2М; ЭВ-2К. Электровлагомер ЭВ-2К (рис. 9) состоит из электронного измерительного устройства 1 и датчика 2.

Датчик электровлагомера представляет собой трехигольчатый зонд, снабженный ручкой. При измерении влажности иглы датчика вводят в древесину на полную глубину в направлении вдоль волокон.

Показывающий прибор измерительного устройства имеет шкалу, отградуированную в процентах влажности для древесины сосны при температуре  $20^\circ \text{C}$ . Если измеряется влажность древесины других пород и при иной температуре, то в показания прибора вводят

ся поправки, значения которых даны в прилагаемых к электровлагомеру таблицах.

Электровлагомер имеет два диапазона измерения с пределами 7—22% и 22—60% влажности. Погрешность измерения в диапазоне влажности от 7 до 30% составляет  $\pm(2-3)\%$  влажности, в диапазоне от 30 до 60% — не нормируется. Практически же она составля-

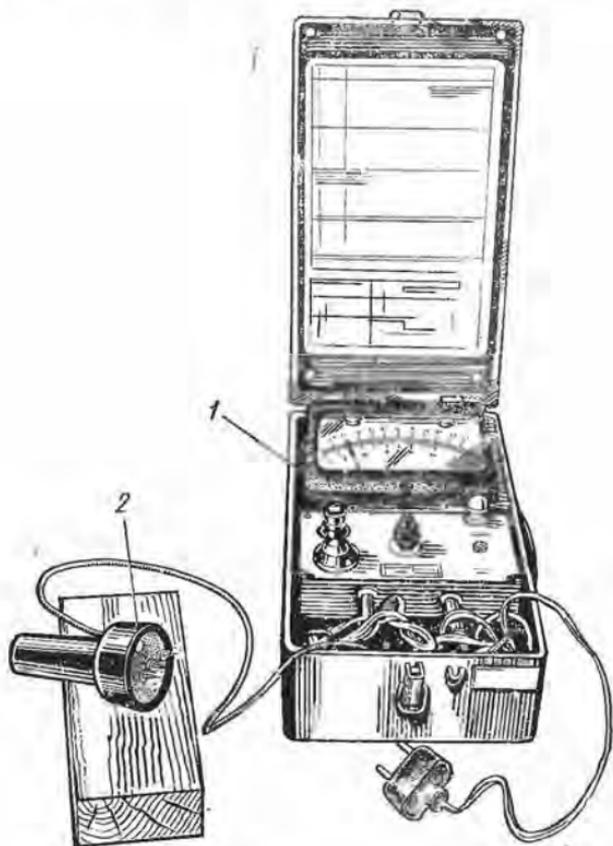


Рис. 9. Электровлагомер ЭВ-2К:

1 — электронное измерительное устройство, 2 — датчик

ет  $\pm(5-10)\%$ . Прибор работает от промышленной сети переменного тока напряжением 220 В.

Для измерения влажности древесных стружек и древесностружечных плит применяют электровлагомеры ДИ-2М. Прибор комплектуется двумя датчиками (для определения влажности стружки и плит) и электронным измерительным блоком, имеющим автономное питание.

Датчик для измерения влажности стружки представляет собой разъемный стакан, в котором между двумя дисковыми электродами с помощью пресса уплотняется навеска материала. С помощью

этих электродов измеряется электрическое сопротивление уплотненного материала — стружки.

Датчиком для измерения влажности древесностружечных плит служит четырехугольный зонд, укрепленный на ручке. Электро-влажномер позволяет измерять влажность стружки от 5 до 25%, а влажность древесностружечных плит — от 6 до 22%. Погрешность измерения  $\pm (1-2)\%$ .

## § 8. 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*. Устойчивую влажность древесина может достигнуть либо поглощая влагу из воздуха (сорбция), либо отдавая ее в воздух (десорбция).



Рис. 10 Кривые сорбции (1, 3) и десорбции (2, 4) во времени

Влагу из воздуха могут поглощать только клеточные стенки. Появление свободной влаги при этом невозможно, даже если воздух будет насыщен водяным паром. Максимальная устойчивая влажность, которую приобретает древесина при длительной выдержке в воздухе, насыщенном влагой, называется *влажностью предела гигроскопичности*  $W_{п.г}$ . 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  $W_{п.н}$ . Но в отличие от последней,  $W_{п.г}$  снижается при повышении температуры (при температуре 100° С она составляет около 19%). Устойчивая влажность древесины зависит только от температуры  $t$  и степени насыщения  $\phi$  воздуха.

Процессы сорбции и десорбции не вполне обратимы. При одинаковом состоянии воздуха устойчивая влажность при сорбции  $W_{у.с}$  меньше, чем устойчивая влажность при десорбции  $W_{у.д}$  (рис. 10, кривые 1 и 2). Разность между ними  $\Delta W = W_{у.д} - W_{у.с}$  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 его в практических расчетах не учитывают, считая, что  $W_{у.д} = W_{у.с}$  (рис. 10, кривые 3 и 4).

Например, если два отрезка доски — один влажностью около 30%, а другой в абсолютно сухом состоянии — выдерживать в воздушной среде с  $t=20^{\circ}\text{C}$  и  $\phi=0,4$ , 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. Это означает, что первый образец приобрел устойчивую влажность при десорбции, ее величина равна  $W_p=9-9,5\%$ , а второй образец — устойчивую влажность при сорбции, которая составляет 6—

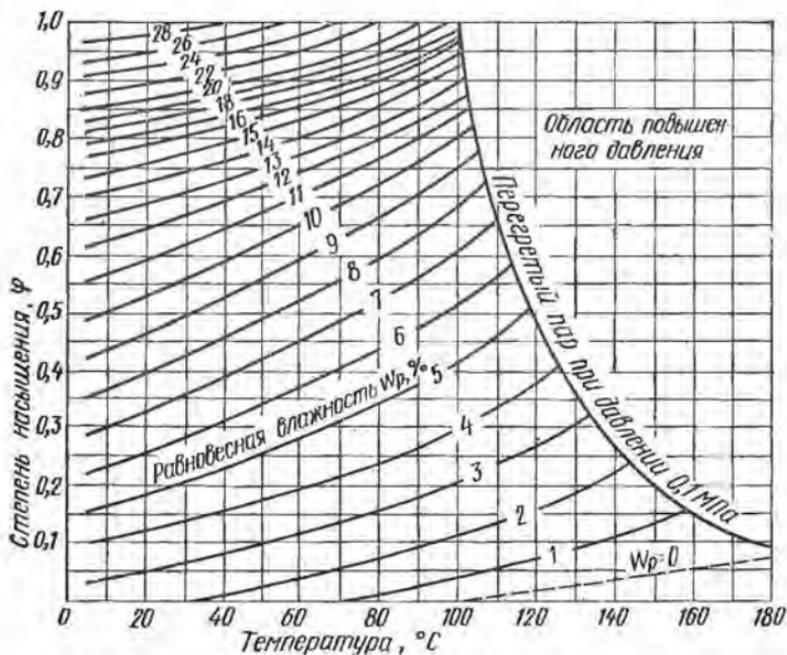


Рис. 11. Диаграмма равновесной влажности

7,5%. Как видим, разность между  $W_{уд}$  и  $W_{ус}$  равняется 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*. При расчетах ее величину определяют по специальным диаграммам. На рис. 11 приведена диаграмма равновесной влажности, разработанная профессором П. С. Серговским. Она построена в координатах температура — степень насыщения 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 сортиментов промышленных сечений. Если древесина не подвергалась

воздействию высокой температуры (более  $50^{\circ}\text{C}$ ), то

$$W_{y.d} = W_p + 1,25, \quad W_{y.c} = W_p - 1,25. \quad (10)$$

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

$$W_{y.d} = W_p; \quad W_{y.c} = W_p - 2,5. \quad (11)$$

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

По диаграмме на рис. 11 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  $W_{y.d} = 8 + 1,25 = 9,25\%$ .

**3.** Установить максимальную влажность, до которой могут увлажниться доски, предварительно высушенные в камере (до  $6\%$ ), 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  $W_{y.c} = 17 - 2,5 = 14,5\%$ .

## § 9. Усушка и разбухание древесины. Плотность древесины

Древесина относится к материалам, размеры которых меняются при изменении влажности. 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 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. Поглощение древесной влаги вызывает утолщение прослоек влаги между микрофибриллами и, следовательно, увеличение размеров 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). Причем 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. При снижении влажности от предела насыщения клеточных стенок до нуля будет иметь место наибольшая усушка, которая называется *полной*, обозначается  $U_n$ . В среднем полная усушка в тангенциальном направлении составляет 6—10%, в радиальном 3—5%, а полная объемная усушка 12—15%.

Частичная усушка  $U_W$ , или усушка древесного образца от предела насыщения до заданной влажности  $W$ , определяется по формуле

$$U_W = U_n \left( 1 - \frac{W}{30} \right). \quad (12)$$

Усушка существенно зависит от породы, а в пределах одной породы — от компактности строения древесины. Компактность строения древесины характеризует ее *условная плотность*  $\rho_{усл}$ , под которой понимают массу древесины в абсолютно сухом состоянии, отнесенную к ее объему при влажности выше предела насыщения клеточных стенок:

$$\rho_{усл} = m_{сух} / V_{п.н.} \quad (13)$$

Средние значения условной плотности древесины важнейших отечественных пород приведены в табл. 2.

Таблица 2. Средняя условная плотность древесины

Порода	$\rho_{усл}$ , кг/м <sup>3</sup>	Порода	$\rho_{усл}$ , кг/м <sup>3</sup>
Сосна	400	Лиственница	520
Ель	360	Бук	530
Кедр	350	Ясень	540
Береза	500	Дуб	560

Полная объемная усушка  $U_{п.о}$  может быть приближенно определена по формуле

$$U_{п.о} = 0,028 \cdot \rho_{усл}, \quad (14)$$

а полная усушка в тангенциальном и радиальном направлениях соответственно:

$$U_{п.т} = 0,018 \cdot \rho_{усл}; \quad U_{п.р} = 0,01 \cdot \rho_{усл}. \quad (15)$$

Величину ожидаемой усушки можно установить, зная породу древесины и ее влажность. Для этого по табл. 2 находим значение

условной плотности, по выражениям (14) и (15) рассчитываем полную усушку и далее применяем уравнение (12).

Следует иметь в виду, что рассмотренные закономерности усуш-

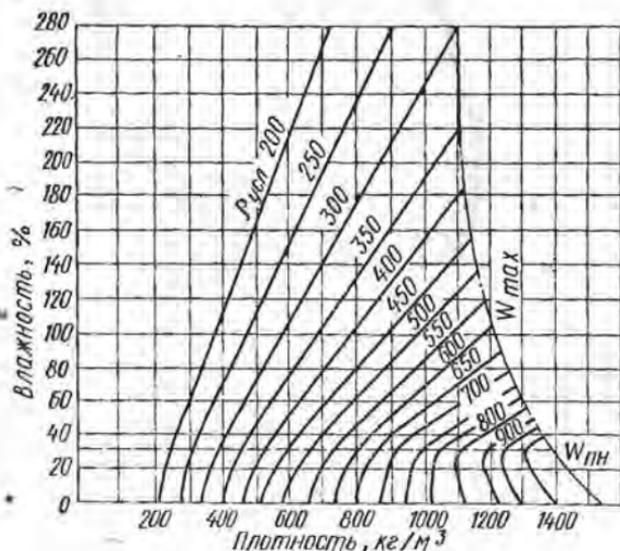


Рис. 12. Диаграмма плотности древесины

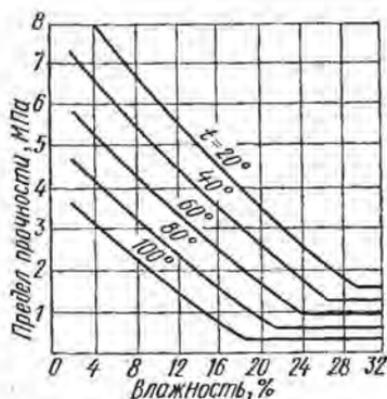


Рис. 13. Диаграмма предела прочности древесины березы при растяжении поперек волокон в тангенциальном направлении

ки справедливы при равномерном распределении влаги по объему сортимента. В процессах сушки древесины влага по объему распределена неравномерно. Уменьшение размеров может начаться при средней влажности сортимента выше 30%. Величина этого изменения отличается от усушки при равномерном распределении влаги. Этот процесс усложняется развивающимися внутренними напряжениями, которые вызывают изменение размеров, называемое *усадкой*.

Важной характеристикой свойств древесины является ее *фактическая плотность*  $\rho$  — полная масса древесины, включая влагу, в единице ее объема при заданной влажности. Плотность древесины может быть определена, если известны ее порода и влажность, по диаграмме, приведенной на рис. 12. По этой диаграмме, кроме того, для конкретной породы можно определить максимальные значения плотности и влажности.

**Примеры. 1.** Найти усушку в радиальном направлении буковой древесины от влажности в свежесрубленном состоянии до влажности 8%.

Для древесины бука находим в табл. 2  $\rho_{усл} = 530 \text{ кг/м}^3$ . По формуле (15) полная усушка в радиальном направлении составляет  $U_{п.р} = 0,01 \cdot 530 = 5,3\%$ . При влажности 8% усушка по выражению (12) будет равна

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

**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 для древесины березы  $\rho_{усл} = 500 \text{ кг/м}^3$ , далее полную усушку в тангенциальном направлении  $U_{п.т} = 0,018 \times 500 = 9\%$ . Усушка при влажности 4% равна  $U_W = 9 \cdot \left( 1 - \frac{4}{30} \right) = 7,79\%$ . Абсолютная усушка будет составлять

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

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

Условная плотность (см. табл. 2) сосны  $\rho_{усл} = 400 \text{ кг/м}^3$ . По диаграмме на рис. 13 находим точку пересечения линии условной плотности  $400 \text{ кг/м}^3$  с линией влажности 80%. Из точки пересечения проводим вертикальную прямую вниз и по шкале плотности с учетом масштаба делений находим  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ . Далее доводим линию  $\rho_{усл} = 400 \text{ кг/м}^3$  до пересечения с кривой  $W_{max}$ . По положению точки пересечения на шкалах  $W$  и  $\rho$  находим:  $W_{max} = 180\%$ ;  $\rho_{max} = 1100 \text{ кг/м}^3$ .

## § 10. Влияние сушки древесины на ее прочность

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

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

Повышение температуры приводит к снижению прочности древесины. Кратковременное воздействие не слишком высокой температуры дает обратимые изменения прочности. С повышением температуры и длительности ее воздействия в древесине происходят необратимые процессы, приводящие к изменению ее 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 (см. рис. 13) 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 повышенной температуры (например, древесины, прошедшей атмосферную сушку). Исследованиями установлено, что воздействие на древесину температуры ниже  $60^{\circ}\text{C}$  не снижает ее эксплуатационную прочность независимо от длительности сушки. Влияние более высокой температуры начинает сказываться, если продолжительность сушки при  $t=80^{\circ}\text{C}$  превышает 40—50 ч, а при  $t=120^{\circ}\text{C}$  — 2—3 ч.

Степень снижения прочности древесины зависит от породы, влажности, температуры и длительности сушки. Так, например, в высокоинтенсивных процессах сушки, когда температура составляет  $120\text{—}130^{\circ}\text{C}$  при длительности действия 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%.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ДРЕВЕСИНЕ ПРИ ЕЕ СУШКЕ

### § 11. Способы сушки древесины

Сушка древесины — очень сложный процесс, характер которого определяется одновременным протеканием ряда физических явлений, главнейшими из которых являются:

передача тепла материалу от агента сушки или источника тепловой энергии; это явление носит название *теплообмена*;

перемещение тепла внутри материала, называемое *теплопроводностью*;

испарение влаги с поверхности материала в окружающую среду — *лагоотдача*;

перемещение влаги внутри материала — явление, называемое *лагопереносом*.

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

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

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

газопаровая сушка — сушка древесины нагретыми газами в специальных сушильных устройствах при атмосферном давлении;

атмосферная сушка — сушка на открытых складах или под навесом без подогрева воздуха;

жидкостная сушка — сушка в нагретых гидрофобных жидкостях и в солевых водных растворах;

ротационная сушка — сушка древесины на вращающейся карусели в нагретой газовой среде с использованием центробежного эффекта;

вакуумная сушка — газопаровая сушка при давлении ниже атмосферного.

Кондуктивная сушка основана на передаче тепла древесины путем теплопроводности при контакте с нагретыми поверхностями.

При радиационной сушке тепло передается материалу путем облучения источниками лучистой тепловой энергии (в основном от источников инфракрасного излучения). Этот вид сушки древесины в настоящее время не применяется.

Диэлектрическая сушка — это сушка в электрическом поле высокой частоты; тепло материалу передается за счет диэлектрических потерь.

Древесные материалы сушат преимущественно газопаровым способом сушки. Применительно к пиломатериалам, высушиваемым в специальных камерах, этот способ получил название *камерной сушки*.

Большое распространение имеет атмосферная сушка пиломатериалов. Ротационная, вакуумная и диэлектрическая сушки применяются сравнительно редко, в основном для сушки пиломатериалов. Кондуктивная сушка имеет ограниченное применение в технологии производства фанеры. Сушка в гидрофобных жидкостях получила распространение в технологии пропитки древесины.

Основное внимание в учебнике уделяется изучению газопаровой сушки и в первую очередь камерной сушки пиломатериалов.

## **§ 12. Закономерности движения влаги в древесине и характеристика основных процессов сушки**

Основными причинами движения влаги в древесине являются: неравномерное распределение влаги по объему материала, которое вызывает ее перемещение в направлении повышенной влажности; такой характер движения носит название *влагопроводности*; неодинаковая температура по объему материала, что приводит к движению влаги в направлении пониженной температуры; это явление называется *термовлагопроводностью*;

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

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

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

В деревообрабатывающей промышленности, как указывалось выше, наибольшее применение имеет конвективная (газопаровая

и атмосферная) сушка. Основным признаком, характеризующим условия ее протекания, — температура среды. Принято разделять процессы сушки на низкотемпературные ( $t < 100^\circ \text{C}$ ) и высокотемпературные ( $t > 100^\circ \text{C}$ ), что обусловлено особенностями парообразования при разных уровнях температуры, а именно, — испарение в первом и кипение во втором случаях.

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

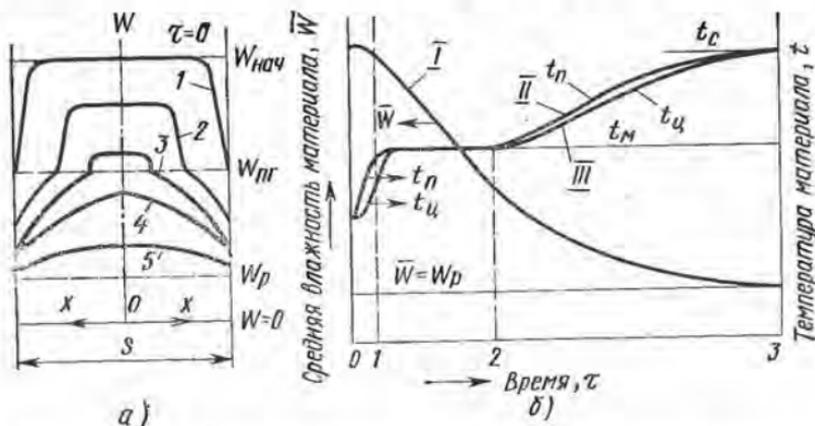


Рис. 14. Кривые распределения влажности по толщине пластины (а), кривая сушки и температурные кривые (б) низкотемпературного процесса:

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

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

Предположим, что образец древесины в виде пластины толщиной  $S$  с начальной влажностью  $W_{нач}$ , превышающей  $W_{пл.г}$ , помещен в нагретый воздух. Влага по толщине пластины распределена равномерно. Состояние воздуха характеризуется его температурой  $t_c$  и температурой смоченного термометра  $t_m$ . Сразу же с поверхности пластины начнется испарение влаги, которое понизит влажность поверхностных слоев. Пока влажность на поверхности будет выше  $W_{пл.г}$ , влага в древесине перемещаться не будет. Ее движение начнется, когда вся свободная влага будет удалена с поверхности. С этого момента между внутренними слоями древесины, где влага находится в полостях клеток, и поверхностью, где влага содержится только в клеточных стенках, появится разность капиллярных давлений. Разность давлений обеспечивает подачу свободной влаги к поверхности по мере ее испарения (рис. 14, а; кривая I). Вначале свободная влага подается из наружных слоев древесины. Влаж-

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

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

В наружной зоне плотность потока влаги пропорциональна перепаду влажности. Эта зона называется *зоной влагопроводности*. Во внутренней зоне по-прежнему движение свободной влаги идет за счет разности капиллярных давлений, но только к внутренней границе зоны влагопроводности. По мере заглубления зоны влагопроводности (рис. 14, а; кривые 2, 3) средняя влажность древесины и скорость сушки уменьшаются. В дальнейшем, после удаления всей свободной влаги (кривая 4), по всей толщине пластины основной причиной движения влаги будет влагопроводность.

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

Кривая сушки (рис. 14, б, 1) состоит из трех участков, соответствующих трем периодам процесса: периоду пачального прогрева (отрезок 0—1), периоду постоянной скорости сушки (отрезок 1—2) и периоду падающей скорости сушки (отрезок 2—3).

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

Температура поверхности пластины  $t_{п.}$  в период прогрева быстро повышается (рис. 14, б). В период постоянной скорости сушки она неизменна и равна температуре смоченного термометра  $t_{м.}$ , а в период падающей скорости постепенно возрастает, стремясь к температуре среды  $t_{с.}$  В центре материала температура  $t_{ц.}$  при прогреве ниже температуры  $t_{п.}$ , в периоде постоянной скорости равна ей, а в периоде падающей скорости сушки отличается от нее незначительно.

Рассмотренный процесс наблюдается и при сушке сырого шпона с температурой среды, значительно превышающей  $100^{\circ} \text{C}$ .

Основной причиной перемещения влаги в этом процессе является влагопроводность. Термовлагопроводность наблюдается лишь в период прогрева материала.

Характерной чертой высокотемпературного процесса сушки является движение влаги под действием молярного пере-

носа. При кипении влаги в древесном сорimente возникает повышенное давление в его внутренних слоях. Под действием возникшего перепада давлений происходит движение влаги в виде пара к поверхности соримента.

Ярко выраженный молярный влагоперенос имеет место, когда температура высушиваемого материала выше  $100^{\circ}\text{C}$ , а в древесине содержится свободная влага. При этом температура внутренних слоев быстро поднимается и затем держится постоянной на уровне несколько выше  $100^{\circ}\text{C}$  (рис. 15). В этот период идет выпаривание свободной влаги из древесины. Стабилизация температуры на указанном уровне свидетельствует о том, что во внутренних слоях древесины возникает устойчивое избыточное давление, а движущими силами являются молярный влагоперенос и влагопроводность. Термовлагопроводность действует в противоположном направлении, однако ее влияние на процесс незначительно. После удаления всей свободной влаги температура материала повышается, стремясь к температуре среды. В этот период эффект молярного влагопереноса невелик. Основную роль играет влагопроводность. Скорость сушки при высокотемпературном процессе в 2—3 раза больше, чем при низкотемпературном.

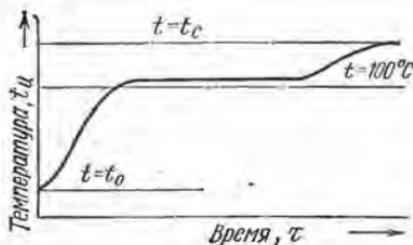


Рис. 15. Температурная кривая высокотемпературного процесса сушки

Рассмотренный механизм высокотемпературного процесса характерен при сушке сырых древесных сориментов толщиной более 15—20 мм в среде перегретого пара, в гидрофобных жидкостях, в высококонцентрированных водных растворах солей при их температуре, превышающей  $100^{\circ}\text{C}$ , а также в среде воздуха или газа при температуре более  $120^{\circ}\text{C}$ .

### § 13. Напряжения в древесине при сушке. Влаготеплообработка

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

Рассмотрим, как возникают и развиваются внутренние напряжения в древесине при ее сушке. Пока влажность наружных слоев выше или равна влажности предела насыщения клеточных стенок  $W_{п.н.}$  (рис. 16, а, кривая 1), усушки нет и напряжения в материале отсутствуют.

После снижения влажности ниже  $W_{п.н.}$  (кривая 2) поверхностные слои стремятся к усушке. Однако этому будут препятствовать внутренние слои, влажность которых еще пока выше  $W_{п.н.}$ . Начав-

шуюся усадку можно выявить, если из высушиваемого сортамента выпилить по всему поперечному сечению пластинку (секцию) и распилить на ряд слоев по толщине (рис. 16, б). Обнаружим, что внутренние слои сохранили первоначальный размер по ширине сортамента  $l_0$ , а поверхностные слои усохли на величину  $U_{\text{п}}$ . Их размер теперь составляет  $l_{\text{н}}$ . Целая, неразрезанная пластина имеет фактический размер  $l_{\text{ф}}$ , меньший, чем  $l_0$ , и больший, чем  $l_{\text{н}}$ . Поскольку размер поверхностных слоев стал меньше фактического, то эти

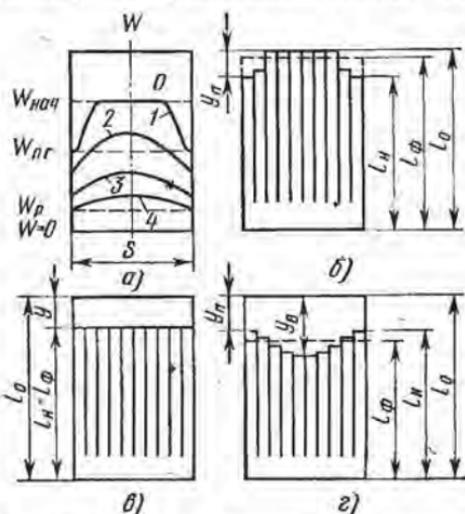


Рис. 16. Схемы к развитию деформаций и напряжений при сушке древесины:

а — кривые распределения влажности по толщине пластины в различные моменты процесса сушки, б, в, г — виды слоев секции в моменты времени процесса, соответствующие кривым 2, 3 и 4 распределения влажности

и деформации укорочения во внутренних слоях (под действием сжимающих напряжений).

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

В результате этого к концу процесса (рис. 16, а, кривая 4) усадка на поверхности  $U_{\text{п}}$  окажется меньше, чем усадка внутренних слоев  $U_{\text{в}}$  (рис. 16, г), или, другими словами, размер поверхностных слоев секции после ее раскроя будет больше, а внутренних слоев меньше фактического размера  $l_{\text{ф}}$ . В древесине появятся сжимающие напряжения на поверхности и растягивающие напряжения во внутренних слоях материала. Таким образом, в процессе сушки происходит смена напряжений. В этот момент, который наступает на некотором промежуточном этапе процесса (кривая 3), напряжения в древесине отсутствуют (рис. 16, в).

Возникающие в древесине напряжения уравниваются в пределах данного образца. Чтобы их обнаружить, надо нарушить это равновесие, разделив образец или секцию на части. Каждая часть

слои испытывают *растягивающие напряжения*, а внутренние слои, размер которых стал больше фактического, испытывают *напряжения сжатия*.

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

будет стремиться к новому равновесному состоянию путем деформаций. В секции, разрезанной на тонкие слои, деформации проявляются в виде удлинения либо укорочения. В производстве для установления характера внутренних напряжений из пиломатериалов выпиливают секции в виде двузубой гребенки. Деформации в этом случае будут проявляться изгибом зубцов этой гребенки.

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

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

*Влаготеплообработка* состоит в том, что древесину обрабатывают воздухом повышенной температуры с высокой степенью насыщения. Она обычно проводится при окончании процесса сушки или несколько раньше, в момент смены напряжений. Увлажнение поверхностных слоев при влаготеплообработке вызывает их разбухание и, как следствие этого, возникновение дополнительных сжимающих напряжений на поверхности. При повышенной податливости древесины (влажной и нагретой) в поверхностном слое развиваются остаточные деформации укорочения, которые компенсируют ранее появившиеся остаточные деформации удлинения. Тем самым устраняется причина напряжений, возникающих в древесине к концу сушки.

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

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

#### **§ 14. Основные принципы построения рациональных режимов сушки древесины**

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

При сушке пиломатериалов необходимо создать такие условия, при которых возникающие напряжения не превышали бы предела прочности. В начальной стадии процесса для этого требуется поддерживать малую величину перепада влажности по толщине ( $W_{\text{п.н}} - W_{\text{п}}$ ), 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 ускоряет процесс.

Таким образом, пиломатериалы рационально сушить режимами, которые характеризуются понижающейся степенью насыщения и повышающейся температурой 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 ( $200-500^\circ\text{C}$ ) существенно интенсифицирует испарение влаги. Однако температура древесины, пока в ней содержится свободная влага, не может подняться выше температуры точки кипения воды ( $100^\circ\text{C}$ ) 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  $120-180^\circ\text{C}$ ) во избежание химического разложения или загорания древесины.

Конкретные режимы сушки для различных материалов будут рассмотрены в соответствующих главах учебника.

**КЛАССИФИКАЦИЯ СУШИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.  
ТЕПЛОВОЕ И ЦИРКУЛЯЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ****§ 15. Классификация сушильных устройств**

Сушильные устройства, или сушилки, в соответствии со способами сушки делятся на конвективные, жидкостные, кондуктивные, диэлектрические и радиационные. Наибольшее распространение получили конвективные сушилки, которые классифицируются по ряду признаков.

По конструктивному исполнению число типов сушилок очень велико. В деревообрабатывающей промышленности чаще всего применяются:

камерные сушилки, которые представляют собой помещения (камеры), куда высушиваемая древесина, в основном пиломатериалы, закатываются штабелями на вагонетках;

роликовые сушилки, в которых материал (шпон, плиты) перемещают через сушильное пространство роликовыми конвейерами;

барабанные сушилки, основным элементом которых является пустотелый барабан; при прохождении через него измельченная древесина перемешивается и высушивается;

пневматические сушилки, в которых сушка материала (измельченной древесины) проходит в потоке горячего воздуха или газа во взвешенном состоянии;

ленточные сушилки, в которых материал через сушильное пространство перемещается ленточным сетчатым конвейером. Эти сушилки применяют для сушки измельченной древесины или мелких сортиментов.

По виду сушильного агента сушилки делятся на три группы:

воздушные сушилки — агентом сушки является влажный воздух; газовые сушилки — сушильным агентом служат топочные газы или их смесь с влажным воздухом;

сушилки, действующие на перегретом паре, — сушильным агентом является перегретый водяной пар при атмосферном давлении.

По кратности циркуляции сушильного агента сушилки могут быть с одно- и многократной циркуляцией. В сушилках с однократной циркуляцией агент сушки после прохождения через высушиваемый материал полностью выбрасывается в атмосферу. В сушилках с многократной циркуляцией он выбрасывается лишь частично. Один и тот же воздух или газ многократно проходит через высушиваемый материал.

По принципу действия различают сушилки периодического и непрерывного действия.

Сушилки периодического действия работают путем периодического чередования сушильных циклов. Каждый цикл складывается из полной загрузки материала в сушилку, собственно сушки и полной выгрузки материала из сушилки.

Для сушилок непрерывного действия характерен непрерывный процесс сушки. Материал порциями или непрерывно загружается в сушилку, проходит через нее, а затем выгружается из нее либо непрерывно, либо порциями.

## § 16. Классификация оборудования сушильных устройств

В каждой сушилке можно выделить четыре основные группы оборудования: ограждения, транспортные устройства, тепловое и циркуляционное оборудование.

*Ограждениями* называют устройства, которые отделяют сушильное пространство от окружающей среды. Они сооружаются или из обычных строительных материалов (кирпич, бетон, железобетон), или формируются из готовых деталей и металлических щитов, заполненных теплоизоляционным материалом.

*Транспортные устройства* — это машины и механизмы, предназначенные для формирования слоя или штабеля высушиваемого материала, загрузки его в сушилку и выгрузки из нее, а также транспортировки.

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

*Циркуляционное оборудование* служит для создания организованной циркуляции сушильного агента. Основными элементами этой группы являются вентиляторы, вентиляторные и эжекторные установки.

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 и транспортное оборудование специфичны для каждого типа сушилок, поэтому их целесообразно рассматривать при описании конструкций сушилок определенного типа.

## § 17. Калориферы

*Калориферами* называются теплообменные аппараты, которые передают тепло от теплоносителя к сушильному агенту.

Теплоносителем могут быть насыщенный водяной пар, топочные газы, горячая вода и некоторые органические жидкости, имеющие высокую температуру кипения.

В промышленных сушилках преимущественно используют паровые калориферы, теплоносителем в которых является насыщенный водяной пар. Иногда применяются водяные (теплоноситель — горячая вода) калориферы и электрические, в которых электрическая энергия эквивалентно преобразуется в тепловую, а теплоносителем являются проводники с высоким омическим сопротивлением.

Паровой калорифер состоит из замкнутой системы сообщающихся металлических паропроводов. Снаружи эту систему омывает циркулирующий сушильный агент, а изнутри поступающий в нее насыщенный водяной пар под давлением до 0,6 МПа. Основную часть тепла, содержащуюся в паре, составляет скрытая теплота

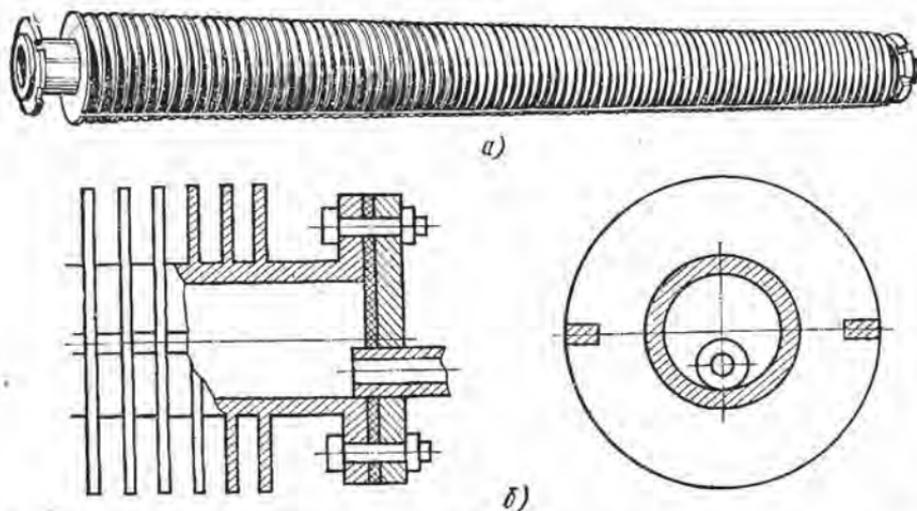


Рис. 17. Общий вид чугунной ребристой трубы (а) и схема подключения конденсатопровода (б)

парообразования. Она должна быть использована в калорифере полностью. Поэтому весь пар, подаваемый в калорифер, должен сконденсироваться.

В сушилках используют сборные паровые калориферы, которые собирают внутри сушилки из стандартных труб, и пластинчатые калориферы заводского изготовления.

Наиболее часто для монтажа сборных калориферов используют чугунные ребристые трубы с фланцевыми соединениями (рис. 17, а) длиной 1; 1,5; 2 м и с поверхностью нагрева соответственно 2, 3 и 4 м<sup>2</sup> на одну трубу (ГОСТ 1816—76). Иногда калориферы монтируют из гладких паропроводных труб (ГОСТ 3262—75, 8732—78). Схема монтажа калориферов определяется конструктивным оформлением сушильного устройства. Однако во всех случаях трубы собирают в секции, которые имеют самостоятельное питание паром. Внутри секции трубы соединяют последовательно, параллельно или последовательно-параллельно. Последовательное соединение (рис. 18, а) обеспечивает равномерный нагрев сушильного агента по дли-

не calorифера, а параллельное (рис. 18, б) — более компактный монтаж. Рационально комбинированное соединение, имеющее достоинства последовательного и параллельного соединений (рис. 18, в).

Отдельные трубы соединяют фланцами с помощью болтов на прокладках из паронита. Трубу, отводящую конденсат, присоединяют к ребристой трубе фланцем с эксцентричным отверстием (см. рис. 17, б), что обеспечивает беспрепятственный сток конденсата из линии calorифера. Трубы calorифера и паропроводов прокладывают с уклоном 0,005—0,01,

а конденсатные трубы — 0,01 в направлении движения пара или конденсата. Секции труб монтируют в сушилках на специальных подвесках.

Недостаток сборных calorиферов из чугунных ребристых труб — большое количество фланцевых соединений, герметичность которых часто нарушается. Это снижает надежность работы calorифера.

Пластинчатые calorиферы (рис. 19, а) имеют устройство, схематически показанное на рис. 19, б. Пар подается через верхний патрубок 1 в распределительную коробку 2 и трубки 3, нагревая эти трубки и насаженные на них пластины 4. Конденсат собирается в нижней распределительной коробке 6 и удаляется из calorифера через патрубок 5. На-

греваемый воздух движется параллельно плоскости ребер в направлении, указанном стрелками.

В сушилках широкое распространение получили пластинчатые calorиферы марки КФ (ГОСТ 7201—62). Кроме того, выпускаются calorиферы КВ, обогреваемые водой, и КП, обогреваемые паром (ГОСТ 7201—70). В сушилках применяют calorиферы КП, которые изготовляют пяти моделей. Порядковый номер calorифера (от № 1 до № 12) определяет его габаритные размеры.

Достоинство пластинчатых calorиферов — их компактность при большой поверхности нагрева и повышенная по сравнению со сборными calorиферами интенсивность теплопередачи. К их недостаткам можно отнести засоряемость каналов мусором и пылью, а также разрушение пластинок вследствие коррозии. Необходимо в сушилках устанавливать calorиферы с пластинками из некорродирующего металла.

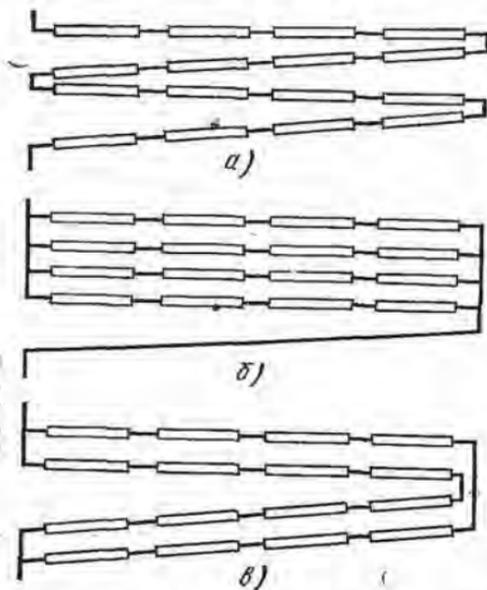


Рис. 18. Схемы монтажа сборных calorиферов:

а — последовательное соединение, б — параллельное соединение, в — последовательное-параллельное соединение

Количество тепла, передаваемого паровым калорифером сушильному агенту в единицу времени (ч, с), т. е. *тепловая мощность* калорифера  $Q$ , зависит от поверхности нагрева его труб  $F$ , температуры теплоносителя (пара или воды)  $t_{\tau}$ , средней температуры нагреваемого агента сушки  $t_c$  и коэффициента теплопередачи калорифера  $K$ , т. е.

$$Q = FK(t_{\tau} - t_c). \quad (16)$$

Коэффициент теплопередачи  $K$  зависит от конструкции калорифера и скорости движения через него сушильного агента.

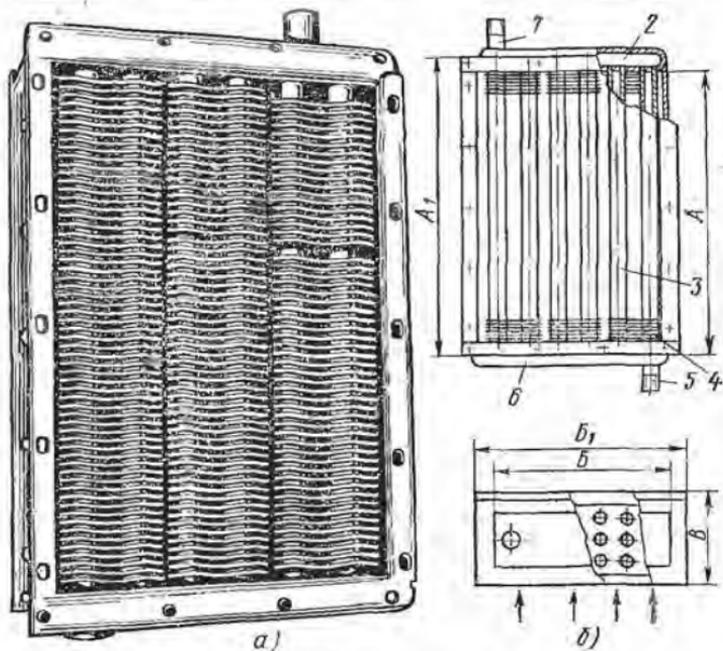


Рис. 19. Общий вид (а) и схема устройства (б) пластинчатого калорифера:

1, 5 — патрубки, 2, б — распределительные коробки, 3 — нагревательные трубы, 4 — пластины

## § 18. Конденсатоотводчики. Увлажнительные трубы. Паропроводы

Конденсатоотводчики устанавливают за калорифером. Их назначение — пропускать образовавшийся в калориферах конденсат, не выпуская пара. Таким образом, конденсатоотводчики обеспечивают полную конденсацию пара в калориферах. Их следует устанавливать на каждую самостоятельно работающую секцию калориферов. Если же на один конденсатоотводчик приходится несколько раздельно управляемых секций калориферов, то в конце каждой секции монтируют обратный клапан. Обратный клапан — устройство, которое обеспечивает одностороннее движение пара или конденсата.

Тем самым одна секция отделяется от остальных и исключается возможность проникания в нее пара или конденсата со стороны выходного конца калорифера. При отсутствии обратного клапана неработающая линия калорифера (после закрытия входного парового вентиля) быстро заполнится сначала паром, а затем конденсатом. Очередной пуск пара из-за его резкого столкновения с конденсатом вызовет в системе гидравлические удары, которые могут нарушить плотность соединения труб.

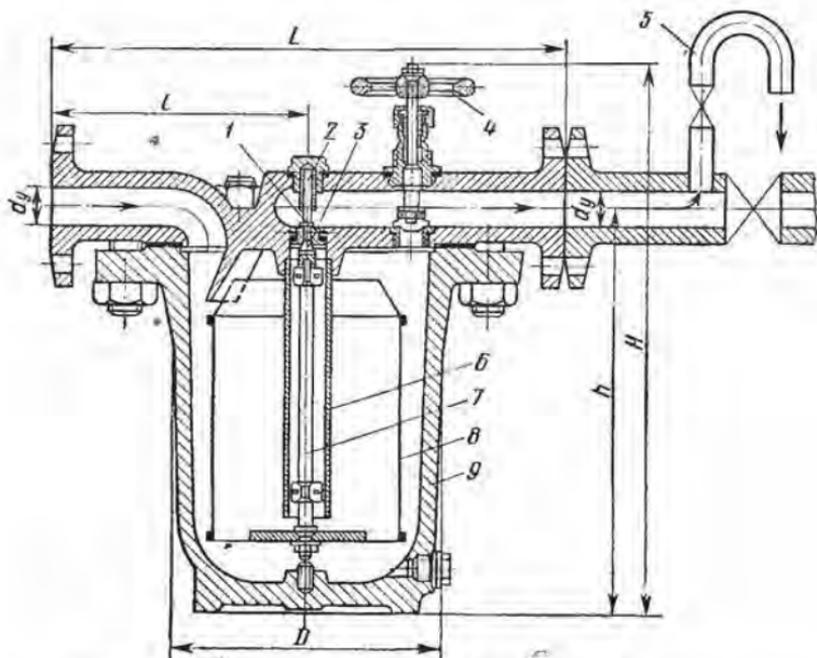


Рис. 20. Схема устройства гидростатического конденсатоотводчика:  
 1 — отверстие для выхода конденсата, 2 — обратный клапан, 3 — запорный клапан, 4 — продувочный вентиль, 5 — контрольная трубка, 6 — трубка, 7 — стержень, 8 — поплавок, 9 — корпус

В сушилках применяют гидростатические (поплавковые) и термодинамические конденсатоотводчики.

Наиболее распространены гидростатические конденсатоотводчики с открытым поплавком. Рассмотрим устройство и принцип действия конденсатоотводчика типа КГ (рис. 20). Внутри корпуса 9 находится поплавок 8, который состоит из стакана, к дну которого прикреплен стержень 7 с запорным клапаном 3 на верхнем конце. Стержень и клапан перемещаются вверх и вниз внутри трубки 6, верхний конец которой жестко закреплен к крышке корпуса. Над клапаном в крышке имеется отверстие 1, соединяющее внутреннюю камеру конденсатоотводчика с выходным патрубком. Со стороны выхода конденсата имеется обратный клапан 2 и продувочный вентиль 4.

Поступающий из калорифера конденсат заполняет внутреннюю камеру, поплавок всплывает, закрывая клапаном отверстие 1. По мере наполнения камеры конденсат переливается в стакан. Наполненный стакан опускается, клапан 3 открывает отверстие 1, и конденсат под давлением пара удаляется из стакана в выходной патрубок, проходя между стержнем 7 и трубкой 6. Как только уровень конденсата в стакане понизится, поплавок всплывет вновь и закроет отверстие 1. Таким образом, конденсатоотводчик периодически выпускает конденсат и задерживает пар.

Для пропуска большого количества конденсата в период пуска сушилки используют вентиль 4.

Для проверки исправности конденсатоотводчика за ним (по ходу движения конденсата) устанавливают контрольную трубку 5, позволяющую временно выпускать конденсат в атмосферу. У исправного конденсатоотводчика будет прерывистый (через 10—60 с) выброс конденсата с небольшим количеством пара. Если из трубки идет один конденсат, значит мала производительность конденсатоотводчика, а если идет один пар, то он неисправен и требует ремонта.

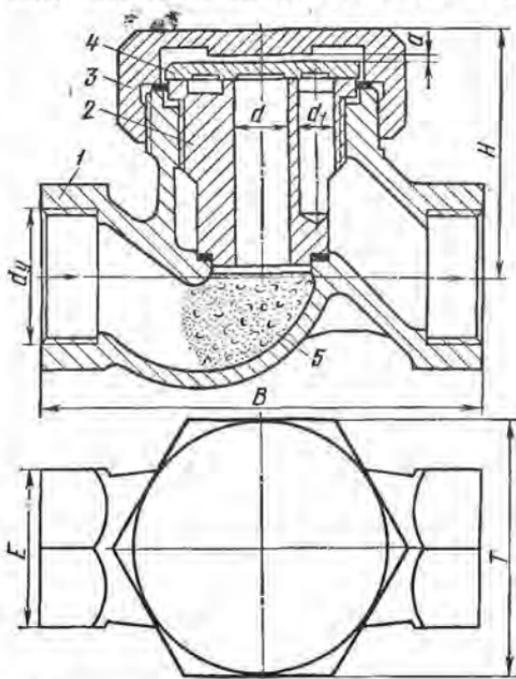


Рис. 21. Схема устройства термодинамического конденсатоотводчика:

1 — корпус, 2 — седло, 3 — крышка, 4 — тарелка, 5 — фильтр

Промышленность выпускает конденсатоотводчики разных размеров и производительности. Их технические характеристики регламентирует ГОСТ 14188—69.

Термодинамические конденсатоотводчики (ГОСТ 12866—67) компактнее и более надежны в работе по сравнению с гидростатическими и постепенно заменяют их. Термодинамический конденсатоотводчик (рис. 21) состоит из корпуса 1, крышки 3, латунной тарелки 4, стального седла 2 и фильтра 5. Нижняя плоскость тарелки 4 должна быть тщательно подогнана к верхней плоскости седла 2. Она может перемещаться по вертикали вверх и вниз на величину  $a$ . При поступлении в полость корпуса конденсата тарелка приподнимается, открывая ему проход через кольцевую камеру седла на выход через отверстия  $d$  и  $d_1$ . Если поступает пар, скорость которого в сотни раз выше по сравнению со скоростью конденсата, то под тарелкой образуется вакуум и она

прикрое отверстие *d*. Таким образом, конденсат протекает через устройство свободно, а пар проходит в ничтожно малом количестве. Термодинамические конденсатоотводчики изготавливаются промышленностью различных размеров и производительности.

**Увлажнительные трубы.** Для повышения степени насыщения сушильного агента в сушилках прокладывают увлажнительные трубы, с помощью которых в определенный период процесса сушки подают насыщенный водяной пар. Увлажнительные трубы монтируют из водогазопроводных труб (ГОСТ 3262—75) диаметром 50—65 мм. В стенке трубы с шагом 300 мм высверливают отверстия диаметром 5 мм. Регулирование подачи пара осуществляется с помощью вентиля.

**Паропроводы и конденсатопроводы** изготавливают из стальных водогазопроводных труб (ГОСТ 3262—75). Магистральные паропроводы монтируют из электросварных стальных труб (ГОСТ 10704—76), а при давлении в магистрали более 1,2 МПа — паропроводных труб (ГОСТ 8732—78).

Трубы диаметром до 70 мм соединяют с помощью фасонных частей: соединительных муфт, отводов, тройников, крестовин. Трубы большего диаметра соединяют на фланцах или путем сварки.

**К запорно-регулирующим и контрольно-измерительным устройствам** относятся:

вентили для регулирования подачи пара в калориферы, включения или отключения калориферов, конденсатоотводчиков, увлажнительных труб и других устройств;

редукционные клапаны для регулирования давления пара перед калориферами;

манометры для измерения давления в паро- и конденсатопроводах;

паромеры для измерения расхода пара;

обратные клапаны.

## § 19. Топки

Топочные газы, используемые в качестве агента сушки, получают в результате сжигания древесных отходов, природного газа или мазута в специальных устройствах, называемых *топками*. Основным требованием, предъявляемым к топкам, является получение в них чистого, бездымного топочного газа. Содержание в газе несгоревших частиц топлива недопустимо, так как их присутствие вызывает загрязнение поверхности высушиваемого материала, а иногда и его загорание.

Для сжигания древесных отходов применяют полугазовые топки (рис. 22). Топливо (кусковые отходы древесины и щепы) поступает через загрузочный люк 2 на наклонную и горизонтальную часть пода. В зоне 1 происходит частичное сгорание топлива с получением полугаза. Дожигание топлива происходит в зоне 3 после прохождения полугаза через решетку, сложенную из шамотного кирпича. Полугаз сгорает в избытке подогретого свежего воздуха,

подаваемого по каналам, расположенным в толще стенок топки. Далее топочные газы проходят через перевальные стенки 7, меняя направление и скорость движения. Это способствует осаждению золы и несгоревших частиц топлива. Затем газы поступают в распределительный боров 6, идущий к сушилкам. За топкой в начале борова монтируется шибер, регулирующий подачу газа. В период растопки этот шибер закрывают, а топочные газы подают в дымовую трубу 5. Для обеспечения нормальной работы топки необхо-

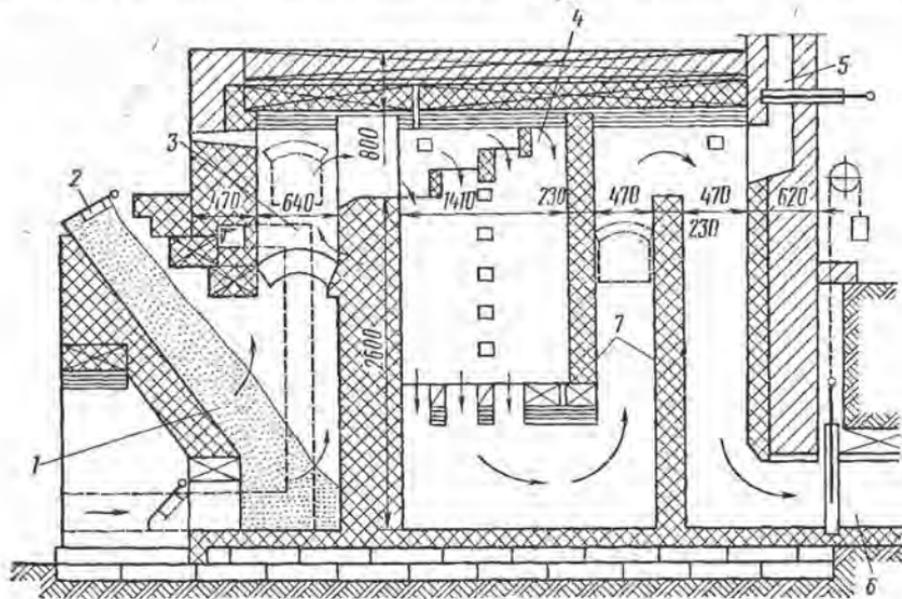


Рис. 22. Схематический разрез топки, работающей на древесном топливе (проект Гипродрева):

1 — зона частичного сгорания топлива, 2 — загрузочный люк, 3 — зона дожигания топлива, 4 — осадочная зона, 5 — дымовая труба с шибером, 6 — распределительный боров с шибером, 7 — перевальные стенки

димо создавать разрежение в задней ее части не менее 50 Па ( $\sim 5$  мм вод. ст.), а температуру газов в зоне 4 поддерживать на уровне 700—800° С.

В качестве топлива используют также природный газ и мазут. Схема одной из топков, предназначенной для сжигания газа или мазута (конструкция ЦНИИФ), приведена на рис. 23. Топка состоит из металлического корпуса 1 с внутренней футеровкой 2 из шамотного кирпича. Внутри корпуса расположена камера сжигания 3, выполненная в виде металлического кожуха 7 с футеровкой 6 из шамотного кирпича. На передней стенке камеры размещены газовые горелки или форсунки 5. Задняя стенка выполнена в виде решетки 8 из шамотного кирпича, выполняющей роль катализатора при дожигании горючей смеси. Пространство топки за камерой сжигания служит смесительной камерой, в которую кроме топочных газов подается отработавший в сушилке газ через отверстие 9 и

дополнительно свежий воздух через отверстие 4. Смесительная камера заканчивается теплоизолированным коническим патрубком 10, к которому присоединяется всасывающая труба вентилятора, подающего газовую смесь к сушилке.

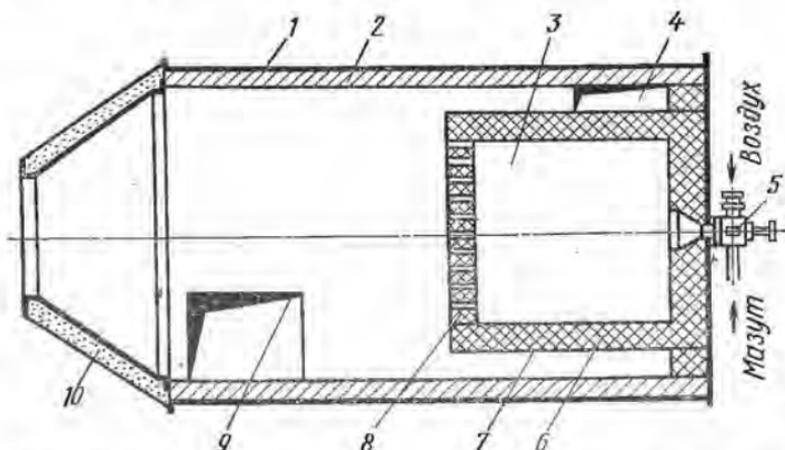


Рис. 23. Схематический разрез топki для газа или мазута (проект ЦНИИФ):

1 — корпус топki, 2 — футеровка, 3 — камера сжигания, 4 — отверстие для подачи свежего воздуха, 5 — газовые горелки или форсунки для мазута, 6 — футеровка камеры сжигания, 7 — кожух камеры сжигания, 8 — решетка, 9 — отверстие для подачи отработавшего газа, 10 — патрубок

## § 20. Вентиляторы

*Вентиляторами* называются машины, служащие для перемещения больших масс воздуха или газа при давлении, близком к атмосферному. В сушилках вентиляторы применяют для создания циркуляции сушильного агента внутри сушильного пространства и по материалу.

Вентиляторы делятся на два типа: радиальные (центробежные) и осевые.

Перемещение воздуха радиальным (центробежным) вентилятором осуществляется за счет центробежного эффекта. Вентилятор (рис. 24) состоит из улиткообразного кожуха 4, укрепленного на станине 1. Внутри кожуха в направлении разворота его спирали вращается 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. Разность между давлениями воздушного потока до и после ротора вентилятора называется *давлением вентилятора*. Давление вентилятора измеряется в Па, либо в мм. вод. ст.

Промышленностью изготавливаются вентиляторы низкого (до 1000 Па), среднего (1000—3000 Па) и высокого (3000—10 000 Па) давления (ГОСТ 5976—73). По направлению вращения ротора различают левые и правые вентиляторы. В правых вентиляторах, если смотреть на них со стороны привода, спираль кожуха развернута по часовой стрелке, а в левых — против часовой стрелки.

Радиальные (центробежные) вентиляторы имеют различную конструкцию и разные размеры. Вентиляторы одной конструкции (или одного типа), геометрически подобные, но разных размеров, образуют серию. Размеры вентилятора определяются его номером, выражающим диаметр ротора в дециметрах. Так, вентилятор с диаметром ротора 1000 мм обозначается № 10.

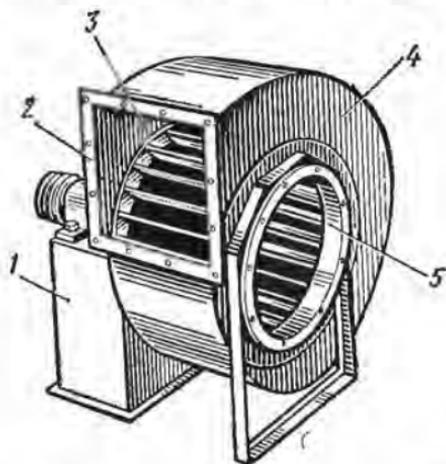


Рис. 24. Радиальный (центробежный) вентилятор:

1 — станина, 2 — выпускной патрубок, 3 — мотор, 4 — кожух вентилятора, 5 — всасывающий патрубок

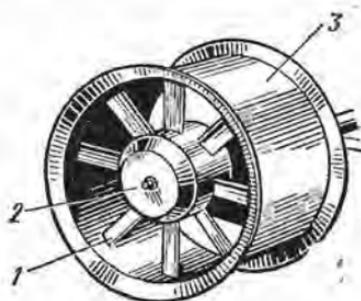


Рис. 25. Осевой вентилятор:

1 — лопасти, 2 — ротор, 3 — кожух

В сушилках используют вентиляторы низкого и среднего давления. Наиболее распространены вентиляторы В-Ц4-70, перемещающие воздух температурой до 180° С.

Осевые вентиляторы (ГОСТ 11442—74) работают по принципу воздушного винта. Вентилятор (рис. 25) состоит из ротора 2, вращающегося в кожухе 3, имеющем вид цилиндрического патрубку. Ротор составлен из лопастей определенного профиля, насаженных на ступицу под углом к плоскости его вращения. Перемещение воздуха происходит в направлении оси вращения ротора. Осевые вентиляторы, так же как и радиальные, различаются по типам, сериям 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.

Промышленностью выпускаются вентиляторы четырех типов: МЦ, У, В и ВОК.

Вентиляторы типа МЦ имеют четыре лопасти, приваренные к ступице, выполненной в виде плоского диска; развиваемое давление

до 400 Па. Применяются в основном для вентиляции помещений.

В сушильной технике наиболее распространены вентиляторы типа У (универсальные), имеющие шесть (У-6) или двенадцать (У-12) полых лопастей. Они крепятся к ступице, диаметр  $d$  которой составляет  $0,5D$  ротора. Развиваемое давление до 800 Па. Новый тип вентилятора УК-2М с кручеными лопатками постоянного профиля имеет повышенный коэффициент полезного действия (КПД).

Вентиляторы В, шестнадцатилопастные, с большим диаметром ступицы, развивают давление до 1500 Па. Применяются для эжекторных установок сушилок. Наиболее совершенны осевые вентиляторы типа ВОК с литыми (из легких сплавов) кручеными лопатками. Они имеют повышенный КПД и менее подвержены коррозии.

Вентиляторы ВОК-1,0 (диаметр ротора 1000 мм) и ВОК-1,1 могут быть применены в сушильной технике.

Рассмотренные осевые вентиляторы имеют несимметричный профиль лопастей. Они работают нормально только в том случае, когда лопасти захватывают воздух вогнутой (в вентиляторах У — плоской) стороной. При обратном направлении вращения резко снижается производительность вентилятора и его КПД.

В сушилках очень часто требуется изменять направление воздушного потока на обратное, т. е. реверсировать воздушный поток. Вентиляторы У и В могут быть сделаны реверсивными, т. е. работающими одинаково при любом направлении вращения, путем поворота половины лопастей (через одну) на  $180^\circ$ .

## § 21. Вентиляторные и эжекторные установки

Вентиляторной установкой называется осевой или радиальный вентилятор с приводом и системой подключенных к нему воздуховодов. Форма и размеры воздуховодов определяются конструкцией конкретного сушильного устройства. Они могут состоять из труб всевозможных сечений. Роль воздуховодов могут выполнять каналы, сформированные элементами ограждения сушилок, экранами, высушиваемым материалом.

Работающий вентилятор передает воздушному потоку определенное количество энергии. Разность количества энергии в движущемся потоке и в неподвижном воздухе, отнесенная к единице его объема, называется полным напором воздушного потока  $h_d$ , который имеет размерность давления Па. Полный напор равен сумме статического  $h_{ст}$  и динамического  $h_d$  напоров. Величина динамического напора зависит от скорости движения воздуха  $\omega$  и его плотности  $\rho$ :

$$h_d = \rho \cdot \omega^2 / 2. \quad (17)$$

Статический напор связан с сопротивлениями  $\Delta h$ , возникающими при движении потока воздуха в воздуховодах в результате трения воздуха о стенки, завихрений на поворотах и выступах.

Система воздуховодов вентиляторной установки может быть замкнутой и незамкнутой (работающей на выхлоп). Незамкнутая

система состоит из всасывающего и нагнетательного воздуховодов, подключенных к соответствующим патрубкам вентилятора. В такой системе давление вентилятора равно сумме сопротивлений  $\sum \Delta h$  на участках воздуховода плюс динамический напор в выхлопном отверстии:

$$H_n = \sum \Delta h + h_d. \quad (18)$$

Для замкнутой системы воздуховодов, давление вентилятора определяется только сопротивлением системы:

$$H_n = \sum \Delta h. \quad (19)$$

Вентилятор в вентиляторной установке должен создать давление, необходимое для преодоления сопротивлений системы воздуховодов, и обеспечить перемещение требуемого количества воздуха или газа. Объем воздуха или газа, перемещаемого вентилятором в единицу времени, называется производительностью вентилятора  $V_n$ ; ее размерность —  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Полезная мощность вентилятора равна произведению его давления на производительность. Потребляемая вентилятором мощность  $N_n$  всегда больше полезной мощности на величину аэродинамических потерь в самом вентиляторе. Отношение полезной мощности к потребляемой называется *коэффициентом полезного действия вентилятора*  $\eta_n$ .

Величина потребляемой мощности определяется по выражению

$$N_n = V_n H_n / \eta_n \eta_{\text{пр}}, \quad (20)$$

где  $\eta_{\text{пр}}$  — КПД передачи, зависящий от характера привода.

Для осуществления циркуляции в некоторых сушилках используют *эжекторные установки*, принцип действия которых основан на эффекте эжекции. Предположим, что в открытую трубу (рис. 26, а) вставлена труба меньшего диаметра с конической насадкой, из которой с достаточно большой скоростью выходит струя воздуха. При резком увеличении скорости в зоне выхода статический напор воздушного потока уменьшается (в результате увеличения динамического напора). Во входном отверстии основной трубы образуется разрежение, вследствие чего воздух из окружающего пространства будет засасываться в трубу и смешиваться со струей, выброшенной из насадки.

Таким образом, количество циркулирующего в трубе воздуха  $V_1$  будет больше эжектирующего  $V_3$  на количество подсосывающего воздуха  $V_2$ . Отношение  $V_1/V_3 = m$  называется кратностью эжекции. Кратность эжекции — основной показатель работы эжекторной установки. Его величина находится в пределах от 3 до 6. Для работы эжектора требуется непрерывная подача воздуха в насадку, что достигается установкой вентилятора. Обычно эжекторная установка содержит несколько насадок, вставленных в воздуховод прямоугольного сечения (рис. 26, б). Преимуществом сушилок, оборудованных эжекторной установкой, является то, что через вентилятор

проходит 20—30% общего количества циркулирующего воздуха. Однако эжекторные установки имеют более низкий коэффициент полезного действия по сравнению с вентиляторными установками и, следовательно, отличаются повышенным расходом электроэнергии.

**Электродвигатели.** Для привода вентиляторов в вентиляторных и эжекторных установках применяют асинхронные электродвигатели переменного трехфазного тока 50 Гц единой серии с короткозамкнутым ротором. Электродвигатели устанавливают в помещениях, смежных с сушилками, где бывают повышенная температура и высокая степень насыщения. Иногда туда попадают пары кислот,

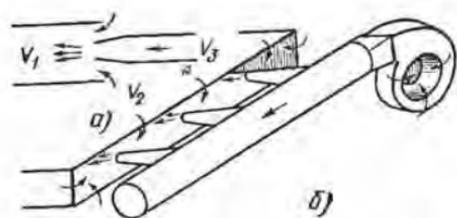


Рис. 26. Схема воздушного эжектора (а) и эжекторной установки (б)

которые выделяются из древесины при ее сушке и разрушающе действуют на металлы. С учетом таких условий эксплуатации целесообразно применять электродвигатели типа АО2 (старая единая серия) или 4А (новая единая серия), которые имеют защиту от пыли, сырости и агрессивных сред. Если температура воздуха в месте установки электродвигателя постоянно держится

около 40—50°С, следует организовать внешний обдув для его охлаждения.

**Смазки.** Для смазывания подшипников вентиляторных валов в сушилках используют следующие консистентные смазки.

Смазки пресс-солидол Ж и солидол Ж (ГОСТ 1033—79) влагоустойчивы, но обладают низкой температурой каплепадения (75°С). Их применяют в условиях умеренно высокой температуры (60—75°С) и повышенной степени насыщения среды.

Смазка УТ (ГОСТ 1957—73) имеет более высокую температуру каплепадения (130 и 150°С), но разлагается в воде. Рекомендуется применять в средах с высокой температурой и малой степенью насыщения.

Наиболее эффективна смазка ЦИАТИМ-201 (ГОСТ 6267—74). Она обладает высокой температурой каплепадения (до 175°С), весьма влагоустойчива. Ее целесообразно применять в сушилках, работающих в режиме с высокой температурой и степенью насыщения, в том числе действующих перегретым паром.

## § 22. Классификация сушильных камер

Для сушки пиломатериалов применяются только конвективные сушилки, называемые сушильными камерами. Камеры представляют собой постройки различных размеров, в помещении которых находятся высушиваемые штабеля пиломатериалов или заготовок, загружаемые через специальные двери. В помещении камеры, а иногда частично снаружи, располагают узлы теплового и циркуляционного оборудования. Камеры выполняются как периодического, так и непрерывного действия, но только с многократной циркуляцией агента сушки. Они подразделяются, кроме того, по виду сушильного агента и характеру ограждений.

По виду сушильного агента различают камеры воздушные, газовые и действующие на перегретом паре. Последние очень часто называют высокотемпературными камерами. Имеются камеры, в которых сушильным агентом может быть влажный воздух и чистый перегретый пар. Такие камеры называют паровоздушными.

По характеру ограждений камеры делят на стационарные и сборные. Стационарные камеры — это постройки, элементы ограждений которых формируются на месте из обычных строительных материалов. Сборные камеры изготовляют на специальных заводах и монтируют на месте строительства из готовых щитов и узлов.

## § 23. Ограждения сушильных камер

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 выстилают в четыре слоя. Нижний слой — балластный толщиной 200—250 мм, далее подготовительный из щебня (толщина 60 мм), на нем слой бетона толщиной 120 мм. Верхний слой — цементный (толщина 20 мм).

Полу камер придается уклон от 0,01 до 0,005 в направлении к канавкам, идущим вдоль камеры и имеющим слив в канализацию или сточный колодец.

В большинстве камер прокладывают рельсовый путь для закатки и выкатки штабелей. Рельсы укладывают на шпалах заподлицо с поверхностью пола.

Стены выкладывают из глиняного кирпича (ГОСТ 530—71) на цементном растворе марки М-50 с полным заполнением швов. Иногда для устройства стен применяют железобетон.

Наружные стены делают в 2,5 кирпича (630—640 мм), внутренние стены, выходящие в отапливаемые помещения, в 2 кирпича (510 мм), промежуточные, между камерами, в 1,5 кирпича (380 мм).

Стены штукатурят, но только со стороны внутренней поверхности камеры. Оштукатуривать сушильные камеры снаружи недопустимо.

Потолочные перекрытия камер выполняют из железобетонных плит толщиной 70—100 мм, поверх которых наносят влагонепроницаемый слой из битумной мастики и наклеивают слой толя. Мастику готовят из нефтяного битума (ГОСТ 8771—76) на уайт-спирите (соотношение 55:45 по массе). Перекрытие обычно утепляют слоем шлака толщиной 250—350 мм либо используют для этой цели пенобетон, пеностекло или другие изоляционные материалы.

В воздушных и газовых камерах для повышения герметичности ограждения изнутри покрывают краской БТ-177 (ГОСТ 5631—70), эмалью на основе перхлорвиниловой смолы ПХВ-14 (ГОСТ 6993—70) или на основе пентафталевых и эпоксидных смол. Нарушать целостность защитной пленки не допускается.

В высокотемпературных или паровоздушных камерах надежной герметизации и повышенной долговечности достигают путем облицовывания внутренних поверхностей ограждений листовым нержавеющей металлом (алюминием или нержавеющей сталью) с соединением швов сваркой.

Ограждения сборных камер изготавливают в виде щитов, которые имеют каркас из профильной стали (уголки, швеллеры), облицованный листовым металлом (с внутренней стороны обязательно нержавеющей) и заполненный минеральным теплоизоляционным материалом (шлаковой ватой, минеральной ватой, стекловолокном). Щиты соединяют болтами, либо непосредственно друг с другом, либо с рамой металлического каркаса. Все стыки тщательно заделывают.

Загрузочно-разгрузочные двери должны быть герметичными в притворах, иметь надежные и простые запоры и обладать стабильностью формы.

Предъявляемым требованиям в наибольшей степени отвечают металлические двери с каркасом из профильного металла (алюминия или стали), покрытым нержавеющей металлом и заполненным внутри неорганическим теплоизоляционным материалом.

Наиболее широкое применение имеют створные двери.

Дверное полотно 2 (рис. 27) на массивных петлях 1 крепится к металлической дверной коробке 3. С внутренней стороны полотна по периметру окантовано уголком 7, который при закрывании двери нажимает на уплотнительную прокладку 5, выполненную из термостойкой резины или асбестового жгута. Прокладка заложена в канавку, образованную уголком 6. Герметизация двери в при-

творе осуществляется винтовыми прижимами 4. Достаточно герметичный притвор обеспечивает конструкция, предусматривающая прокладку полосы термостойкой резины по периметру дверной коробки.

Двери одностворчатой конструкции более рациональны по сравнению с двухстворчатыми, так как у них отсутствует средний вертикальный створ, в результате герметизация притвора проще и надежнее.

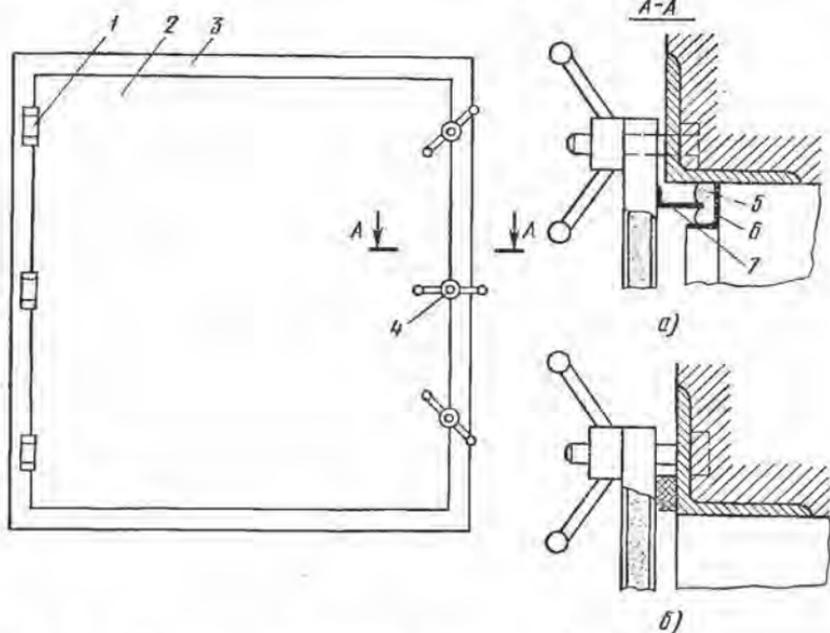


Рис. 27. Схема устройства створной двери и варианты герметизации притвора (а, б):

1 — петля, 2 — дверное полотно, 3 — дверная коробка, 4 — винтовые прижимы, 5 — уплотнительная прокладка, 6 — уголок, 7 — уголок дверного полотна

В некоторых типах сушильных камер применяют сдвижные щитовые, подъемно-щитовые и подъемно-шторные двери.

Сдвижные щитовые двери (рис. 28, а) представляют щит 3, полностью перекрывающий дверной проем камеры; этот щит с помощью подъемно-передвижной каретки 4 навешивается на металлическую коробку 1, снабженную уплотнительной прокладкой. Для прижима дверного щита используются 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. 28, б) имеют дверное полотно 3, которое может перемещаться в вертикально расположенных

направляющих 6 с помощью небольшой тросовой лебедки 5. При открывании двери полотно перемещают вверх по направляющим и фиксируют в верхнем положении стопорным устройством.

Подъемно-шторные двери имеют дверное полотно, состоящее из набора щитков, которые шарнирно связаны друг с другом. Применяются сравнительно редко.

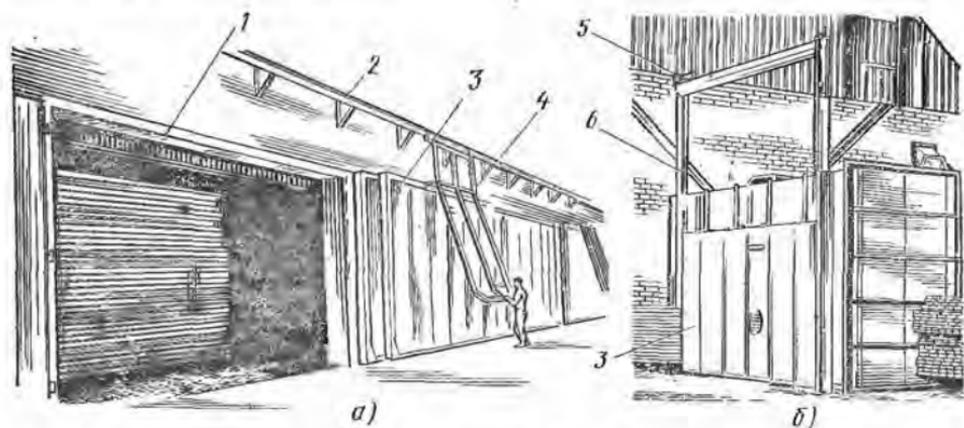


Рис. 28. Сдвижная щитовая дверь с кареткой (а) и подъемно-щитовая дверь (б):  
1 — дверная коробка, 2 — монорельс, 3 — дверное полотно, 4 — подъемно-передвижная каретка, 5 — тросовая лебедка, 6 — направляющие

## § 24. Методы укладки пиломатериалов в штабеля

Пиломатериалы перед сушкой укладывают в штабеля, которые формируют из горизонтальных рядов досок, уложенных на прокладки. При укладке пиломатериалов в штабель должно быть обеспечено их равномерное омывание сушильным агентом.

В зависимости от характера циркуляции агента сушки через штабель применяют два метода укладки: сплошными рядами без промежутков между досками (рис. 29, а, б) и с промежутками — шпациями — между досками ряда (рис. 29, в).

Первый метод укладки, называемый укладкой без шпаций, используют в камерах, которые имеют горизонтальную циркуляцию сушильного агента в направлении поперек штабеля. Этот метод укладки наиболее рационален, так как повышается емкость штабеля, упрощается и облегчается механизация укладочных работ.

Если сушильный агент может проходить через штабель в вертикальном или продольно-горизонтальном направлениях (например, в камерах устаревших конструкций), материал необходимо укладывать со шпациями.

В один штабель укладывают доски только одной породы и одной толщины. По влажности загружаемые пиломатериалы следует сортировать на сырые и воздушно-сухие, не смешивая их в одном штабеле. Необрезные доски укладывают комлями в разные стороны (рис. 29, б).

Размеры штабеля зависят от длины высушиваемого материала и размеров сушильной камеры. Наиболее широко применяются штабеля шириной 1,8—2,4, высотой 2,5—2,8 и длиной 6—7 м. Штабеля таких размеров принято называть *нормальными*. Заготовки и короткие пиломатериалы укладывают в укороченные (2,5—4,5 м) штабеля. Следует отметить, что в последние годы получают распространение штабеля с повышенной высотой — до 5 м.

Для прокладок используют строганные, высушенные рейки толщиной 25 и шириной 40—50 мм. Толщину прокладок следует периодически проверять металлическим калибром. Износившиеся прокладки немедленно заменяют.

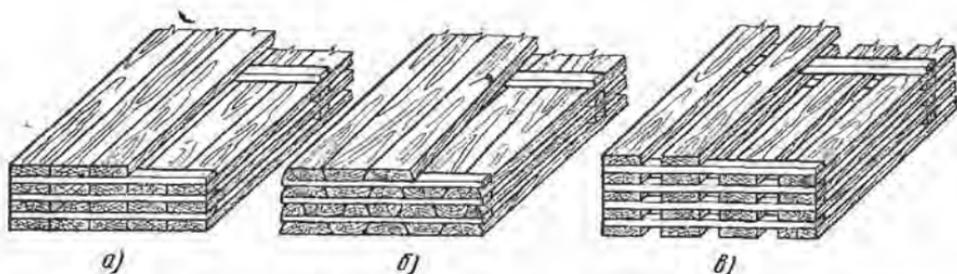


Рис. 29. Методы укладки пиломатериалов в штабеля обрезных (а), необрезных (б) и обрезных со шпациями (в)

## § 25. Воздушные и паровоздушные камеры периодического действия

По характеру циркуляции современные сушильные камеры этого типа подразделяются на две группы: камеры с принудительной эжекционной циркуляцией и камеры с принудительной циркуляцией, осуществляемой вентиляторами. Камеры второй группы в свою очередь делятся на камеры с поперечно-вертикальной и поперечно-горизонтальной циркуляцией.

**Эжекционные камеры.** Применяются два конструктивных варианта эжекционных камер: с осевыми и центробежными вентиляторами.

Схема камеры с осевыми вентиляторами приведена на рис. 30. Изогнутый экран 9, проходящий вдоль камеры, делит ее по высоте на две части: нижнюю, образующую сушильное пространство, и верхнюю — эжекционный воздуховод 8.

Два нагнетательных канала 7 треугольного сечения снабжены системой насадок 6 круглого (как показано на схеме) или прямоугольного сечения. Каналы заканчиваются круглыми патрубками, в которых устанавливаются высоконапорные осевые вентиляторы 4 с электродвигателями 2, расположенными в коридоре управления. Сборные калориферы 5 из чугунных ребристых труб размещены на продольных боковых стенках камеры. Для ввода пара непосредственно в камеру смонтированы увлажнительные трубы 10. Подача свежего воздуха в камеру осуществляется через приточный ка-

нал 3, а удаление отработавшего воздуха — через вытяжную трубу 1.

Камера работает следующим образом. В воздуховод 8 из насадок выбрасывается эжектирующий воздух (со скоростью движения не менее 25 м/с) и подсасывается (за счет разрежения, см. § 21) циркулирующий воздух, вышедший из штабеля. В канал 7 воздух подается вентилятором 4, в основном из сушильного пространства и в небольшом количестве из приточного канала 3. Полученная в канале 7 и воздуховоде 8 смесь проходит через калорифер 5, нагревается и затем поступает в штабель 11, уложенный без шпаций. Отработавший воздух частично удаляется из камеры через вытяж-

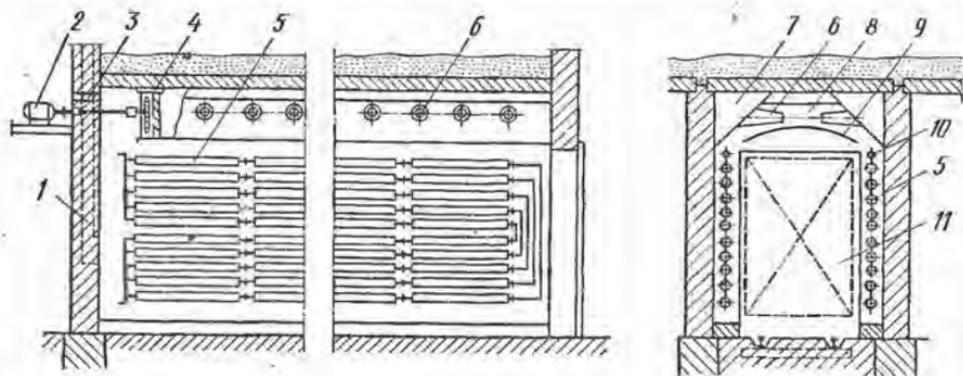


Рис. 30. Разрезы эжекционной камеры Гипродрев-ЦНИИМОД:

1 — вытяжная труба, 2 — электродвигатель, 3 — приточный канал, 4 — вентилятор, 5 — калориферы, 6 — насадки, 7 — нагнетательный канал, 8 — эжекционный воздуховод, 9 — экран, 10 — увлажнительная труба, 11 — штабель

ную трубу. Из двух каналов, показанных на схеме, одновременно работает только один. Путем поочередного включения вентиляторов правого и левого каналов можно изменить направление движения сушильного агента в штабеле, т. е. реверсировать циркуляцию. При работе вентилятора, подающего воздух в левый канал, циркуляция осуществляется по часовой стрелке и, наоборот, против часовой стрелки при подаче воздуха в правый канал.

Рассмотренное конструктивное решение имеют камеры ЦНИИМОД-39 и ЦНИИМОД-Гипродрев. Эти камеры строят длиной 7 или 14 м, они рассчитаны на один — четыре нормальных штабеля. Их эжекторная установка оснащена вентилятором типа В № 8 с электродвигателем мощностью 7—10 кВт. Скорость циркуляции воздуха в штабеле составляет 0,5—0,6 м/с, что недостаточно для равномерного просыхания материала. Интенсивность циркуляции может быть повышена до 1,3—1,5 м/с при установке вентилятора типа В № 9 или № 10 с электродвигателем мощностью 20—25 кВт (конструкция ВНИИДмаш).

Более рациональна конструкция эжекционной камеры ВНИИД-маш-Гипродревпром, в которой предусмотрена установка в коридо-

ре управления одного центробежного вентилятора с разветвленным на две части нагнетательным воздуховодом. В тройнике этого воздуховода монтируется перекидная заслонка, с помощью которой воздух направляется в правый или левый каналы.

В последнем конструктивном варианте (рис. 31) камера оборудуется вентилятором 2 (Ц4-70 № 12) с электродвигателем 1 мощностью 28 кВт, напорными каналами повышенного сечения с удлиненными щелевидными насадками 3. Скорость циркуляции сушильного агента в штабеле этих камер равна  $1,5 \cdot 2$  м/с.

Достоинством эжекционных камер является простота их монтажа и обслуживания. Основной их недостаток — большой расход

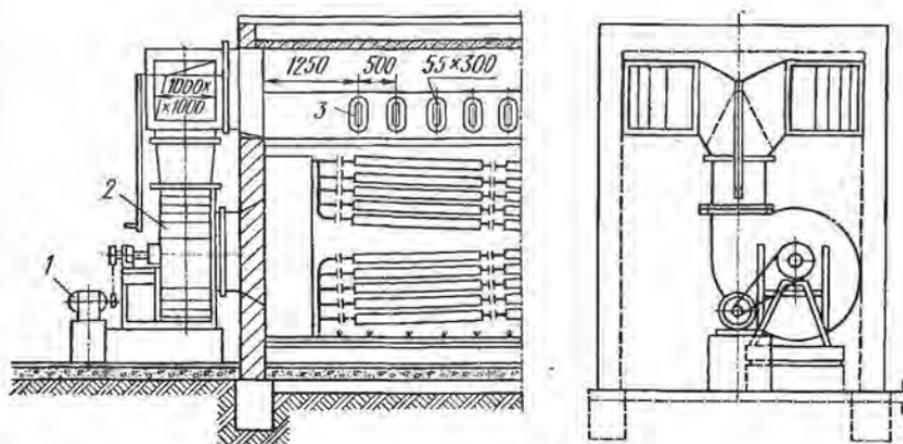


Рис. 31. Разрезы камеры ВНИИДмаш-Гипродревпром:  
1 — электродвигатель, 2 — вентилятор, 3 — щелевидная насадка

электроэнергии на привод вентилятора при интенсивной циркуляции сушильного агента и хорошей равномерности сушки. Эжекционные камеры строят в стационарном исполнении. В качестве сушильного агента используется только нагретый влажный воздух.

Камеры с поперечно-вертикальной циркуляцией. В этих камерах циркуляция сушильного агента осуществляется осевыми реверсивными вентиляторами. Сушильный агент проходит через штабель в поперечном направлении. Поэтому штабеля укладывают без шпаций. Внутри камеры движение агента сушки проходит по замкнутой траектории, лежащей в вертикальной плоскости. Камеры с таким характером циркуляции называют камерами типа ВИАМ (Всесоюзный институт авиационных материалов, который впервые в нашей стране создал и внедрил их в производство).

Наиболее просты и рациональны по схеме камеры типа ВИАМ с вентиляторами на коротких поперечных валах. Разрез такой камеры приведен на рис. 32. Горизонтальный экран 8 делит помеще-

высушиваемые штабеля пиломатериалов 9, и вентиляторное помещение, где размещены вентилятор 3 (У-12 № 10, № 12), сборные калориферы 6, увлажнительные трубы 7, распределительные каналы 5 приточно-вытяжной вентиляции и вентиляционные трубы 4. Вентиляторное помещение разделено вертикальным экраном 2, в котором смонтированы патрубki вентиляторов. Вал вентилятора проходит через сальники в продольной стене и соединяется муфтой с электродвигателем 1. Расстояние между смежными вентиляторами 1,5—2,5 м.

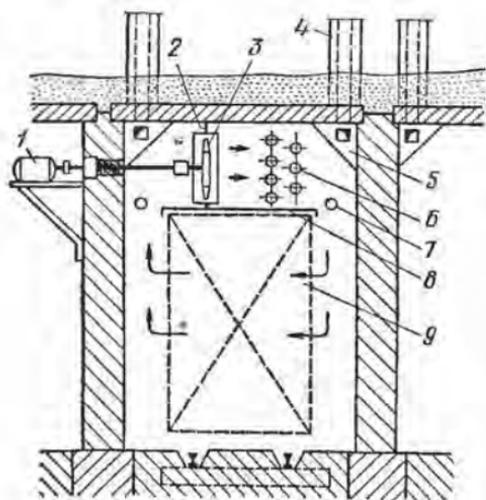


Рис. 32. Поперечный разрез камеры типа ВИАМ с вентиляторами на коротких поперечных валах:

1 — электродвигатель, 2 — вертикальный экран, 3 — вентилятор, 4 — вентиляционная труба, 5 — канал, 6 — калорифер, 7 — увлажнительная труба, 8 — горизонтальный экран, 9 — штабель

нормальных штабелях и ЦНИИМОД-30 — для сушки заготовок в коротких штабелях. Недостаток этих камер в том, что их невозможно строить в блоке больше двух. При большом числе камер между блоками необходимо оставлять промежуточные коридоры для размещения электродвигателей. Это повышает расходы на строительство камер и в некоторой степени уменьшает полезную производственную площадь.

Все вентиляторы можно устанавливать на одном продольном валу, проходящем по всей длине камеры. Поперечный экран вентиляторного помещения выполняется в этом случае зигзагообразным. На рис. 33 приведена схема плана вентиляторного помещения камеры такого типа — камеры ЦНИИМОД-23. Основным недостатком этих камер — тяжелые условия работы внутренних подшипников при повышенной температуре.

В новых конструктивных вариантах стационарных камер с поперечно-вертикальной циркуляцией вентиляторы устанавливают

Сушильный агент под действием работающего вентилятора движется поперек камеры, проходя последовательно через трубы калорифера и штабель. При циркуляции по часовой стрелке (как показано на рисунке) в левой части вентиляторного помещения создается разрежение, а в правой — повышенное давление. В этом случае левый распределительный вентиляционный канал служит для притока свежего, а правый — для удаления отработавшего воздуха. Назначение каналов меняется на обратное при реверсировании потока.

Применяются два конструктивных варианта таких камер в стационарном исполнении: камеры ВИАМ-40 для сушки длинных пиломатериалов в

на поперечных валах без устройства промежуточных коридоров. К этим вариантам относятся:

камера МТИ (Московский технологический институт бытового обслуживания) системы Л. В. Сахновского и Б. С. Царева (рис. 34, а); особенность камеры в том, что она имеет перекрытие трапециевидной формы, а вентиляторы насажены на валы между двумя подшипниками, вынесенными за пределы сушильного пространства камеры;

камера МТИ (проект ВПКТИМ) с вентиляторами на вертикальных валах, смонтированными в канале, который образован

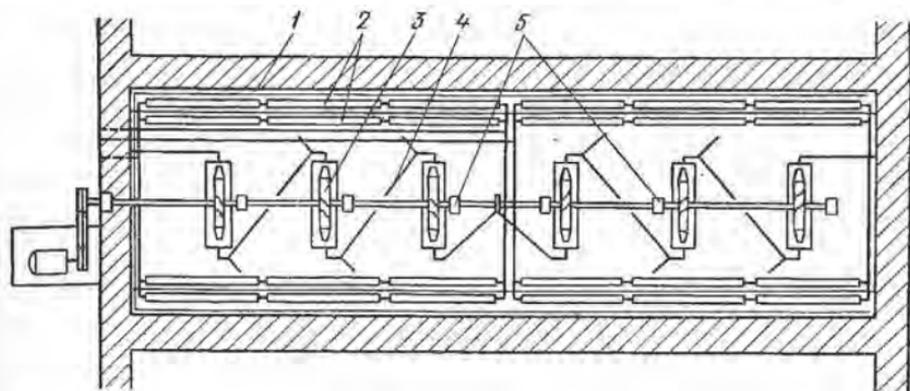


Рис. 33. План вентиляторного помещения камеры с вентиляторами на продольном валу:

1 — увлажнительная труба, 2 — калориферы, 3 — вентилятор, 4 — зигзагообразный экран, 5 — подшипники

продольной стеной камеры и боковой поверхностью штабеля (рис. 34, б);

камера МЛТИ с наклонным поперечным экраном в вентиляторном помещении (рис. 34, в); вентиляторы установлены на наклонных валах;

камера ЛТА-Гипродрев (рис. 34, г) имеет съемные вентиляторно-приводные блоки, устанавливаемые в люках перекрытия; вентиляторы снабжены цепным приводом; камера оборудована пластинчатыми калориферами, установленными в вентиляторном помещении, и калориферами из ребристых труб, вертикально установленных между штабелями; в околоштабельных каналах смонтированы наклонные экраны, выравнивающие скорость движения сушильного агента по высоте штабеля.

В качестве сушильного агента в этих камерах предусмотрено использование как влажного воздуха, так и перегретого пара атмосферного давления. Поэтому камеры имеют улучшенную герметизацию ограждений, повышенную тепловую мощность и высокую скорость циркуляции в штабеле (2,5—3 м/с).

Камеры типа ВИАМ имеют бесспорные преимущества перед эжекционными. В них создается равномерная и интенсивная цир-

куляция, обеспечивающая равномерное просыхание материала. При одинаковой скорости движения сушильного агента камеры потребляют электроэнергию в 2—3 раза меньше.

Отечественная промышленность выпускает сборные паровоздушные камеры с поперечно-вертикальной циркуляцией СПВ-62

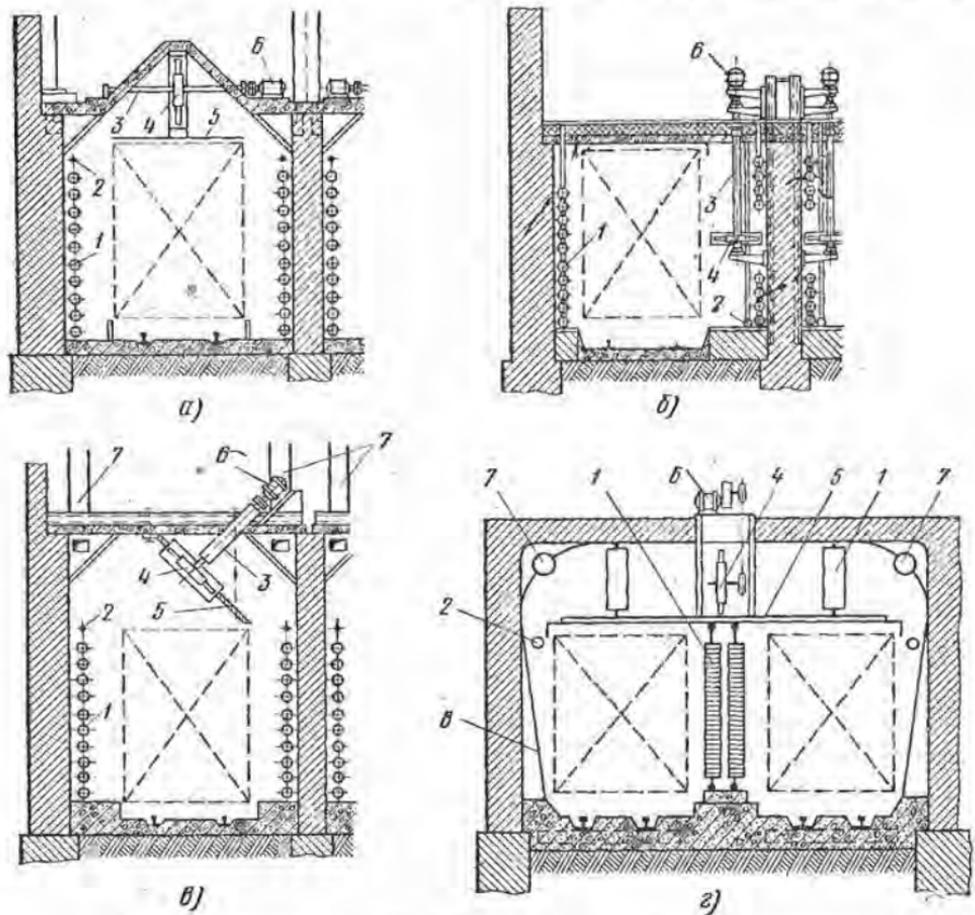


Рис. 34. Камеры с осевыми вентиляторами на поперечных валах:

*а* — системы Л. В. Сахновского и Б. С. Царева, *б* — системы МТИ (проект ВПКТИМ), *в* — системы проф. П. С. Сергеевского, *г* — системы ЛТА-Гипродрев; 1 — calorиферы, 2 — увлажнительные трубы, 3 — вентиляторные валы, 4 — вентиляторы, 5 — экраны, 6 — электродвигатель, 7 — приточно-вытяжные каналы, 8 — наклонные экраны.

(рис. 35). Камера состоит из однотипных секций 8 длиной 1,75 м. Каждая секция представляет собой теплоизолированный и металлический (изнутри алюминиевый) корпус, в вентиляторном канале которого на поперечном валу 10 установлен осевой вентилятор 2. Подшипники 9 вала вынесены за пределы сушильного пространства. Вентилятор приводится во вращение электродвигателем 12 через клиноременную передачу. В вентиляторном канале смонтированы пластинчатые calorиферы 13.

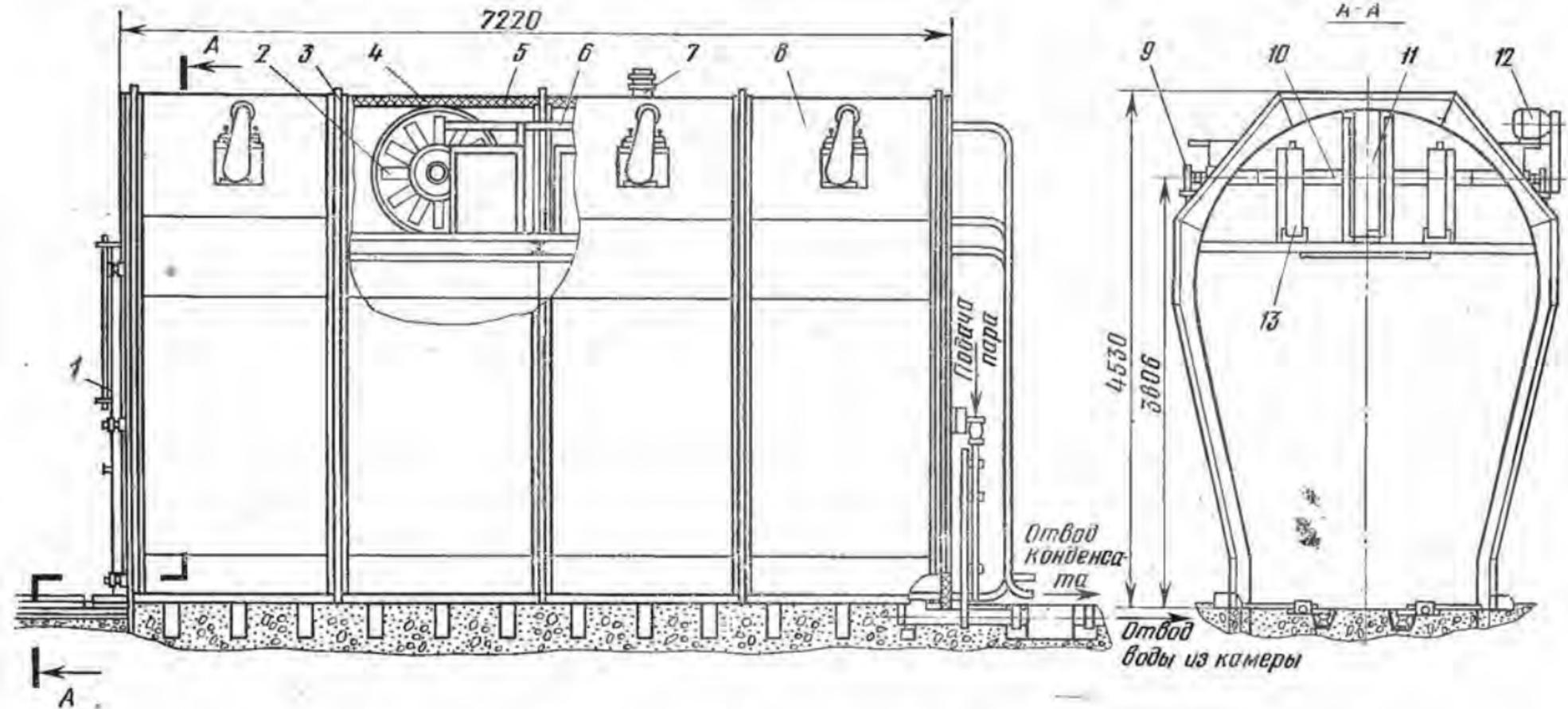


Рис. 35. Сборная камера СПВ-62:

1 — дверь камеры, 2 — вентилятор, 3 — стык секций, 4 — обшивка, 5 — теплоизоляция, 6 — паропровод, 7 — приточно-вытяжной канал, 8 — секция камеры, 9 — подшипник, 10 — вал вентилятора, 11 — кожух вентилятора, 12 — электродвигатель, 13 — калорифер

Камеру собирают из четырех или восьми секций на один или два нормальных штабеля.

При использовании в качестве сушильного агента влажного воздуха вентиляцию осуществляют через приточно-вытяжные каналы 7, а при работе на перегретом паре каналы перекрывают. Излишек циркулирующего пара, равный массе испаряемой из древесины влаги, удаляется через выхлопную трубу, снабженную клапаном.

На деревообрабатывающих предприятиях страны эксплуатируются сборные камеры с поперечно-вертикальной циркуляцией зарубежных фирм «Валмет» (Финляндия), «Флект» (Швеция), «Хильдебранд» (ФРГ).

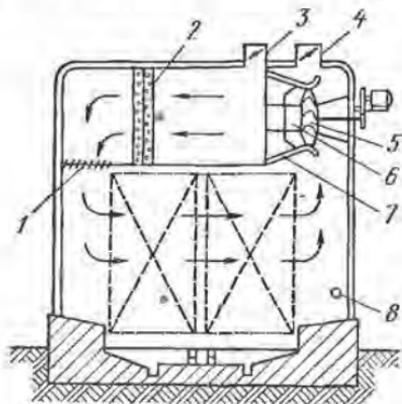


Рис. 36. Сборная камера фирмы «Хильдебранд»:

- 1 — распределительная решетка, 2 — калорифер, 3 — вытяжной канал, 4 — приточный канал, 5 — вентилятор, 6 — направляющий аппарат, 7 — диффузор, 8 — увлажнительная труба

На рис. 36 приведен схематический поперечный разрез камеры фирмы «Хильдебранд». Камеру собирают из отдельных элементов. Каркас и щиты ограждений выполнены из профильного и листового алюминия. В вентиляторном помещении размещены десять осевых нереверсивных вентиляторов 5, за которыми установлены направляющие аппараты 6 и диффузоры 7, выравнивающие поток сушильного агента и обеспечивающие его равномерное прохождение по всей площади калориферов. За калориферами 2 в пространстве между экраном и боковой стенкой установлена распределительная решетка 1 (для выравнивания потока циркулирующего агента сушки).

Вентиляция в камере обеспечивается приточным 4 и вытяжным 3 каналами, снабженными заслонками. В камере проложены два рельсовых пути. Она вмещает шесть штабелей длиной по 6—6,5 м.

Камеры фирмы «Хильдебранд» оборудуются дверями различных конструкций: створными, сдвижными и подъемно-щитовыми.

Камеры с поперечно-горизонтальной циркуляцией. Агент сушки в этих камерах проходит через штабель в поперечном направлении (укладка штабеля без шпаций). Внутри камеры его движение проходит по замкнутой траектории, которая лежит в горизонтальной плоскости. Рассмотрим два конструктивных варианта таких камер: ЛатНИИЛХП (Латвийский научно-исследовательский институт лесохозяйственных проблем) и ВНИИДрев — Гипродревпром.

Камера ЛатНИИЛХП в стационарном исполнении (рис. 37) рассчитана на сушку двух нормальных штабелей в среде перегретого пара. Она снабжена двумя нереверсивными осевыми вентиляторами 3. Иногда вместо осевых устанавливают роторные венти-

ляторы, представляющие собой рабочее колесо с прямыми лопатками без кожуха (диаметр колеса около 2 м). Калорифер 1 состоит из ребристых двухметровых труб, установленных вертикально вдоль боковых стен камеры. Избыточный пар, образующийся от испарения влаги из древесины, удаляется через выхлопную трубу. Электродвигатели 2 привода вентиляторов установлены в промежуточном коридоре между камерами, которые строят в блоке попарно.

Циркуляция пара в камере осуществляется следующим образом. Осевые (или роторные) вентиляторы засасывают сушильный агент из центральной зоны штабелей и нагнетают его в приторцовые зоны.

В каждом штабеле создаются два горизонтальных кольца циркуляции (показано на чертеже стрелками).

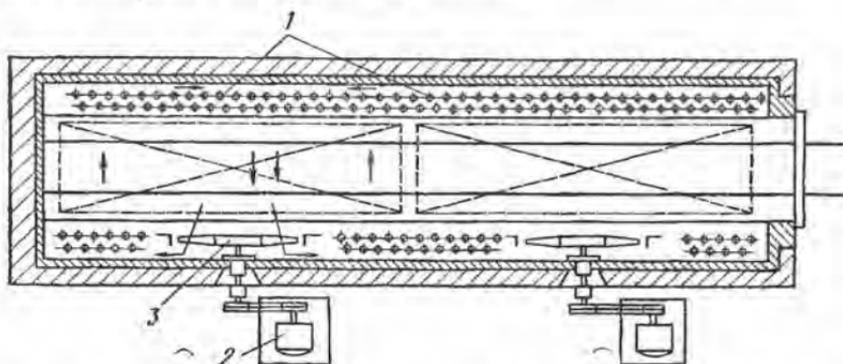


Рис. 37. Камера с поперечно-горизонтальной циркуляцией ЛатНИИЛХП:  
1 — калориферы, 2 — электродвигатель, 3 — вентилятор

Как показывает опыт эксплуатации этих камер, они не обеспечивают требуемой равномерности просыхания пиломатериалов. Это объясняется большими колебаниями скорости циркуляции сушильного агента, вызванными соприкосновением встречных потоков в каждом штабеле и образованием «мертвых зон» циркуляции.

Более совершенны камеры СПЛК-1 (на один нормальный штабель) и СПЛК-2 (на два нормальных штабеля) с поперечно-горизонтальной циркуляцией, спроектированные Гидродревпромом (по предложению ВНИИДрева) в стационарном исполнении.

Разрезы паровоздушной камеры СПЛК-2 приведены на рис. 38. В приторцовом вентиляторном помещении размещены один над другим два осевых реверсивных вентилятора 1. На перекрытии до и после вентиляторов установлены две вентиляционные трубы 2, работающие поочередно (при реверсировании) на приток и вытяжку воздуха. Вдоль боковых стен и между штабелями смонтированы калориферы 3 из вертикально расположенных ребристых труб. В каналах, образованных рядами калориферов и боковыми стенками камеры, поставлены экраны 4, способствующие выравниванию скорости движения сушильного агента по длине штабеля. Камера оборудована увлажнительными трубами 5.

При работе вентиляторов сушильный агент поступает в околоштабельный канал, проходит последовательно через калориферы и штабеля и по второму околоштабельному каналу возвращается в вентиляторы.

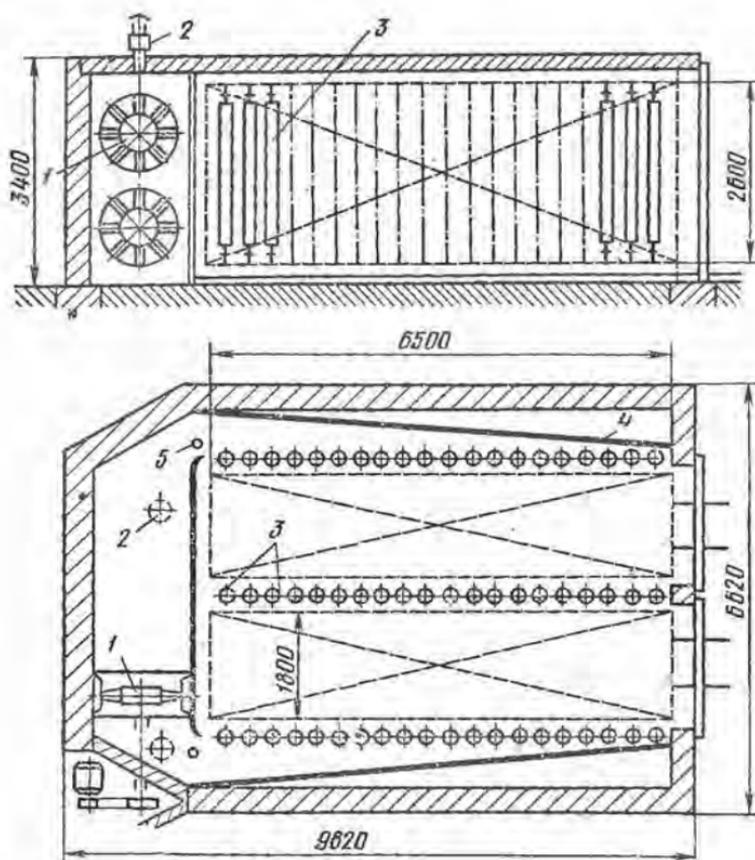


Рис. 38. Камера СПЛК-2:

1 — вентилятор, 2 — вентиляционные трубы, 3 — калориферы, 4 — экран, 5 — увлажнительная труба

## § 26. Камеры периодического действия с аэродинамическим подогревом

В камерах с аэродинамическим подогревом сушильного агента отсутствуют калориферы. Камеры оборудуются мощными роторными вентиляторами с низким аэродинамическим коэффициентом полезного действия. Нагревается сушильный агент 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.

На этом принципе работает камера ПАП-32. В приторцовый части камеры (рис. 39, а) расположен вентилятор 1 роторного типа (диаметр колеса 1000 мм), приводимый во вращение электродвигателем мощностью 75 кВт, вынесенным за пределы камеры. Перед всасывающим патрубком вентилятора установлен металлический короб 3, в торцевой стенке которого имеется отверстие с жалюзиной заслонкой. Внутри короба закатывается штабель нормального размера, уложенный со шпациями.

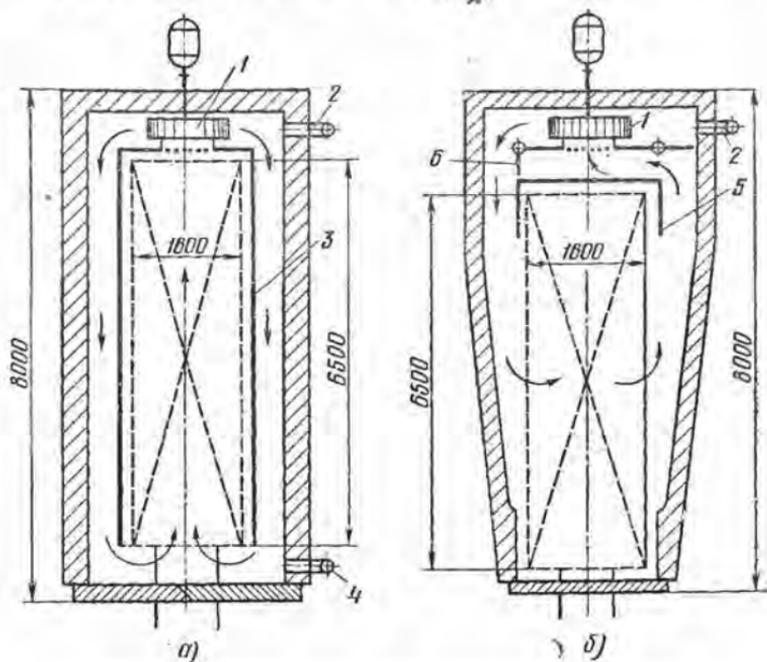


Рис. 39. Камеры с аэродинамическим подогревом:

а — ПАП-32, б — УРАЛ-72; 1 — вентилятор, 2, 4 — вентиляционные каналы, 3 — короб, 5, 6 — экраны

Сушильный агент нагнетается вентилятором в циркуляционный канал, далее поступает в передний торец штабеля, проходит через штабель в продольном направлении и возвращается через жалюзийную заслонку в вентилятор.

Регулирование температуры в камере осуществляется путем изменения частоты вращения вентилятора и степенью открытия заслонки, от которых зависит потребляемая мощность.

Камера может работать на влажном воздухе и перегретом паре. В первом случае она снабжается приточными 4 и вытяжными 2 каналами. Во втором случае камера имеет выхлопную трубу. После загрузки камеры материалом и разогрева ее до температуры выше  $100^{\circ}\text{C}$  воздух вместе с испаряющейся влагой постепенно удаляется через выхлопную трубу, а сушка древесины начинает проходить в среде перегретого пара.

Недостатками камеры ПАП-32 являются: большой расход элек-

троэнергии, невозможность проведения влаготеплообработки из-за отсутствия системы увлажнения, нерациональность схемы циркуляции (укладка со шпациями, движение сушильного агента вдоль штабеля).

На рис. 39, б показана сборная камера Урал-72, свободная от последнего недостатка. В камере осуществляется поперечно-горизонтальная реверсивная циркуляция (при укладке штабеля без шпации). Такая схема циркуляции реализована путем установки экрана 5 (вместо короба 3) и поворотных экранов 6, которые обеспечивают реверсирование потока.

## § 27. Конденсационные сушильные камеры

В настоящее время получают распространение конденсационные сушильные камеры, которые также являются конвективными. Их отличие от обычных сушильных камер состоит в том, что удаление испаренной из древесины влаги осуществляется не в виде пара

путем воздухообмена с окружающей средой, а в жидком виде после конденсации этой влаги в специальной охлаждающей установке.

В помещении конденсационной сушильной камеры (рис. 40) кроме вентилятора 3 с приводом 4 и калорифера 2 устанавливается компрессорная холодильная машина, состоящая из испарителя 7, конденсатора 5 и компрессора 6. Под испарителем расположен приемник конденсата 8. Выходящий из штабеля 1 воздух с повышенным влагосодержанием (состояние б) проходит через

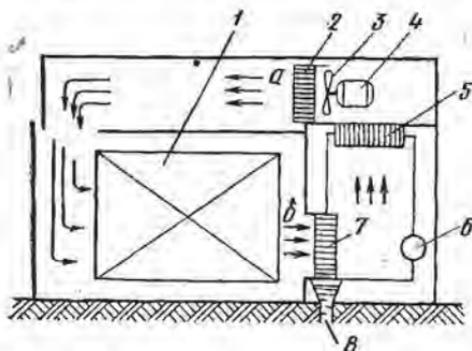


Рис. 40. Схема конденсационной сушильной камеры:

1 — штабель, 2 — калорифер, 3 — вентилятор, 4 — электродвигатель, 5 — конденсатор холодильной машины, 6 — компрессор, 7 — испаритель, 8 — приемник конденсата

змеевики испарителя 7, где охлаждается. При этом влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется и через приемник 8 удаляется из камеры. Осушенный воздух проходит через конденсатор 5 холодильной машины и нагнетается вентилятором 3 через калорифер 2 в сушильное помещение камеры (состояние а). Воздух нагревается при прохождении его через конденсатор и калорифер.

В конденсационных сушильных камерах процесс проходит при относительно низкой температуре (30—40°С), что, естественно, удлиняет сроки сушки материала. Однако этот недостаток компенсируется высоким качеством сушки и экономичностью процесса. Последнее объясняется тем, что, во-первых, нагретый воздух не выбрасывается из камеры и, во-вторых, тепло, выделяемое конденсатором холодильной машины и приводом вентилятора, используется для нагрева циркулирующего в камере воздуха.

## § 28. Газовые камеры периодического действия

Газовые камеры периодического действия имеют эжекционную циркуляцию. Из них наиболее распространена камера ЦНИИМОД-53 (рис. 41). По циркуляционной схеме эта камера аналогична эжекционной камере с осевыми вентиляторами (см. рис. 30). Однако сушильный агент нагревается в ней не паровыми калориферами, а непосредственным впуском топочных газов в сушильное пространство камеры. Топочные газы получают в топках при сжигании кусковых древесных отходов. Обычно одна топка обслуживает блок из четырех камер.

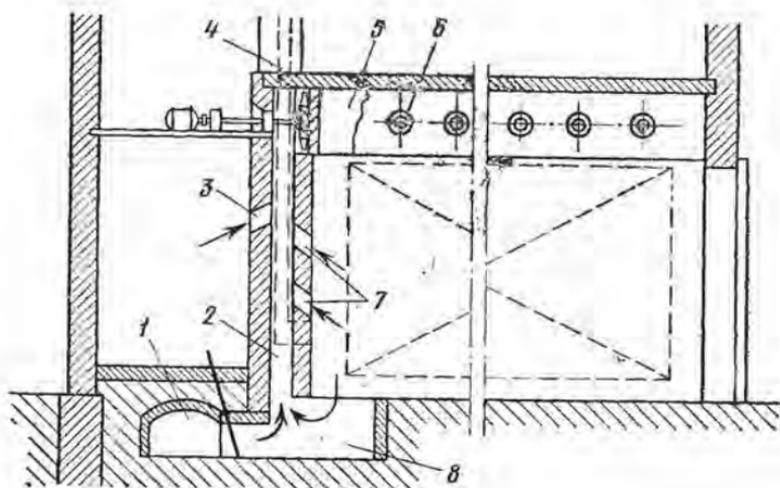


Рис. 41. Газовая камера периодического действия ЦНИИМОД-53:

1 — боров, 2 — вертикальный канал, 3 — отверстия для притока свежего воздуха, 4 — вытяжная труба, 5 — нагнетательный канал, 6 — насадка, 7, 8 — отверстия для притока отработанного газа

Топочные газы поступают по борову 1, из которого они засасываются вентилятором высокого давления в канал 2, расположенный в торцевой стене. В этот же канал подается свежий воздух через отверстие 3 и отработавший сушильный агент через отверстия 7 и 8. Полученная в канале газовоздушная смесь (при температуре около  $150^{\circ}\text{C}$ ) вентилятором нагнетается в канал 5 и выбрасывается из насадок 6 в эжекционный воздуховод, куда дополнительно (за счет эжекции) подсасывается отработавший сушильный агент и где образуется рабочая смесь, поступающая в штабель.

В камере имеется два вентилятора и соответственно два канала 5. Одновременно работает лишь один канал. Второй перекрыт задвижкой. Реверсирование циркуляции осуществляется переключением газового потока из одного канала в другой. Излишняя отработавшая газовоздушная смесь удаляется в атмосферу через вытяжную трубу 4.

На рис. 42 показана сушильная камера (проект ВНИИДмаш), работающая на природном газе. Газ сжигается в индивидуальной (для каждой камеры) топке 6, имеющей горелки 5 инжекционного действия. Отходящие от топки газоходы 7 подключены к вертикальным каналам, расположенным в торцевой стене камеры. Эти камеры оборудованы более совершенными осевыми вентиляторами 2. На рис. 42 показана сушильная камера (проект ВНИИДмаш), работающая на природном газе. Газ сжигается в индивидуальной (для каждой камеры) топке 6, имеющей горелки 5 инжекционного действия. Отходящие от топки газоходы 7 подключены к вертикальным каналам, расположенным в торцевой стене камеры. Эти камеры оборудованы более совершенными осевыми вентиляторами 2.

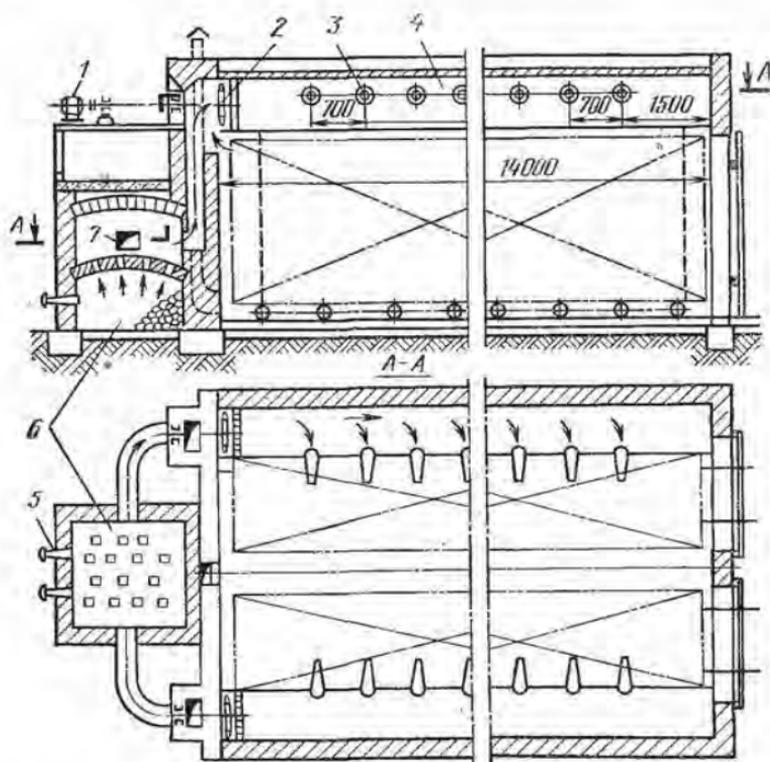


Рис. 42. Газовая камера периодического действия с индивидуальной топкой на природном газе:

1 — электродвигатель, 2 — вентилятор, 3 — насадка, 4 — нагревательный канал, 5 — горелка, 6 — топка, 7 — газоход

ВОК-1,1. Газовые камеры периодического действия последних конструкций снабжены увлажнительными устройствами.

Достоинством газовых камер по сравнению с воздушными и паровоздушными является меньшая себестоимость сушки и пониженные капитальные затраты на строительство (примерно на 30—35%), так как отпадает необходимость в котельных, паровых магистралях, калориферах. Недостаток газовых камер — сложность регулирования режима сушки при обслуживании блока камер одной топкой и отсутствие увлажнительных устройств (в камерах старых конструкций). Технические характеристики основных камер периодического действия приведены в табл. 3.

Таблица 3. Технические характеристики основных стационарных и сборных камер периодического действия

Показатели	ВНИИДмаш — Гидродрев- пром	ЦНИИМОД-23	МТИ системы Л. В. Сахнов- ского и Б. С. Царева	ЛТА-Гидро- древ	СПВ-62	ЛатНИИЛХП	ПАП-32	ЦНИИМОД-53
Внутренние размеры камеры (длина×шири- на×высота), м	19×3,1× ×4,45	14,5×4,8× ×4,5	14×3,1× ×4,2	13,7×5,7× ×4,4	7×2,8×4,26	14×3×3	8×2×2	14×5,7×3,9
Число штабелей в ка- мере при длине досок 6,5 м	2	4	2	4	1	2	1	4
Ширина и высота шта- беля, м	1,8×2,6	1,8×2,6	1,8×2,6	1,8×2,6	1,8×2,6	1,8×2,6	1,8×1,8	1,8×2,6
Вместимость камеры, м <sup>3</sup> условного материала	29,2	58,4	29,2	58,4	14,7	29,4	6,8	58,8
Годовая производи- тельность камеры, м <sup>3</sup> ус- ловного материала	2300	4600	4700	6800	2400	4100	1500	6800
Давление пара в кало- риферах, МПа	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4—0,5	0,4—0,5	—	—
Поверхность нагрева калориферов, м <sup>2</sup>	480	288	520	962	327	456	—	—
Часовой расход пара на камеру, кг/ч	400	480	400	540	500	500	—	—
Тип и номер вентилято- ра	Ц4-70 № 12	ЦАГИ № 12	У-12 № 10	У-12 № 10	У-12 № 10	Центробежный, специальный № 20	Центробеж- ный, спе- циальный	В № 9
Число вентиляторов, шт.	1	6	6	6	4	2	1	2
Объем циркулирующе- го агента сушки, м <sup>3</sup> /с	37,5	40	30	33,5	28	27,8	—	—
Установленная мощ- ность электродвигателей на камеру, кВт	28	7	27	27	18	20	75	20
Ориентировочный рас- ход электроэнергии, кВт·ч/м <sup>3</sup> усл.	53	13	28	21	30	24	300—400	—

## § 29. Воздушные камеры непрерывного действия

Камеры непрерывного действия представляют собой сооружения в виде длинного туннеля, вмещающего несколько штабелей. Штабеля пиломатериалов загружают с одного конца камеры, называемого сырым, и выгружают с противоположного, который называется сухим.

Применяют два типа камер непрерывного действия: противоточные и с позонной поперечной циркуляцией сушильного агента.

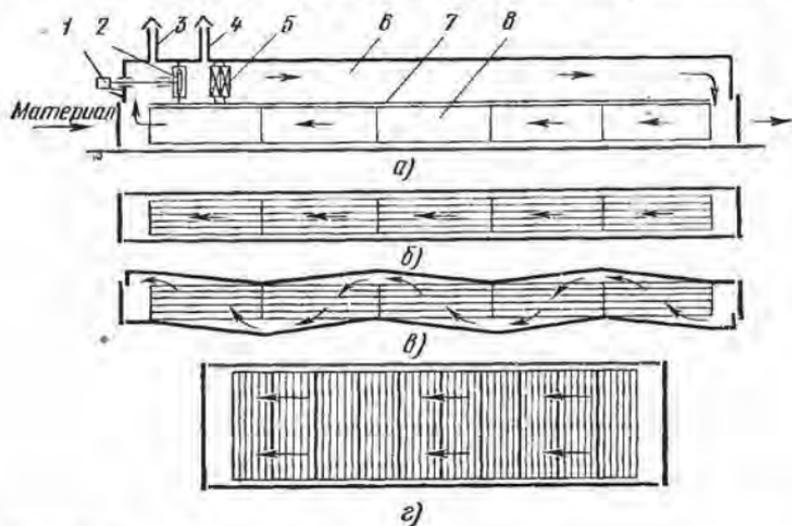


Рис. 43. Противоточная сушильная камера непрерывного действия: а — схематический продольный разрез, б, в, г — варианты устройства камеры; 1 — электродвигатель, 2 — вентилятор, 3 — приточный канал, 4 — вытяжной канал, 5 — калорифер, 6 — циркуляционный канал, 7 — горизонтальный экран, 8 — штабель

Наиболее распространены противоточные камеры (рис. 43, а). Помещение камеры разделено горизонтальным экраном 7 на сушильное пространство, где размещены высушиваемые штабеля 8, и циркуляционный канал б, в котором смонтированы осевой нереверсивный вентилятор 2 и батарея пластинчатых калориферов 5. Вентилятор приводится в движение электродвигателем 1, расположенным за пределами помещения камеры. На перекрытии камеры до и после вентилятора устанавливают приточный 3 и вытяжной 4 каналы.

Штабель сырых пиломатериалов, загруженный в камеру со стороны сырого (загрузочного) конца, находится в среде с повышенной степенью насыщения и относительно низкой температурой. В процессе сушки штабель периодически перемещают на новые места в направлении сухого (разгрузочного) 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 каме-

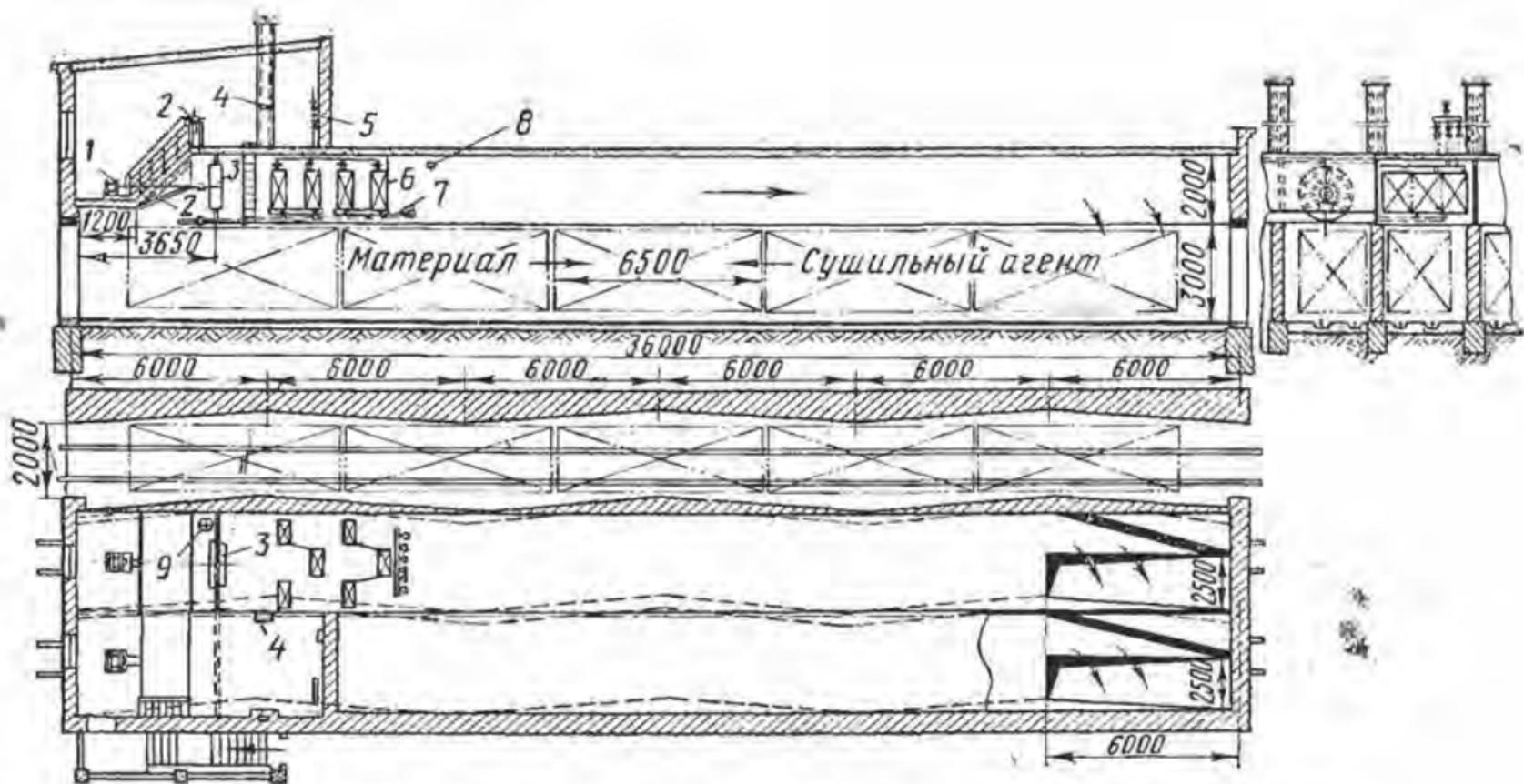


Рис. 44. Противоточная камера с зигзагообразной циркуляцией ЦНИИМОД-32:

1 — электродвигатель, 2 — щит для регулирования скорости циркуляции воздуха с лебедкой, 3 — вентилятор, 4 — вытяжная труба, 5 — парораспределительный коллектор, 6 — калорифер, 7 — увлажнительная труба, 8 — датчики дистанционного психрометра, 9 — конденсатоотводчик

ре обеспечивается выполнение рационального режима сушки (см. § 17). Так как штабеля перемещаются навстречу движению сушильного агента, то такие камеры и получили название противоточных.

Рассмотренный принцип работы характерен для всех противоточных камер. Однако по способу транспортировки в них штабелей и характеру движения воздуха различают три варианта камер:

камеры с продольной транспортировкой штабелей и прямолинейной циркуляцией, в которых штабель занимает все поперечное сечение сушильного пространства, а пиломатериалы укладываются штапиками (рис. 43, б);

камеры с продольной транспортировкой штабелей и зигзагообразной циркуляцией (рис. 43, в), пиломатериалы укладывают в штабель без штапиков; 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 транспортировкой штабелей и прямолинейной циркуляцией (рис. 43, г); 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 штапиков.

Камеры с продольной транспортировкой штабелей и прямолинейной циркуляцией ЦНИИМОД-24, ЦНИИМОД-34 и НС-4 построены в стационарном исполнении в небольшом количестве. В связи с нерациональной схемой циркуляции (требующей укладки пиломатериалов со штапиками) широкого применения не получили и к новому строительству не рекомендуются.

Камеры с зигзагообразной циркуляцией ЦНИИМОД-32 (рис. 44) распространены значительно шире. Их строят в стационарном исполнении. Для обеспечения качественной сушки пиломатериалов в этих камерах необходимо тщательно формировать штабель, строго соблюдая требуемые габаритные размеры для предотвращения утечек воздуха между выступами боковых стен и боковой поверхностью штабеля, а также между потолком и верхом штабеля. Камера имеет длину 44 м, она вмещает шесть нормальных штабелей.

Наиболее распространенными являются камеры ЦНИИМОД-49 (рис. 45) с поперечной транспортировкой штабелей. Эти камеры изготавливаются в стационарном исполнении. Они имеют относительно короткий (24 м), но широкий (~7 м) туннель, вмещающий 11 нормальных штабелей. Циркуляция воздуха осуществляется тремя осевыми вентиляторами 2. Для привода вентиляторов применены четырехскоростные электродвигатели 1, что дает возможность создавать в зависимости от характеристик высушиваемого материала различную скорость циркуляции сушильного агента. Воздух в камере нагревается батареей пластинчатых калориферов КФБ-9. Штабеля 9, уложенные на швеллерные подштабельные балки, перемещаются по трем роликовым конвейерам, имеющим уклон 1 : 100 в направлении сухого конца камеры.

Усовершенствованным конструктивным вариантом этой камеры является камера ЦНИИМОД-56, которая отличается некоторыми конструктивными деталями и более высоким уровнем механизации работ по загрузке и выгрузке штабелей.

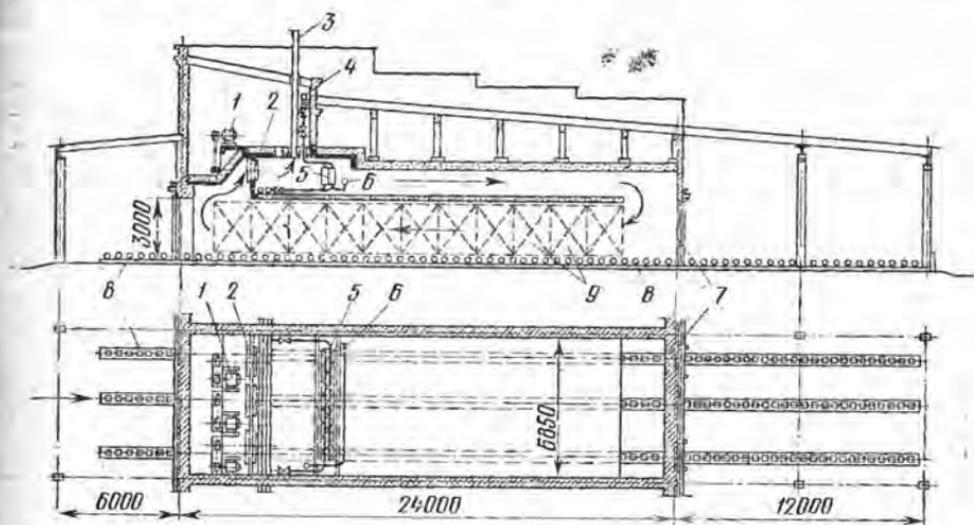


Рис. 45. Камера ЦНИИМОД-49:

1 — электродвигатель, 2 — вентилятор, 3 — вытяжная труба, 4 — паропровод, 5 — калорифер, 6 — увлажнительная труба, 7 — дверь, 8 — роликовая шина, 9 — штабеля

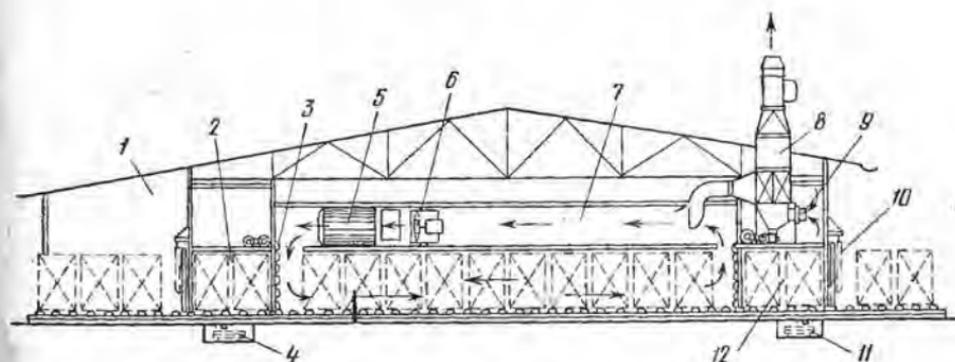


Рис. 46. Камера СП-5КМ:

1 — навес, 2 — отсек выдержки материала, 3 — шторная дверь, 4 — механизм выгрузки, 5 — калорифер, 6 — вентилятор с приводом, 7 — циркуляционный канал, 8 — рекуператор, 9 — вытяжная труба, 10 — щитовая сдвижная дверь, 11 — механизм загрузки, 12 — отсек начального прогрева

К сборным противоточным камерам с поперечной транспортировкой штабелей относятся камеры СП-5КМ и камера финской фирмы «Валмет».

Камера СП-5КМ (рис. 46) по принципу работы и планировке сходна с камерой ЦНИИМОД-49. Она предназначена для сушки

пилломатериалов при пониженной (40—55° С) температуре. Циркуляция сушильного агента осуществляется тремя осевыми вентиляторами 6, расположенными вместе с электродвигателями в циркуляционном канале 7. Воздух засасывается вентиляторами из сырого конца камеры, нагревается в калорифере 5, далее поступает в сушильное пространство и проходит последовательно через все штабеля со скоростью до 4 м/с.

Для вентиляции камеры, т. е. притока свежего и выброса отработавшего воздуха, используется теплообменник, называемый *рекуператором*. Отработавший воздух вспомогательным осевым вентилятором рекуператора 8 отсасывается из камеры через трубу 9, омывает теплообменные трубки рекуператора, подогревая при этом свежий воздух, и затем выбрасывается в атмосферу. Свежий воздух за счет разрежения в циркуляционном канале 7 поступает через отверстие в корпусе рекуператора, проходит через теплообменные трубки и попадает в камеру через приточную трубу.

Целесообразность установки рекуператора обосновывается тем, что для камер, работающих при пониженной температуре, необходим интенсивный воздухообмен с атмосферой; подогрев в этом случае свежего воздуха отработавшим экономит 15—20% тепловой энергии. В камерах, которые работают при повышенной температуре, экономия тепла незначительна, поэтому рекуператоры в них не ставятся.

В сыром и сухом концах камера имеет отсеки 12 и 2 для начального прогрева и выдержки сухой древесины, которые отделены от сушильного пространства шторными подъемными дверями 3. Наличие экранов позволяет загружать и выгружать штабеля без нарушения установившегося режима сушки.

Камера «Валмет» имеет сходную конструкцию с камерой СП-5КМ, однако в отличие от последней не имеет отсеков для начального прогрева и выдержки сухой древесины.

В камерах СП-5КМ и «Валмет» теплоносителем в калориферах является горячая вода, циркуляция которой осуществляется насосной установкой. Циркуляционная вода подогревается паром в специальном теплообменнике, обслуживающем несколько камер.

В камерах с позонной поперечной циркуляцией предусматривается позонное регулирование состояния воздуха, а именно автономное поддержание в сыром конце камеры пониженной температуры и повышенной степени насыщения по сравнению с сухим концом. На таком принципе регулирования основана конструкция камеры ЛатНИИЛХП с поперечно-горизонтальной позонной циркуляцией (рис. 47). По длине камера разделена на три зоны: прогрева, сушки и выдержки 4. Камеры строятся двухпутные. На каждом пути находится одновременно шесть штабелей, из которых один расположен в зоне нагрева, четыре — в зоне сушки и один — в зоне выдержки. Отсеки зон прогрева и выдержки отделены от сушильного пространства подъемными шторами 1. В сушильном пространстве по боковым стенам расположены попарно четыре центробежных вентилятора, которые создают в камере два потока циркуляции

Камера непригодна для сушки высококачественных пиломатериалов.

Во всех камерах непрерывного действия возможна одновременная сушка лишь однородных по характеристике пиломатериалов.

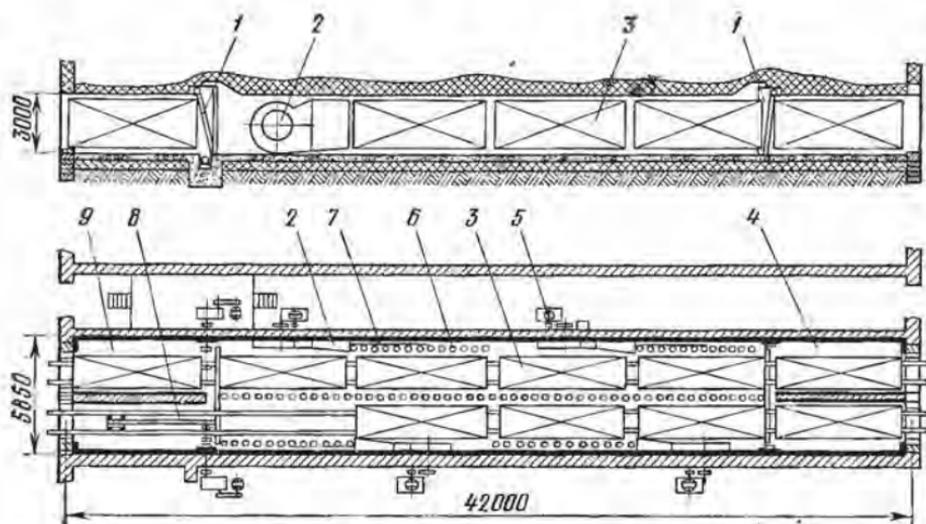


Рис. 47. Камера непрерывного действия ЛатНИИЛХП:

1 — подъемные шторы, 2 — вентилятор, 3 — штабель, 4 — отсек зоны выдержки, 5 — привод вентилятора, 6 — калорифер, 7 — направляющий экран, 8 — механизм перемещения штабелей, 9 — отсек зоны начального прогрева

### § 30. Газовые камеры непрерывного действия

В настоящее время на некоторых предприятиях страны работают газовые камеры непрерывного действия системы И. В. Кречетова.

На рис. 48 приведена конструктивная схема камеры, в которой используется противоточная зигзагообразная циркуляция (по типу камеры ЦНИИМОД-32). Циркуляция сушильного агента осуществляется эжекторной установкой, расположенной в циркуляционном канале 5 со стороны сырого конца камеры.

Сушильный блок состоит из пяти — десяти камер с общей полугазовой топкой, работающей на древесных отходах, и общим центробежным вентилятором на пять камер (на десять камер — два вентилятора). Топочные газы из топки попадают в камеру смешения, где смешиваются со свежим воздухом и отработавшим сушильным агентом. Полученная смесь с температурой 150—200°С подается вентилятором в газораспределительный эжекционный канал 2 (топка, камера смешения и вентилятор на схеме не показаны), проходящий через все камеры. Из канала 2 эта смесь через засадки 3 выбрасывается в рециркуляционно-смесительный диффузор 4, где к ней подмешивается отработавший агент сушки, посту-

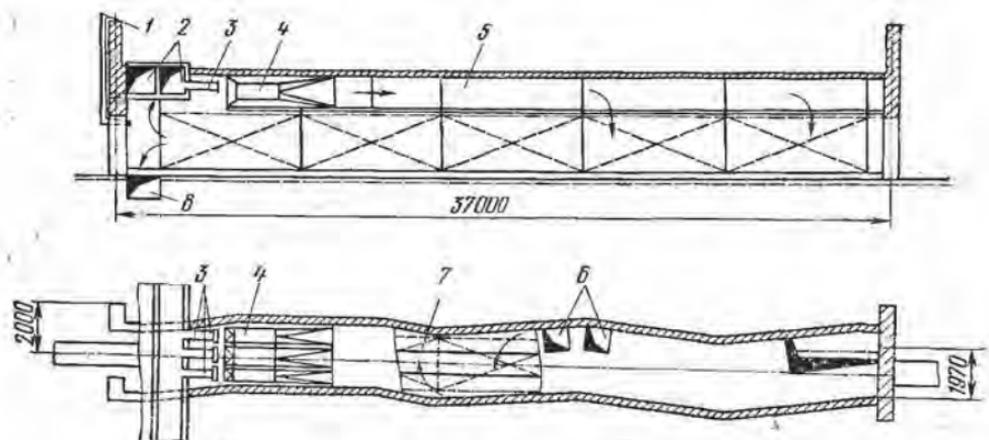


Рис. 48. Противоточная газовая камера непрерывного действия:

1 — вытяжная труба, 2 — газораспределительные каналы, 3 — насадки, 4 — диффузор, 5 — циркуляционный канал, 6 — отверстия для прохода газа в сушильное пространство камеры, 7 — штабель, 8 — отводной канал

Таблица 4. Технические характеристики камер непрерывного действия

Показатели	ЦНИИМОД-32	ЦНИИМОД-49	СП-5КМ	ЛатНИИ(ЛХП)	Газовая система И. В. Кречетова
Внутренние размеры камеры (длина × ширина × высота), м	44 × 2,75 × 5,66	24 × 6,85 × 5,08	28 × 7,2 × 5	42 × 5,85 × 3	36,7 × 2,6 × 5,6
Число штабелей в камере при длине досок 6,5 м, шт.	6	11	12	12	5
Ширина и высота штабелей, м	1,8 × 2,6	1,8 × 2,6	1,8 × 3	1,8 × 2,6	1,8 × 2,6
Вместимость камеры, м <sup>3</sup> условного материала	88,5	162	201,8	177	73
Годовая производительность камеры, м <sup>3</sup> условного материала	6300	14200	11000	—	5250
Поверхность нагрева калориферов, м <sup>2</sup>	411	640	380	1032	—
Тип и номер вентилятора	У № 14	В № 12	У-12 № 14	Собственного изготовления	ЦН-57 № 16
Число вентиляторов, шт.	1	3	3	4	1
Объем циркулирующего агента сушки, м <sup>3</sup> /с	15	33	—	~42	—
Мощность электродвигателя, кВт	10	54	66	80	75

павший из сырого конца сушильного пространства камеры. Образовавшаяся рабочая газоздушная смесь, имея температуру 90—105° С, проходит по каналу 5, попадает через отверстия 6 в горизонтальном экране в сухой конец камеры и зигзагами движется через все штабеля 7. В сыром конце большая часть газа (около 85%) эжектируется, а остальная часть по каналу 8 поступает в камеру смешения. Излишки отработавшего сушильного агента удаляются через вытяжную трубу 1.

Технические характеристики камер непрерывного действия приведены в табл. 4.

### § 31. Область применения сушильных камер

Все деревообрабатывающие предприятия по особенностям сушки пиломатериалов могут быть условно разбиты на две группы:

предприятия (лесозаводы, лесокombинаты), у которых готовой продукцией являются товарные пиломатериалы (доски и заготовки);

предприятия по производству изделий из древесины (в том числе мебельные), которые потребляют пиломатериалы различных пород и разнообразных размеров, подвергаемые после сушки механической обработке.

На предприятиях первой группы пиломатериалы сушат до транспортной влажности (18—25%), а второй группы до эксплуатационной влажности (7—12%), величина которой определяется назначением и условиями службы изделий.

При механической обработке высушенных пиломатериалов по 13—10-му квалитетам (ГОСТ 6449—76) необходимо снять остаточные деформации в древесине влаготеплообработкой. Поэтому на предприятиях второй группы, изделия которых требуют механической обработки по 13—10-му квалитетам, целесообразно применять воздушные и паровоздушные камеры периодического действия.

На предприятиях небольшой производственной мощности, как первой группы, так и второй, выпускающих изделия, не требующие точной механической обработки, возможно применять камеры периодического действия, в том числе газовые.

На предприятиях первой группы, как правило, целесообразно использовать камеры непрерывного действия.

В результате испытаний сушильных камер, проведенных ЦНИИМОДом, ВНИИдревом и МЛТИ, было принято считать перспективными следующие камеры.

Для сушки товарных пиломатериалов до транспортной влажности:

на предприятиях большой производственной мощности — противоточные камеры непрерывного действия с поперечной транспортировкой штабелей (ЦНИИМОД-49, СП-5КМ, «Валмет»);

на предприятиях средней производственной мощности — противоточные камеры непрерывного действия с зигзагообразной циркуляцией (ЦНИИМОД-32).

Для сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности: на предприятиях, имеющих пароснабжение, — камеры периодического действия с реверсивной циркуляцией, осуществляемой непосредственно осевыми вентиляторами (ЛТА — Гипродрев, СПЛК-2, СПЛК-1, СПВ-62);

на мелких предприятиях, не имеющих пароснабжения, — камеры с аэродинамическим подогревом (типа Урал-72); при необходимости влаготеплообработки эти камеры следует снабжать небольшими парогенераторами низкого давления.

В отдельных случаях возможны отступления от приведенных рекомендаций. В частности, возможно применять камеры непрерывного действия для сушки до эксплуатационной влажности пиломатериалов, имеющих однородные характеристики и не требующих влаготеплообработки.

**ТРАНСПОРТ И УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ШТАБЕЛЕЙ  
В ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХАХ****§ 32. Основные принципы формирования штабелей**

Для перемещения штабелей в лесосушильных цехах используются специальные составные вагонетки, собранные из тренов.

Трек представляет собой двухколесную тележку (рис. 49, а), устанавливаемую на один рельс. Его колеса 1, имеющие реборды, закреплены между двумя швеллерами, составляющими раму 2 трека. Применяют треки нормальной длины (1,8 м) и укороченные (1,4 м).

Штабель для камер с продольной транспортировкой формируют на трех парах тренов, причем одна пара — из укороченных тренов (рис. 49, б). Два парных трека связывают поперечными подштабельными брусками, образующими основание штабеля. Для камер с поперечной транспортировкой штабель укладывают на вагонетку, собранную из четырех — шести тренов (рис. 49, в), которые связывают длинными, соответствующими длине материала балками. На балки дополнительно кладут короткие продольные (вдоль пути) бруски, формирующие основание штабеля.

Для формирования укороченных штабелей применять треки необязательно. Вместо них можно использовать узкоколейные вагонетки. Вагонетки должны иметь минимальную высоту, с тем чтобы лучше использовать сушильное пространство камеры. Обычно высота треновой вагонетки (расстояние от головки рельса до низа штабеля) не превышает 260 мм.

Ширина рельсовых путей в сушильных цехах составляет 1000 мм.

В новых конструкциях камер с поперечной транспортировкой (ЦНИИМОД-49, СП-5КМ, «Валмет») штабель перемещается по роликовым шинам (см. рис. 45). Основанием штабеля в этом случае служат отрезки швеллеров, уложенных на шины корытом вниз.

Штабель пиломатериалов необходимо выкладывать правильной геометрической формы — в виде параллелепипеда. Боковые и торцовые поверхности должны быть строго вертикальными. Основание штабеля должно быть строго горизонтальным и достаточно жестким. Для укладки штабеля требуемой ширины и высоты следует пользоваться габаритными штабельными шаблонами (рис. 50). Недогрузка штабеля по высоте недопустима, так как за счет боль-

ших утечек сушильного агента через пространство над штабелем резко снижается скорость циркуляции в самом штабеле. Это приводит к увеличению сроков сушки и в некоторой степени к неравномерному просыханию материала. Разные по длине доски укладывают вразбежку, причем самые длинные — по краям. Такая укладка предохраняет концы досок от коробления. Стыкуемые доски (длина которых меньше половины длины штабеля) распола-

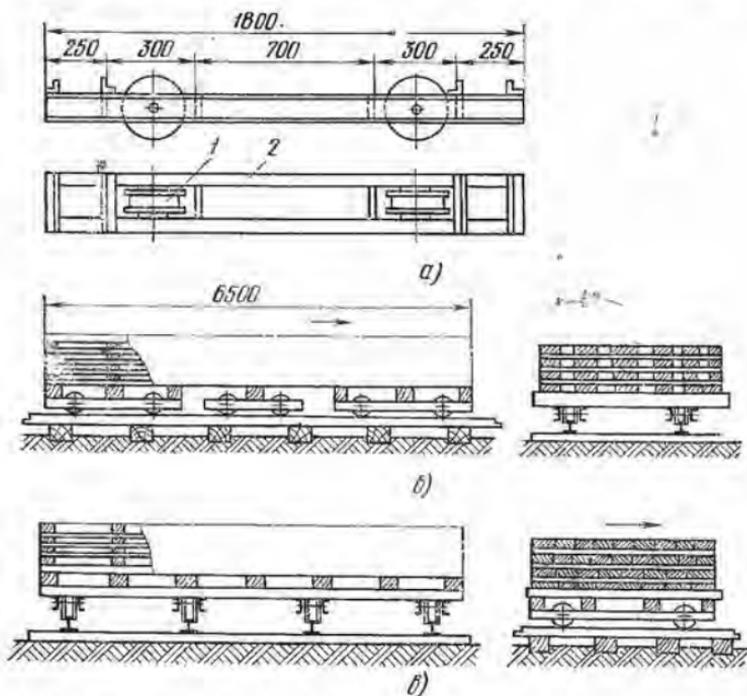


Рис. 49. Укладка штабелей на треновые тележки и устройство трека:

*а* — общий вид трека, *б* — укладка штабеля на треновую вагонетку при продольной транспортировке, *в* — то же, при поперечной транспортировке; 1 — колесо трека, 2 — рама

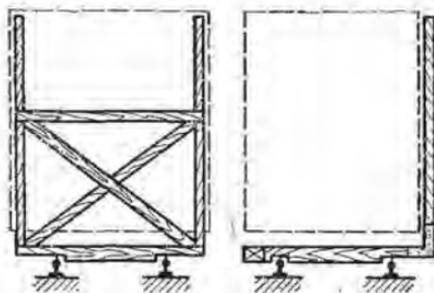


Рис. 50. Габаритные штабельные шаблоны

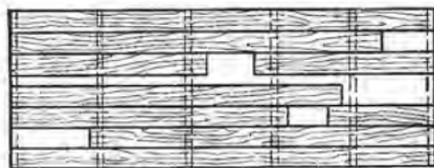


Рис. 51. Укладка пиломатериалов в горизонтальном ряду штабеля

гают не менее чем на двух прокладках, при этом внешние торцы выравнивают по торцам штабеля (рис. 51).

Если горизонтальный ряд штабеля формируют из разных по ширине досок, то узкие укладывают в середину, а широкие — по краям. В том случае, когда по ширине штабеля не помещается целое число досок, в середине ряда оставляют зазор. В штабеле из заготовок последние следует класть торцами впритык и на место стыка укладывать прокладки. Допускается вместо прокладок применять те же заготовки, но при условии, что их толщина не превышает 30, а ширина — 50 мм.

Прокладки при формировании штабеля необходимо укладывать строго вертикально, одну над другой. Крайние прокладки должны быть расположены заподлицо с торцами штабеля, что уменьшает опасность растрескивания торцов. Для того чтобы избежать коробления и провисания досок, необходимо укладывать определенное количество прокладок по длине штабеля, которое зависит от породы древесины, толщины и длины укладываемых пиломатериалов (табл. 5).

Таблица 5. Число прокладок в горизонтальном ряду пиломатериалов по длине штабеля

Толщина пиломатериалов, мм	Хвойные породы				Лиственные породы			
	длина штабеля, м							
	2,25	3,25	4,5	6,5	2,25	3,25	4,5	6,5
13—25	5	6	8	12	6	8	11	13
32—40	4	4	5	8	4	5	7	9
50 и более	3	3	4	6	3	3	4	6

Чтобы уменьшить поперечное коробление досок при их сушке, в каждом горизонтальном ряду штабеля должен быть материал, одинаковый по толщине.

### § 33. Устройства для формирования и транспортирования штабелей

В лесосушильных цехах применяют два способа формирования штабелей: целым штабелем и из пакетов.

**Формирование целым штабелем** осуществляют либо путем ручной укладки, либо на вертикальных подъемниках.

При ручной укладке пиломатериалов в нормальный штабель наиболее трудоемко формирование его верхней части, когда доски приходится поднимать на высоту до 3 м.

Одним из простейших приемов, облегчающих труд рабочих, является укладка верхней половины штабеля с эстакады (рис. 52), имеющей высоту около 1,5 м над уровнем земли. Вдоль эстакады прокладывают рельсовый путь длиной на один или два штабеля. Первоначально с земли на треновых вагонетках выкладывают ниж-

нюю часть штабеля 5 до высоты 1,6—1,8 м, а затем с эстакады 1 верхнюю часть 2. Плотные пакеты 3 пиломатериалов подают на эстакаду автопогрузчиками, электроталями и другими грузоподъемными устройствами.

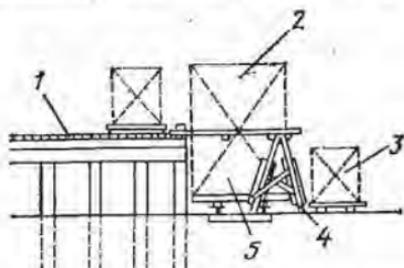


Рис. 52. Укладка штабеля с эстакады:

1 — эстакада, 2 — верхняя часть штабеля, 3 — плотный пакет пиломатериалов, 4 — приставные козлы с трапом, 5 — нижняя часть штабеля

Для облегчения укладки верхней части штабеля иногда используют штабелеры (рис. 53).

Основным устройством для формирования целого штабеля являются вертикальный подъемник или погрузочный лифт. Вертикальный подъемник (рис. 54) устанавливают в котловане (глубиной около 3 м). Он представляет собой платформу 3, укрепленную на четырех подъемных винтах 2 с упорными подшипниками. Винты получают

вращение посредством валов 4 и редуктора от электродвигателя 5 (в некоторых конструктивных вариантах используется цепная передача). Платформа может перемещаться вверх и вниз.

Штабель на вертикальном подъемнике формируют следующим образом. К подъемнику подвозят плотный пакет пиломатериалов. Платформа находится в исходном верхнем положении. На рельсах, которыми оборудована платформа, собираются или закатываются

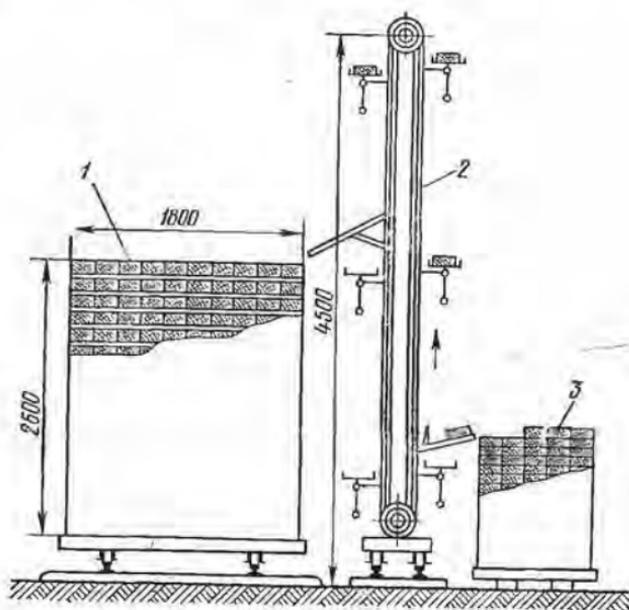


Рис. 53. Укладка штабеля с помощью штабелера:

1 — штабель, 2 — штабелер, 3 — плотный пакет пиломатериалов

заранее собранные трековые вагонетки. Двое рабочих берут доски из плотного пакета и укладывают их на вагонетки, формируя один за другим ряды штабеля. По мере роста высоты штабеля платформу постепенно опускают, а фронт работ поддерживают на наиболее удобном уровне. После окончания укладки платформу поднимают

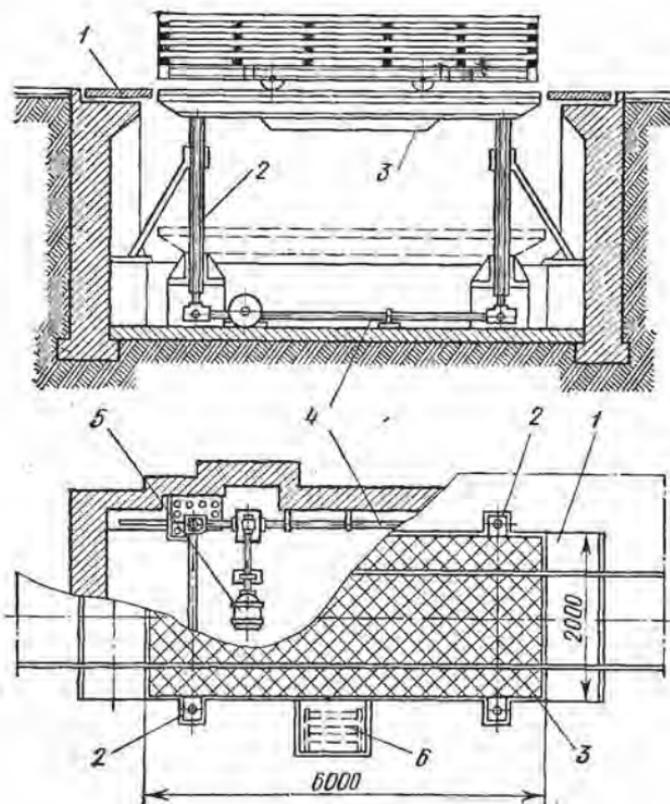


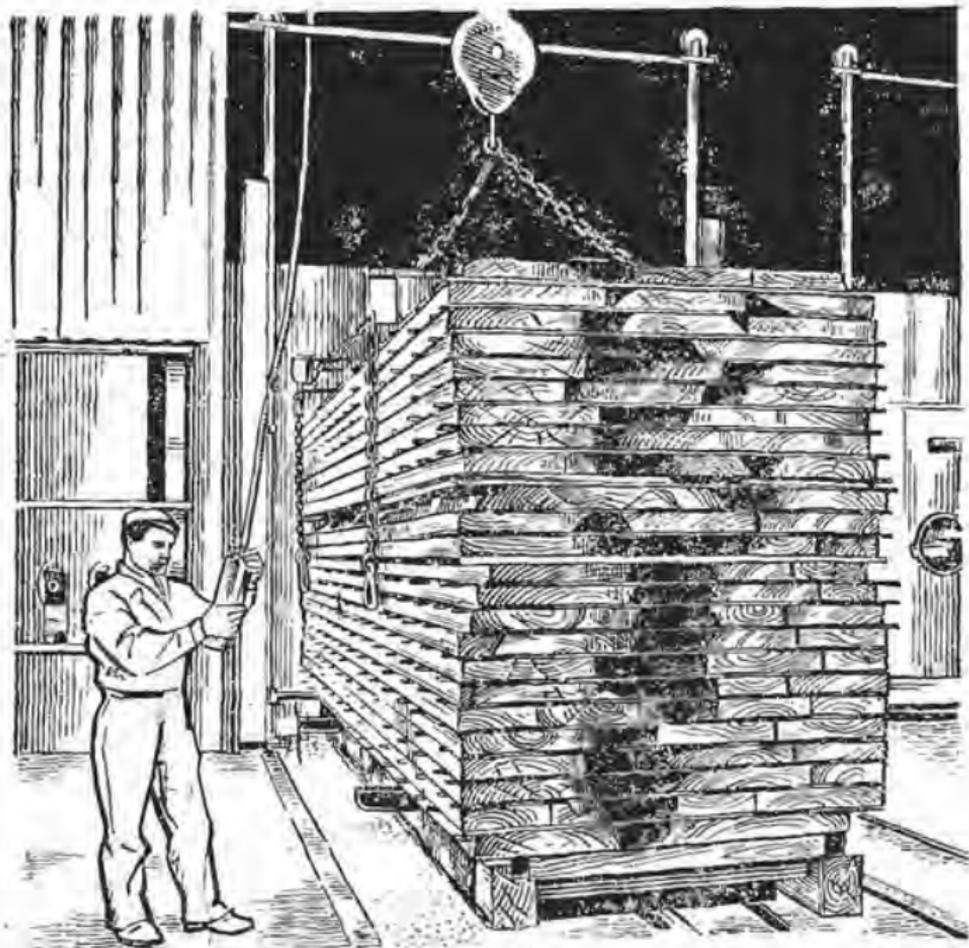
Рис. 54. Вертикальный подъемник:

1 — настил, 2 — подъемные винты, 3 — платформа, 4 — валы привода, 5 — электродвигатель, 6 — люк лаза в котлован

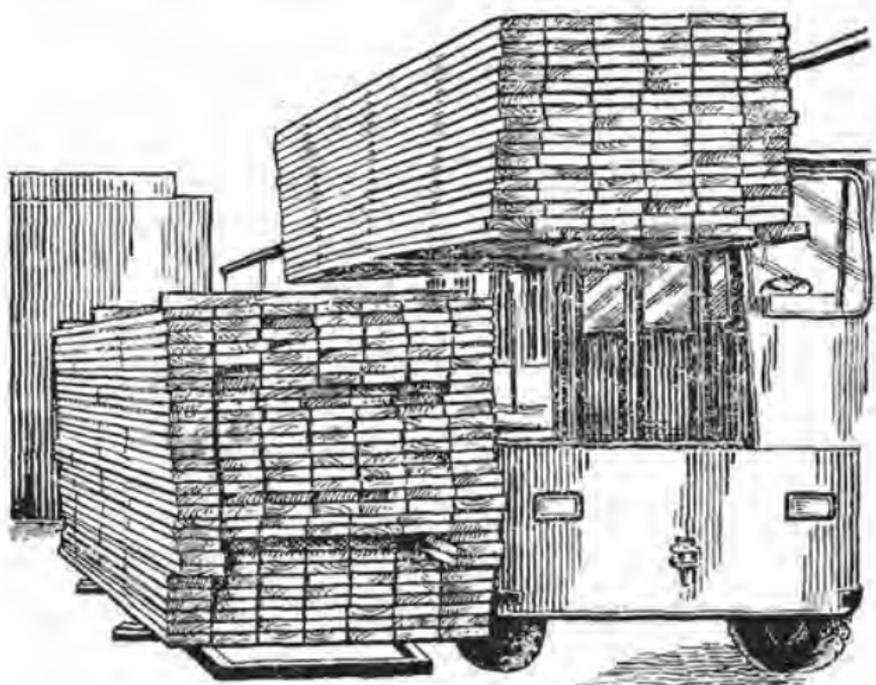
до уровня пола и штабель скатывают с нее на примыкающий к котловану рельсовый путь.

Вертикальный подъемник Л-15 имеет грузоподъемность 15 т, размер платформы  $6,9 \times 2,2$  м, ход платформы 2,6 м и установленную мощность 10 кВт. Подъемник можно использовать и для разборки штабелей. В этом случае ход работы обратен описанному выше.

При формировании штабеля на подъемнике горизонтальное перемещение и раскладка досок производятся вручную. Эти операции остаются еще достаточно тяжелыми и трудоемкими. Однако при правильной организации процесса (см. § 34) труд рабочих су-



а)



б)

Рис. 55. Формирование штабелей из двух пакетов с помощью электротали (а) и автопогрузчиком (б)

щественно облегчается, а производительность труда по сравнению с ручной укладкой повышается в 2—3 раза.

Пакетный способ формирования штабелей основан на следующем. Предварительно формируют часть штабеля — *сушильный пакет*. Пиломатериалы в сушильные пакеты укладывают вручную или на пакетоформирующих машинах. Собственно штабель формируют путем установки пакетов на вагонетки с помощью обычных подъемно-транспортных механизмов (электроталей, автопогрузчиков, кранов).

Формирование штабеля из двух пакетов с помощью электротали показано на рис. 55, а и автопогрузчика с вилочными захватами — на рис. 55, б.

Пакетный способ формирования штабелей более производителен и экономичен по сравнению со способом укладки целым штабелем. При пакетном способе даже ручная укладка облегчается и ускоряется. Подготовка сушильных пакетов при ручной укладке может одновременно проводиться в нескольких местах сушильного цеха из пиломатериалов различных характеристик. Формировать сушильный пакет можно на сортировочной площадке лесопильного цеха.

Механизированное формирование пакетов осуществляется на пакетоформирующих машинах, например

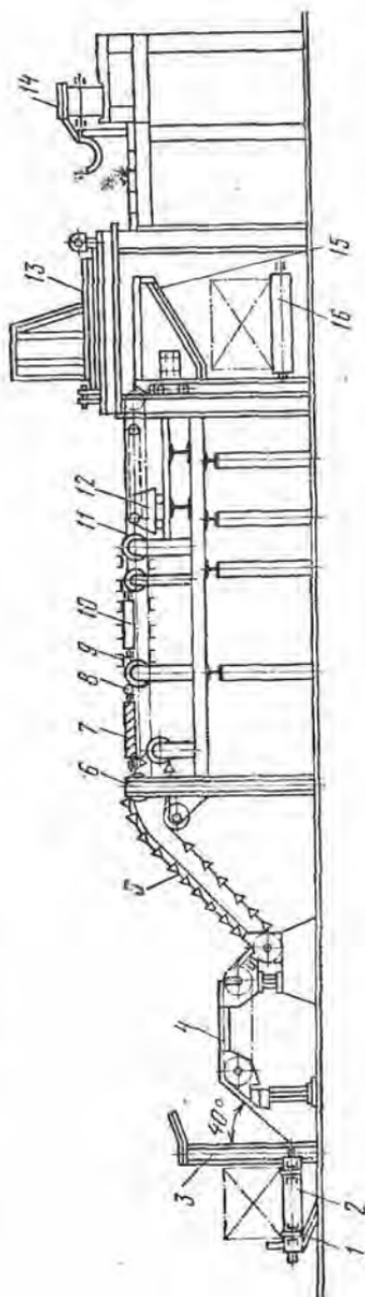


Рис. 56. Пакетоформирующая машина ПФМ-10:

1 — цепной конвейер, 2, 16 — роликовые конвейеры, 3 — наклонный конвейер, 4 — приемный конвейер, 5 — наклонный конвейер, 6 — горизонтальный конвейер, 7 — правый торцевыватель, 8 — механизм поштучной подачи досок, 9 — горизонтальный конвейер с разновысокой цепью, 10 — левый торцевыватель, 11 — вагонетный конвейер, 12 — каретка, 13 — механизм выдачи прокладок, 14 — конвейер подачи прокладок, 15 — крошительный вертикальный подъемник

ПФМ-10 (рис. 56), на которых собирают пакеты со шпациями и без шпаций. Плотный пакет сырых пиломатериалов цепным конвейером 1 подается на роликовый конвейер 2. Крошштейнами наклонного подъемника 3 пакет снимается с роликового конвейера. При наклоне подъемника и подъеме пакета доски с него ряд за рядом соскальзывают на приемный конвейер 4, а затем попадают на наклонный конвейер 5 с упорами. По наклонному конвейеру 5

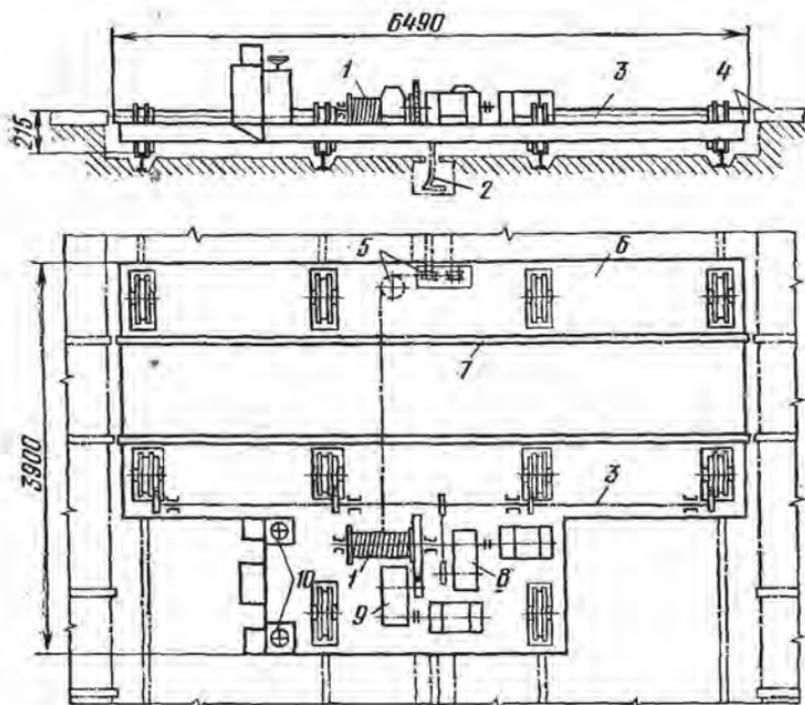


Рис. 57. Траверсная тележка ЭТ2-6,5:

1 — лебедка, 2 — кабель электропитания, 3 — вал механизма передвижения, 4, 7 — рельсы, 5 — блоки, 6 — платформа, 8 — привод механизма передвижения, 9 — привод лебедки, 10 — пульты управления лебедкой и механизмом передвижения

доски подаются на цепи горизонтального конвейера 6, при движении по которому они выравниваются по правому торцу роликовым торцеравнителем 7. Далее доски 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 торцеравнителем 10. Конвейер 9 направляет доски на цепи шитонаборного конвейера 11. Когда перемещаемый конвейером щит достигнет требуемой ширины, вводится в действие механизм перемещения каретки 12. С помощью каретки 12 и цепей на поднимающихся рычагах собранный щит укладывается на прокладки формируемого пакета. При возвращении каретки с рычагами в

исходное положение включается привод кассетного механизма 13, который выдает на только что уложенный щит прокладки. После этого кронштейны вертикального подъемника 15 опускаются на высоту одного ряда пакета. Полностью сформированный пакет поступает на роликовый конвейер 16 и удаляется из машины. Прокладки к кассетному механизму подаются по конвейеру 14. Пропускная способность машины 30 досок в минуту, длина формируемых пакетов 4,3; 5,8; 6,8 м, ширина от 1,2 до 1,9 м, высота до 1,5 м.

**Транспортировка** сушильных штабелей с одного рельсового пути на другой, **загрузка и разгрузка** камер в сушильных цехах осуществляются с помощью траверсной тележки.

Траверсная тележка (рис. 57) движется вдоль фронта сушильных камер по трех- или четырехниточному рельсовому пути, уложенному в углублении, называемом траверсной траншеей. Штабель на траверсную тележку закатывается по рельсовому пути, уложенному на ее платформе. Уровень рельсов этого пути должен соответствовать уровню рельсов камерных или складских путей.

Промышленностью выпускаются электрифицированные траверсные тележки ЭТ2-6,5, оборудованные механизмом передвижения и грузовой тросовой лебедкой с блоками для перемещения штабелей. Грузоподъемность тележки 15 т, скорость движения 0,36 м/с, скорость тягового троса 0,13 м/с, суммарная мощность установленных электродвигателей (механизма перемещения и лебедки) 8,5 кВт. На предприятиях эксплуатируются и другие электрифицированные тележки (ЭТ-4,5; ЭТ-20; ЭТ-20-П), которые отличаются от рассмотренной конструктивным оформлением и размерами. Некоторую особенность конструкции имеет тележка ЭТ-20-П, которая снабжена порталным подъемником. Подъемник, смонтированный на платформе тележки, служит для формирования штабеля из сушильных пакетов.

## **§ 34. Организация транспортных работ в сушильном цехе.**

### **Планировка цеха**

Сушильный цех представляет собой блок из нескольких (до 15 и более) камер. В цехе, оборудованном камерами периодического действия, вдоль их переднего фронта (со стороны загрузочных дверей) и в смежных помещениях расположены транспортные устройства, места для формирования и хранения штабелей и служебно-бытовые помещения. Вдоль заднего фронта камер обычно расположен коридор управления, в котором установлен привод вентиляторов и контрольно-регулирующие устройства.

В цехе, имеющем камеры непрерывного действия, которые снабжены дверями с сырого и сухого концов, оба фронта заняты транспортными механизмами. Коридор управления в таком цехе обычно расположен вдоль сырого загрузочного фронта камер в чердачной части здания. К камерам примыкают служебно-бытовые помещения.

Характер планировки сушильного цеха определяется не только принципом действия камер, но и принятой системой погрузочно-транспортных работ. В сушильных цехах в основном применяются две системы: система целого штабеля и система единого пакета.

Рассмотрим особенности погрузочно-транспортной системы целого штабеля. В сушильном цехе, оснащенном камерами периодического действия, планировка которого дана на рис. 58, а, штабель пиломатериалов формируют на подъемнике 3. Затем его закатывают в камеру 2 и выкатывают из нее при помощи траверс-

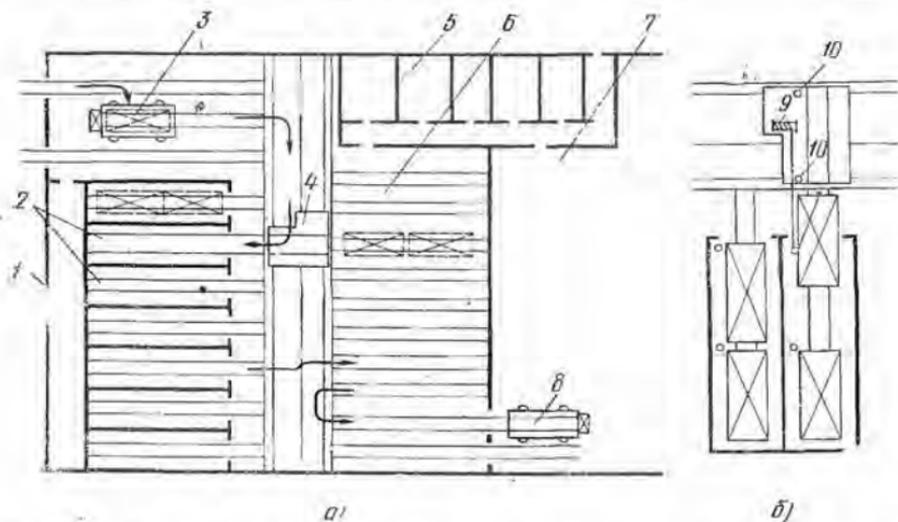


Рис. 58. Планировка сушильного цеха, оснащенного камерами периодического действия:

а — планировка цеха, б — схема загрузки штабеля в камеру с помощью траверсной тележки; 1 — коридор управления, 2 — камеры, 3 — подъемник для формирования штабелей, 4 — траверсная тележка, 5 — служебно-бытовое помещения, 6 — склад сухих пиломатериалов, 7 — деревообрабатывающий цех, 8 — подъемник для разборки штабелей, 9 — лебедка, 10 — блоки (стрелками показано направление движения материала в цехе)

ной тележки 4. Ею же подают штабель на склад сухих пиломатериалов 6 и со склада по мере надобности в деревообрабатывающий цех, где перед станком первичной обработки установлен второй подъемник 8. При таком варианте все транспортные операции выполняются лебедкой 9 (рис. 58, б) траверсной тележки с использованием комплекта блоков 10.

Для камер непрерывного действия применяется аналогичная система транспорта, однако в этом случае требуется две траверсных тележки. На рис. 59 дана схема организации погрузочно-транспортных работ в цехе с камерами непрерывного действия.

Плотный пакет 6 сырых пиломатериалов по продольному конвейеру и роликовому конвейеру 7 подается на кронштейны наклонного подъемника. При наклоне платформы и подъеме пакета доски поштучно попадают на горизонтальный конвейер 8 и перемещаются им к вертикальному подъемнику 9. На подъемнике двое рабочих

укладывают штабель. Сформированный штабель 10 с помощью траверсной тележки поступает в камеру 1, а штабель высушенных пиломатериалов 4 из камеры второй траверсной тележкой (со стороны сухого конца камеры) транспортируется на подъемник 3. Подъемник для разборки штабелей оборудован приспособлением для сдвигания ряда досок на наклонный участок конвейера 5. Цеп-

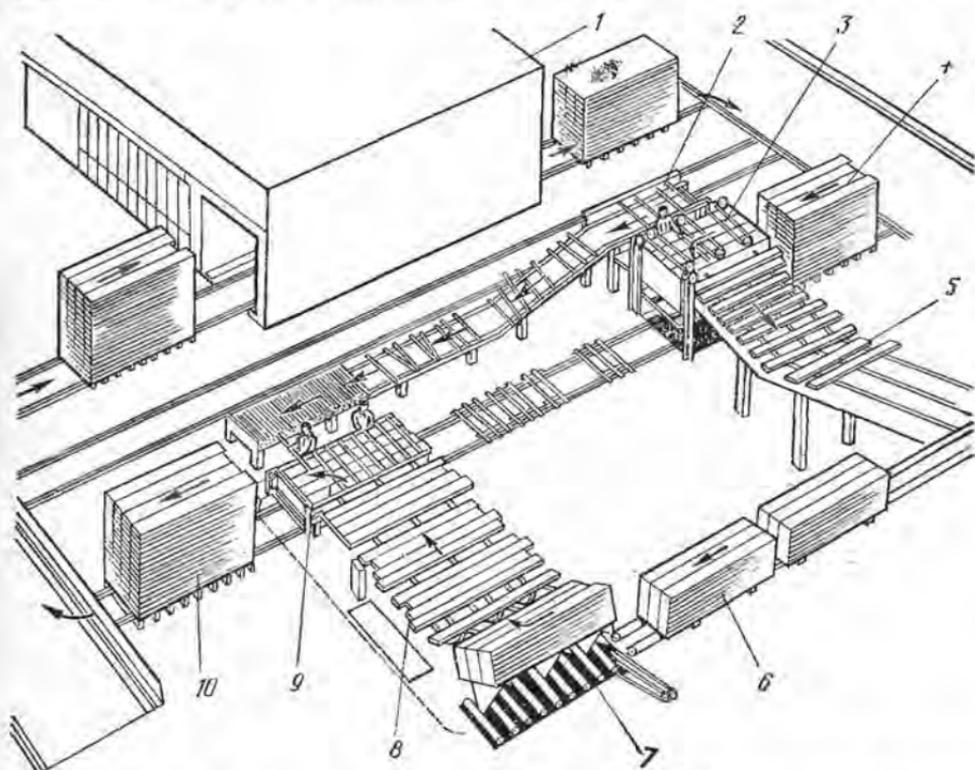


Рис. 59. Схема организации погрузочно-транспортных работ в сушильном цехе с камерами непрерывного действия (система целого штабеля):

1 — блок камер, 2 — конвейер подачи прокладок, 3 — подъемник для разборки штабелей, 4 — штабель сухих пиломатериалов, 5, 8 — конвейеры, 6 — плотный пакет пиломатериалов, 7 — роликовый конвейер, 9 — подъемник для формирования штабелей, 10 — штабель сырых пиломатериалов

ным поперечным ковшейером 5 доски подают на место формирования плотного пакета сухих пиломатериалов. Прокладки, освобожденные при расформировании штабеля, конвейером 2 перемещаются к подъемнику 9, на котором собирается штабель.

При системе единого пакета штабель формируют из сушильных пакетов. Пакеты на прокладках в этом случае целесообразно укладывать на сортировочной площадке лесопильного цеха или приемного склада пиломатериалов (при их поставке другим предприятием). Сушильные пакеты до их поступления в деревообрабатывающий цех не разбираются. Первоначально они могут поступать на склад атмосферной сушки, а затем для досушки на пло-

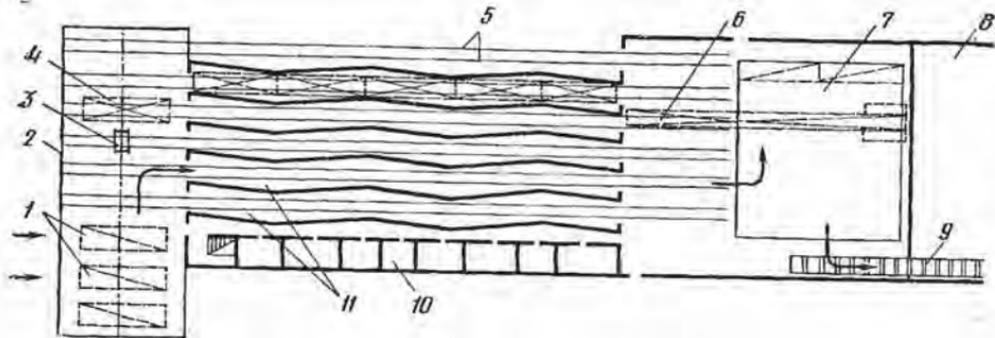


Рис. 60. Планировка сушильного цеха с камерами непрерывного действия при системе единого пакета (камеры с продольной транспортировкой штабелей):  
 1 — сушильные пакеты, 2 — навес, 3 — электроталь, 4 — штабель, 5 — рельсовый путь для возврата трек, 6 — мостовой кран, 7 — склад сухих пиломатериалов, 8 — деревообрабатывающий цех, 9 — роликовый конвейер, 10 — служебно-бытовые помещения, 11 — камеры

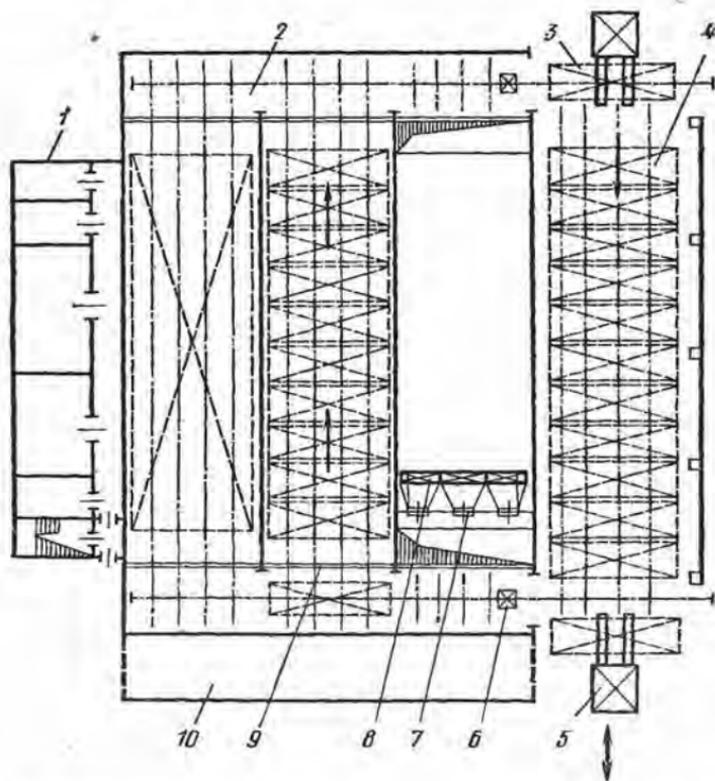


Рис. 61. Планировка сушильного цеха с камерами ЦНИИМОД-49:  
 1 — служебно-бытовые помещения, 2 — помещение, примыкающее к фронту сухого конца блока камер, 3 — штабель высушенных пиломатериалов, 4 — остьичное помещение, 5 — автопогрузчик, 6 — электроталь, 7 — вентилятор, 8 — калорифер, 9 — дверь, 10 — склад сухих пиломатериалов

щадку сборки штабелей сушильного цеха. Сборка штабеля из пакетов осуществляется электроталями, кран-балками или автопогрузчиками. В камерах периодического и непрерывного действия с продольной транспортировкой штабель перемещается на трековых вагонетках с помощью лебедки траверсной тележки либо стационарной лебедки. Вариант планировки цеха, оснащенного камерами непрерывного действия с продольной транспортировкой штабелей, приведен на рис. 60.

В камерах непрерывного действия с поперечной транспортировкой очень часто штабель из пакетов формируется автопогрузчиком либо электроталью непосредственно перед загрузочным фронтом камер на роликовых шинах (см. § 29). Штабель в камере перемещается с помощью специальных механизмов загрузки и выгрузки или автопогрузчика (камера фирмы «Валмет»). На рис. 61 показан вариант планировки цеха с камерами ЦНИИМОД-49.

Рассмотренные выше системы погрузочно-транспортных работ широко распространены, а варианты планировок сушильного цеха весьма рациональны. Однако их нельзя считать единственно возможными. На деревообрабатывающих предприятиях в зависимости от местных условий возможны другие планировки сушильного цеха и варианты организации транспортных работ.

### **§ 35. Техника безопасности при транспортных работах в сушильных цехах**

К погрузочно-транспортным работам в сушильных цехах допускаются лица, знающие устройство и правила эксплуатации подъемно-транспортных механизмов и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Основные правила техники безопасности при формировании штабелей и их транспортировке в цехе сводятся к следующему.

При формировании штабелей:

запрещается укладывать и разбирать штабеля внутри сушильной камеры;

допускается ручная укладка штабелей на высоту до 1,5 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 (при разборке) 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, трековые тележки, рельсовые пути, полы, ограждения и предохранительные приспособления должны быть исправными.

Работа 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, подкладывая под колеса вагонетки доски или прокладки. Для этой цели следует пользоваться специальными башмаками, устанавливаемыми на рельсы.

При закатывании (или скатывании) штабеля траверсная тележка должна быть надежно закреплена. Она должна иметь устройства, фиксирующие ее положение на рельсовом пути.

Рельсовые пути в камерах, на складах и местах формирования штабеля должны быть проложены заподлицо с полом. Зазоры в стыках рельсов допустимы не более 10 мм. В конце рельсового пути должны быть установлены упоры, предотвращающие сход штабелей с рельсов.

Решетки в полу камеры и других помещениях должны быть уложены заподлицо с полом. Ширина зазора в решетках не должна превышать 30 мм.

При использовании в сушильных цехах для транспортировки пиломатериалов автотранспорта обязательна принудительная вентиляция. Въезд в цех автотранспорта, работающего на этилированной бензине, запрещен.

Необходимо следить за тем, чтобы постоянные проходы содержались в чистоте, а их ширина была не менее одного метра.

## ПРОВЕДЕНИЕ КАМЕРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

### § 36. Подготовка камеры к сушке. Принципы проведения камерной сушки

Перед началом сушки помещение камеры и элементы теплового и циркуляционного оборудования очищают от мусора, пыли. Путем пробного пуска пара в калориферы проверяют плотность его соединений и правильность работы конденсатоотводчика. Проверяют запорные и регулирующие вентили. Если обнаружено, что труба на расстоянии более одного метра от вентиля нагревается, значит он неисправен и подлежит ремонту.

Действие увлажнительной трубы проверяют пуском в нее пара, который должен равномерно выходить из всех отверстий. Если часть отверстий не действует, их прочищают проволокой.

Работу вентиляторной установки проверяют путем пробного пуска вентиляторов. Выясняют, нет ли биения валов, стуков в подшипниках, вибрации ротора. Если эти явления обнаружены, принимают меры по их устранению. Лопасти вентиляторов следует очищать от налипших частиц, пыли и сажки (в газовых сушилках). В подшипники вентиляторных валов обязательно подают смазку.

В газовых сушильных камерах периодически осматривают топку, газоходы и шиберы, особое внимание уделяя их герметичности.

Периодически следует проверять состояние рельсов камерных путей (ширину колеи, состояние стыков, соответствие уровня рельсов этих путей уровню рельсов траверсной тележки, наличие прогибов) и осматривать треки, при необходимости смазывать их подшипники.

Перед загрузкой материалом камеру прогревают во избежание конденсации влаги на ограждениях и оборудовании. Пар в калориферы следует пускать постепенно (в период пуска камеры продувочный вентиль конденсатоотводчика временно открывают). Если при этом слышны резкие металлические звуки, необходимо прикрыть вентиль и через некоторое время осторожно его приоткрыть.

Одновременно с подготовкой камеры пиломатериалы укладывают в штабеля в соответствии с требованиями, изложенными в § 32.

В целом камерная сушка пиломатериалов складывается из ряда технологических и контрольных операций, которые выполняются в определенной последовательности.

К технологическим операциям процесса сушки относятся: начальная влаготеплообработка древесины, собственно сушка по определенному режиму, конечная (иногда дополнительная промежуточная) влаготеплообработка и кондиционирование.

Начальная влаготеплообработка древесины проводится после загрузки камеры материалом с целью быстрого прогрева древесины. Для этого древесину определенное время выдерживают в воздухе повышенной температуры и высокой степени насыщения или в чистом насыщенном паре.

Собственно сушка следует за начальной влаготеплообработкой. В камере устанавливают заданные режимом сушки параметры агента обработки — температуру и степень насыщения. Сушку заканчивают при достижении материалом заданной конечной влажности. После сушки древесину подвергают конечной влаготеплообработке в среде повышенной температуры и влажности. Цель этой операции — полностью устранить остаточные деформации и напряжения в материале. В некоторых случаях при сушке пиломатериалов крупных сечений в середине процесса проводят промежуточную влаготеплообработку.

Иногда после конечной влаготеплообработки проводят кондиционирование, назначение которого — выравнивание влажности древесины по объему отдельных досок и штабеля в целом.

В камерах периодического действия технологические операции выполняют последовательно, в том порядке, как это рассмотрено выше. В камерах непрерывного действия операции начального прогрева и сушки протекают одновременно в разных зонах камеры.

Конечную и промежуточную влаготеплообработки в камерах непрерывного действия проводить нельзя, что обусловлено их конструктивными особенностями.

В процессе сушки выполняют *контрольные операции*. В течение всего процесса непрерывно или периодически (через 1—2 ч) ведут контроль за температурой и степенью насыщения сушильного агента. По данным контроля регулируют параметры среды в камере. Один — три раза в сутки контролируют влажность высушиваемых пиломатериалов.

По результатам этого контроля изменяют режимные параметры сушильного агента.

В середине процесса сушки, перед конечной влаготеплообработкой и в конце ее проводят контроль за внутренними напряжениями и остаточными деформациями.

Основным руководством по проведению сушки в настоящее время являются «Руководящие материалы по камерной сушке пиломатериалов» (ЦНИИМОД Минлеспрома СССР, 1977), ГОСТ 19773—74 и 18867—73. «Руководящие материалы по камерной сушке пиломатериалов» определяют правила укладки пиломатериалов в штабеля, требования к качеству сушки, режимы сушки и влаготеплообработки, методы контроля за проведением процесса, методику расчета продолжительности сушки и производительности сушильных камер.

Стандартные режимы сушки (режимы по «Руководящим материалам по камерной сушке пиломатериалов» сходны со стандартными) регламентируют параметры сушильного агента, изменяющиеся по ходу процесса в зависимости от влажности древесины. Все стандартные режимы обеспечивают бездефектную сушку пиломатериалов. Основными параметрами сушильного агента, характеризующими режим сушки, являются его температура  $t$ , степень насыщения  $\phi$  и психрометрическая разность  $\Delta t = t - t_m$ , где  $t_m$  — температура смоченного термометра психрометра.

По температурному уровню режимы делятся на четыре категории: мягкие М, нормальные Н, форсированные Ф и высокотемпературные. Первые три категории режимов (М, Н, Ф) относятся к режимам низкотемпературного процесса. В качестве сушильного агента этой группы режимов используется влажный воздух или газоздушная смесь температурой не выше 100° С. Более высокая температура допускается лишь в отдельных случаях на последней стадии процесса. Высокотемпературные режимы, или режимы высокотемпературного процесса, предусматривают сушку пиломатериалов перегретым паром атмосферного давления при температуре выше 100° С. Категорию режима выбирают в зависимости от назначения высушиваемого материала. При этом следует учитывать характер воздействия температуры на свойства древесины.

При сушке мягкими режимами полностью сохраняются естественные физико-механические свойства древесины, в том числе прочность и цвет.

Нормальные режимы обеспечивают сохранение прочности древесины, но возможно незначительное изменение цвета древесины хвойных пород. При сушке форсированными режимами сохраняется прочность древесины на изгиб, растяжение и сжатие, но на 15—20% снижается прочность на скалывание и раскалывание, а кроме того, возможно потемнение древесины.

Аналогично воздействие на древесину высокотемпературных режимов, с той разницей, что прочность на скалывание и раскалывание снижается на 25—30% и древесина темнеет более значительно.

Режимы сушки в воздушных и паровоздушных камерах периодического действия (ГОСТ 19773—74). В воздушных камерах применяются режимы низкотемпературного процесса. Для паровоздушных камер можно использовать режимы всех категорий, а в камерах, действующих на перегретом паре, — только высокотемпературные.

Режимы низкотемпературного процесса приведены в табл. 6. Она содержит 44 режима, обозначенных по уровню температуры порядковыми номерами от 1 до 10 и по уровню степени насыщения — буквенными индексами от А до Д. Параметры воздуха, данные в таблице, характеризуют его состояние при входе в штабель.

Конкретный режим сушки содержит три ступени, или три уров-



ня, состояния воздуха. В процессе сушки переход с одной ступени на другую осуществляют при определенной переходной влажности древесины. Для всех режимов установлены одинаковые значения переходной влажности — 30 и 20%.

В целях сокращения сроков сушки стандартом допускается повышение переходной влажности до 35 и 25% при начальной влажности древесины более 60%, если контрольные сушки показывают, что при этом не наблюдается растрескивание материала.

Трехступенчатая структура режимов учитывает особенности развития внутренних напряжений в древесине при ее сушке. В начальной стадии процесса, когда растягивающие напряжения на поверхности сортамента возрастают (см. § 13, 14), необходимо поддерживать высокую степень насыщения  $\phi$  (первая ступень режима). После того как эти напряжения, достигнув максимума, начинают уменьшаться, степень насыщения  $\phi$  можно несколько понизить, а температуру  $t$  повысить (вторая ступень режима). В конечной стадии процесса, когда действуют противоположные напряжения, допускается резко снизить  $\phi$  и повысить  $t$  (третья ступень режима). На этой стадии интенсификация процесса будет способствовать не росту, а уменьшению внутренних напряжений.

Режим сушки пиломатериалов выбирают в зависимости от назначения материала, его породы и толщины по рекомендациям, данным в табл. 7.

Эти рекомендации относятся к пиломатериалам, имеющим отношение ширины к толщине в пределах от 2 до 6. При отношении меньше 2 режим следует выбирать по ближайшей меньшей группе толщин, а для широких досок, с отношением ширины к толщине более 6, назначают режим рекомендуемого номера, но предшествующего индекса (например, вместо индекса Д индекс Г).

В камерах со слабой циркуляцией следует применять режим рекомендуемого номера, по последующего индекса.

Слабой следует считать естественную циркуляцию и принудительную циркуляцию со скоростью в штабеле равной или менее: 0,5 м/с — при продолжительности сушки свыше 1000 ч; 0,75 м/с — при продолжительности сушки от 200 до 1000 ч; 1 м/с — при продолжительности сушки до 200 ч.

При применении мягких и нормальных режимов особых требований к оборудованию камер не предъявляется, однако для форсированных режимов камеры должны иметь повышенную тепловую мощность и скорость циркуляции сушильного агента не менее 1,5 м/с.

В табл. 8 приведены высокотемпературные режимы. Их всего семь. Они обозначены римскими цифрами с I по VII.

Режимы высокотемпературного процесса двухступенчатые (переходная влажность 20%), что связано с малой длительностью сушки (по сравнению с низкотемпературным процессом).

При сушке очень сырого материала допустимо переходную влажность повышать до 25%, если при этом сохраняется его целостность.

Таблица 7. Выбор режимов низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов (ГОСТ 19773—74)

Порода	Категория режима	Толщина пиломатериалов, мм							
		до 22	свыше 22 до 30	свыше 30 до 40	свыше 40 до 50	свыше 50 до 60	свыше 60 до 70	свыше 70 до 85	свыше 85 до 100
Сосна, ель, пихта, кедр	М	6—Д	6—Г	7—Г	7—В	7—В	7—Б	7—Б	8—Б
	Н	2—Д	3—Г	3—В	4—В	4—Б	5—Б	6—Б	7—Б
	Ф	1—Д	1—Г	1—В	2—В	2—Б	3—Б	—	—
Лиственница	Н	3—В	4—Б	5—Б	5—А	6—А	8—Б	9—Б	10—Б
	Ф	1—В	2—Б	3—Б	3—А	—	—	—	—
Осина, липа, тополь	Н	3—Г	3—Б	4—Б	5—В	6—В	7—В	8—В	9—В
	Ф	2—Г	2—Б	3—Б	4—В	—	—	—	—
Береза, ольха	Н	3—Д	4—Г	4—В	5—В	6—Б	7—Б	8—Б	9—Б
	Ф	2—Д	3—Г	3—В	4—В	—	—	—	—
Бук, клен	Н	4—Г	5—В	6—В	6—Б	7—Б	8—Б	9—Б	—
	Ф	2—Г	3—В	4—В	—	—	—	—	—
Дуб, ильм	Н	5—Г	6—В	6—Б	7—Б	8—Б	9—В	9—Б	—
	Ф	3—Г	4—В	5—В	—	—	—	—	—
Орех	Н	5—В	5—Б	6—Г	6—Б	7—В	8—В	8—Б	—
Граб, ясень	Н	6—В	6—А	7—Б	8—В	8—Б	9—В	9—Б	—

Таблица 8. Высокотемпературные режимы сушки пиломатериалов (ГОСТ 19773—74)

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

В режимах предусмотрено поддержание температуры смоченного термометра  $t_m$  равной  $100^\circ\text{C}$ . Стандартом допускается снижать  $t_m$  до  $96^\circ\text{C}$  (при недостаточно полной герметичности камеры). Однако в этом случае необходимо понижать температуру сушильного агента с сохранением заданной режимом психрометрической разности.

Выбор высокотемпературных режимов сушки пиломатериалов определяется их породой и толщиной и регламентируется табл. 9. Эти режимы могут быть использованы только для пиломатериалов хвойных и мягких (береза, осина) лиственных пород.

Таблица 9. Выбор высокотемпературных режимов сушки (ГОСТ 19773—74)

Порода	Толщина пиломатериалов, мм				
	до 22	свыше 22 до 30	свыше 30 до 40	свыше 40 до 50	свыше 50 до 60
Сосна, ель, пихта, кедр	I	II	III	V	VI
Береза, осина	II	III	IV	VI	—
Лиственница	IV	V	VI	VII	—

В камерах периодического действия пиломатериалы сушат главным образом до эксплуатационной влажности. Основной категорией режимов являются нормальные режимы. Если условия эксплуатации изделий и конструкций из древесины допускают ее применение с пониженной прочностью, то целесообразно использовать форсированные или высокотемпературные режимы. При этом существенно сокращаются сроки сушки материала и соответственно повышается производительность сушильных камер.

При сушке товарных пиломатериалов до транспортной влажности следует применять нормальные или мягкие (если недопустимо изменение цвета древесины) режимы. Форсированные и высокотемпературные режимы в этом случае непригодны, так как конкретное назначение высушиваемых пиломатериалов заранее неизвестно.

В газовых камерах периодического действия с индивидуальными топками можно использовать нормальные и форсированные режимы в соответствии с табл. 6 и 7. Если камеры имеют увлажнительные устройства, то в них можно сушить любые пиломатериалы. При отсутствии системы увлажнения допускается сушить древесину мягких хвойных и лиственных пород с невысокими требованиями к качеству.

Для газовых камер, имеющих одну топку на блок, «Руководящими материалами по камерной сушке пиломатериалов» рекомендуются специальные режимы, приведенные в табл. 10. Их особенностью является однозначность (в пределах одной категории режима) температуры смоченного термометра  $t_m$ . Режимы предназ-

Таблица 10. Режимы сушки пиломатериалов хвойных пород в газовых камерах периодического действия

Влажность древесины, %	Номер режима и параметры сушильного агента ( $t$ , $t_M$ , $\varphi$ ) перед штабелем при толщине пиломатериала, мм											
	до 25				32—45				50—60			
	№ режима	$t$	$t_M$	$\varphi$	№ режима	$t$	$t_M$	$\varphi$	№ режима	$t$	$t_M$	$\varphi$

Нормальные режимы

>30	1—Гз	76	67	0,66	2—Гз	74	67	0,73	3—Гз	72	67	0,80
30—20		80	67	0,55		77	67	0,64		75	67	0,70
<20		100	67	0,25		96	67	0,29		92	67	0,34

Форсированные режимы

>30	4—Гз	86	75	0,63	5—Гз	83	75	0,71	6—Гз	81	75	0,78
30—20		90	75	0,54		86	75	0,63		84	75	0,68
<20		120	75	0,20		115	75	0,23		110	75	0,28

Примечание. Для сушки березовых, ольховых и осиновых пиломатериалов режим выбирают по ближайшей большей номинальной толщине.

начены для сушки пиломатериалов хвойных пород (сосна, ель, пихта). Допускается сушить древесину мягких лиственных пород (березы, ольхи, осины).

**Режимы сушки в камерах непрерывного действия.** В камерах непрерывного действия состояние сушильного агента изменяется по длине камеры. В любой же точке камеры (например, в сухом и сыром концах) его состояние при сушке древесины определенной характеристики будет неизменным.

В противоточных камерах непрерывного действия (ГОСТ 18867—73) режимы сушки пиломатериалов характеризуются постоянным во времени состоянием сушильного агента при входе его в штабеля и выходе из штабелей, т. е. в сухом и сыром концах камеры.

В табл. 11 приведены режимы сушки для воздушных и газовых противоточных камер. Они делятся на мягкие, нормальные и форсированные.

В таблице даны режимы для пиломатериалов из древесины сосны, кедра и пихты. Для еловых пиломатериалов режим выбирают из этой же таблицы по предшествующей группе толщин. В камере непрерывного действия допускается одновременно сушить только однородные по характеристике (порода, толщина, назначение, группа начальной влажности) материалы.

Контроль за состоянием сушильного агента в сухом конце камеры проводят непрерывно или с интервалом 2 ч. В сыром конце степень насыщения контролируют перед каждой выгрузкой штабелей.

Для камер непрерывного действия с позонной циркуляцией сушильного агента применяют режимы низкотемпературного процесса, предназначенные для камер периодического действия. В зонах, примыкающих к сырому концу, поддерживают

Таблица 11. Режимы сушки пиломатериалов хвойных пород  
(сосна, кедр, пихта, ель) в противоточных камерах  
непрерывного действия (ГОСТ 18867—73)

Номер и индекс режима	Конечная влажность древесины, %	Толщина пиломатериалов, мм	Состояние сушильного агента в сухом конце камеры:			Степень насыщения $\varphi$ в сыром конце камеры при начальной влажности древесины	
			$t, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varphi$	>50%	<50%
<b>Мягкие режимы</b>							
1—М	18—25	До 22	55	15	0,40	0,80	0,70
2—М	18—25	Свыше 22 до 30	53	13	0,46	0,82	0,72
3—М	18—25	» 30 » 40	51	11	0,51	0,84	0,74
4—М	18—25	» 40 » 50	50	10	0,54	0,86	0,76
5—М	18—25	» 50 » 65	49	9	0,58	0,88	0,78
6—М	18—25	» 65 » 75	48	8	0,61	0,90	0,80
7—М	10—12	До 22	58	18	0,34	0,80	0,70
8—М	10—12	Свыше 22 до 30	55	15	0,40	0,82	0,72
9—М	10—12	» 30 » 40	53	13	0,46	0,84	0,74
10—М	10—12	» 40 » 50	52	12	0,48	0,86	0,76
11—М	10—12	» 50 » 65	51	11	0,51	0,88	0,78
12—М	10—12	» 65 » 75	50	10	0,54	0,90	0,80
<b>Нормальные режимы</b>							
1—Н	18—25	До 22	92	25	0,34	0,75	0,65
2—Н	18—25	Свыше 22 до 30	88	21	0,40	0,77	0,67
3—Н	18—25	» 30 » 40	85	18	0,45	0,79	0,69
4—Н	18—25	» 40 » 50	83	16	0,49	0,81	0,71
5—Н	18—25	» 50 » 65	81	14	0,53	0,83	0,73
6—Н	18—25	» 65 » 75	79	12	0,58	0,85	0,75
7—Н	10—12	До 22	100	33	0,25	0,75	0,65
8—Н	10—12	Свыше 22 до 30	95	28	0,31	0,77	0,67
9—Н	10—12	» 30 » 40	92	25	0,34	0,79	0,69
10—Н	10—12	» 40 » 50	88	21	0,40	0,81	0,71
11—Н	10—12	» 50 » 65	85	18	0,45	0,83	0,73
12—Н	10—12	» 65 » 75	83	16	0,49	0,85	0,75
<b>Форсированные режимы</b>							
1—Ф	10—12	До 22	110	35	0,25	0,75	0,65
2—Ф	10—12	Свыше 22 до 30	105	30	0,30	0,77	0,67
3—Ф	10—12	» 30 » 40	101	26	0,35	0,79	0,69
4—Ф	10—12	» 40 » 50	98	23	0,40	0,81	0,71
5—Ф	10—12	» 50 » 65	95	20	0,44	0,83	0,73
6—Ф	10—12	» 65 » 75	92	17	0,50	0,85	0,75

Примечание. При сушке мягкими режимами еловых пиломатериалов применяются режимы, регламентируемые таблицей для предшествующей группы толщин.

параметры по первой ступени режима, а к сухому концу — по второй или третьей ступени (в зависимости от уровня требуемой конечной влажности).

Камеры непрерывного действия в основном предназначены для сушки товарных пиломатериалов до транспортной влажности. В этом случае применяют нормальные или мягкие режимы (для противоточных камер режимы от 1—Н до 6—Н и от 1—М до 6—М соответственно).

Для сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности в противочувствительных камерах применяют: нормальные режимы от 7—Н до 12—Н; в случаях, когда не допускается снижение прочности и изменение цвета, — мягкие режимы от 7—М до 12—М; в случаях, когда допустимо снижение прочности древесины, — форсированные режимы от 1—Ф до 6—Ф.

Кроме рассмотренных выше режимов, которые предназначены для сушки пиломатериалов общехозяйственного назначения, применяются специальные режимы для пиломатериалов особого назначения. Такие режимы обычно регламентируются ведомственными техническими условиями или стандартами предприятий. Область их применения, как правило, очень ограничена.

### § 38. Режимы влаготеплообработок

*Начальную влаготеплообработку* проводят путем подачи пара в увлажнительные трубы при включенных калориферах, работающих вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных капалах. В этот период температуру в камере поддерживают на 5°С выше температуры по первой ступени режима, но не более 100°С. Степень насыщения устанавливают при начальной влажности древесины выше 25% от 0,98 до 1,0, а ниже 25% — от 0,9 до 0,92.

Продолжительность начального прогрева зависит от толщины пиломатериалов, породы и начальной температуры древесины. В соответствии с ГОСТ 19773—74 для пиломатериалов хвойных пород ее принимают равной при положительной температуре наружного воздуха 1—1,5 ч, а при отрицательной температуре — 1,5—2 ч на каждый сантиметр толщины. Для пиломатериалов мягких лиственных пород (береза, ольха, осина, липа) эта продолжительность увеличивается на 25%, а твердых пород (бук, клен, дуб, граб, орех) и лиственницы — на 50%.

В газовых камерах (при отсутствии системы увлажнения) и в камерах непрерывного действия начальная влаготеплообработка как самостоятельная операция не проводится. Нагрев материала проходит одновременно с его собственной сушкой.

*Влаготеплообработку* для снятия остаточных деформаций и напряжений осуществляют также подачей в камеру пара через увлажнительные трубы.

*Конечную влаготеплообработку* проводят при достижении материалом заданной конечной влажности. Такой обработке подвергают все пиломатериалы, подлежащие механической обработке и сборке по 13—10-му квалитетам. Температуру в камере поддерживают на 8°С выше температуры по последней ступени режима (но не более 100°С), а степень насыщения 0,98—1. Продолжительность обработки зависит от породы, толщины пиломатериалов, класса механической обработки и регламентируется табл. 12.

*Промежуточной влаготеплообработке* подвергают пиломатериалы повышенной толщины, помеченные в табл. 12 значком \*. Ее назначают перед переходом на третью ступень режима сушки. Тем-

Таблица 12. Продолжительность конечной влаготеплообработки пиломатериалов, подлежащих механической обработке и сборке по 13—10-му качествам

Толщина пиломатериалов, мм	Продолжительность, ч, обработки древесины				
	сосны, ели, пихты, осины, тополя, кедр, липы	березы, ольхи	лиственницы	бука, клена	дуба, граба, ясеня, вяза, вяза, вяза
До 30	2	3	3	4	4
Свыше 30 до 40	3	6	8	10	10*
» 40 » 50	6	12	15*	16*	20*
» 50 » 60	9	18*	20*	24*	30*
» 60 » 80	14*	30*	36*	40*	50*
» 80	24*	60*	70*	70*	80*

Примечание. Для пиломатериалов, подлежащих механической обработке по 15—13-му качествам, продолжительность, указанная в таблице, уменьшается вдвое.

температуру в камере устанавливают на  $8^{\circ}\text{C}$  выше температуры по второй ступени режима (но не более  $100^{\circ}\text{C}$ ), а степень насыщения 0,95—0,97. Продолжительность промежуточной влаготеплообработки вдвое меньше по сравнению с конечной (табл. 12) влаготеплообработкой.

При недостаточной герметичности и теплоизоляции камер допускается проводить конечную и промежуточную влаготеплообработку при степени насыщения 0,8—0,85. В этом случае продолжительность обработок увеличивается в 1,7—2 раза по сравнению с рекомендуемой табл. 12.

Для проведения конечной влаготеплообработки пиломатериалов, высушенных в камерах непрерывного действия, можно использовать имеющиеся на предприятии камеры периодического действия. Если же таких камер нет, а конечную обработку проводить необходимо, то для этой цели рационально строить специальные пропарочные камеры.

### § 39. Контроль за влажностью древесины и внутренними напряжениями в процессе сушки

Контроль влажности древесины в процессе сушки в настоящее время проводят способом контрольных образцов.

Контрольный образец длиной 1—1,2 м отпиливают от доски, характерной для партии пиломатериалов, загружаемой в сушильную камеру. Одновременно выпиливают две смежные с образцом секции влажности (рис. 62). Сразу же после распиловки секции очищают от опилок и заусенцев и взвешивают на технических весах. Затем определяют их влажность (см. § 7). Среднее значение влажности, вычисленное по двум секциям, принимают за начальную влажность ( $W_{н}$ ) контрольного образца.

Контрольный образец нумеруют, торцы его очищают и покрывают густотертой масляной краской. После этого взвешивают на

торговых весах с погрешностью до 5 г. Начальную массу ( $M_n$ ) записывают на образце и в журнале или карте сушки.

В каждый сушильный штабель закладывают два-три контрольных образца в места интенсивной и замедленной сушки. Образцы

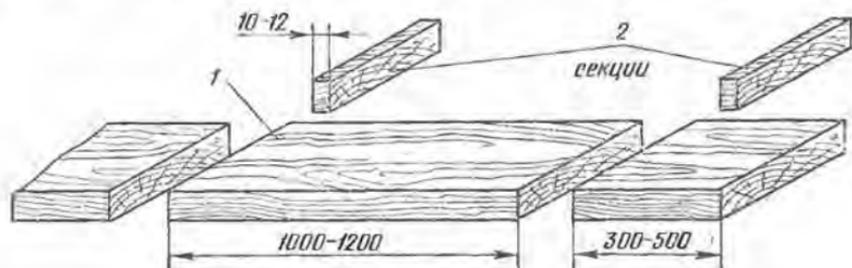


Рис. 62. Схема выпиловки контрольного образца:  
1 — контрольный образец, 2 — секции влажности

укладывают заподлицо с торцом штабеля или несколько глубже, но так, чтобы их легко можно было вынуть. Они должны лежать на прокладках, не соприкасаясь с пластью досок. Над образцами укладывают специальные прокладки с вырезом (рис. 63).

По известным величинам начальной влажности и начальной массы рассчитывают массу абсолютно сухого контрольного образца:

$$M_{\text{сух}} = \frac{M_n \cdot 100}{W_n + 100} \quad (21)$$

Таким образом, его масса в абсолютно сухом состоянии известна перед началом сушки.

В процессе сушки через определенные промежутки времени образцы вынимают из штабеля и взвешивают. Текущую влажность ( $W_T$ ) образцов находят по выражению

$$W_T = \frac{M_T - M_{\text{сух}}}{M_{\text{сух}}} \cdot 100, \quad (22)$$

где  $M_T$  — масса образца в момент определения текущей влажности, г.

При сушке тонких пиломатериалов хвойных пород контроль влажности проводят в начальной стадии процесса через 8 ч, а в конечной стадии — через 12 ч. Для пиломатериалов повышенной

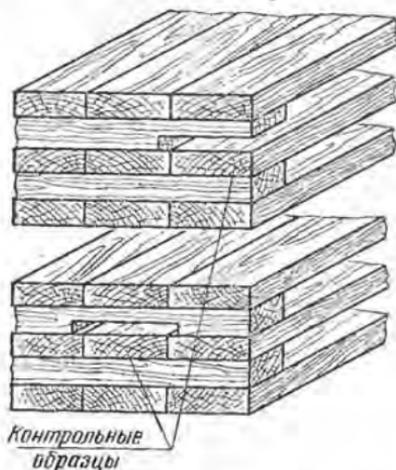


Рис. 63. Схемы размещения контрольного образца в штабеле

толщины или листовых пород промежутки времени между взвешиваниями увеличивают в 1,5—2 раза.

По величине текущей влажности судят о возможности перехода на последующую ступень режима сушки или окончания процесса.

Способ контрольных образцов имеет ряд недостатков. Требуется частые заходы операторов в камеры, что нарушает в них режим сушки, имеются неудобства и даже опасности при применении форсированных режимов. Для контроля влажности высокотемпературной сушки пиломатериалов он непригоден. Кроме того, этот способ не обеспечивает высокой точности измерений.

На некоторых предприятиях в настоящее время работают экспериментальные устройства дистанционного контроля средней текущей влажности штабеля пиломатериалов при их сушке. Наиболее перспективны из них устройства для контроля влажности штабеля по величине его усадки в процессе сушки (рис. 64, а). Устройство состоит из датчика усадки и электрического измерительного прибора.

Датчик усадки устроен следующим образом. Вал 3 с рамкой 5 установлен в подшипниках 6, которые крепятся к боковой стене камеры на кронштейнах 7. На конце вала, выходящего за пределы сушильного пространства, в торцовой стене (со стороны загрузочных дверей) закреплен электрический датчик (сельсин) 1. Рамка 5 прижимается к рычагу съемной прокладки 4 пружиной 2. Прокладка устанавливается на боковой поверхности штабеля. В процессе сушки штабель дает усадку, величина которой зависит от его влажности. При этом рычаг через рамку 5 поворачивает вал 3 на определенный угол. Движение вращения вала преобразуется датчиком 1 в электрический сигнал. Этот сигнал регистрируется электрическим измерительным прибором, который имеет шкалу, градуированную в миллиметрах усадки штабеля. Для исключения влияния возможных перекосов штабеля на результат измерения датчики усадки устанавливают с обеих сторон штабеля, а их показания усредняются электрическим измерительным прибором.

Величина усадки штабеля (по показаниям прибора) в проценты влажности переводится по таблицам или графикам, которые составляются для пиломатериалов различных пород и толщин на основании специальных испытаний.

Для примера на рис. 64, б приведен график для определения влажности пиломатериалов из древесины сосны толщиной 35—40 мм при установке съемной прокладки на высоте 1700 мм от основания штабеля.

Из графика следует, что величина усадки при текущей влажности  $W_T > 20\%$  зависит от начальной влажности пиломатериалов.

Величину средней начальной влажности штабеля определяют перед сушкой весовым способом по нескольким секциям влажности или электровлагомером путем проведения серии замеров.

Погрешность определения средней влажности штабеля по его усадке составляет  $\pm 1,5\%$  при  $W_T \leq 20\%$ , что значительно меньше погрешности способа контрольных образцов.

**Контроль за внутренними напряжениями и остаточными деформациями** при сушке проводят 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 влаготеплообработки и в конце сушки.

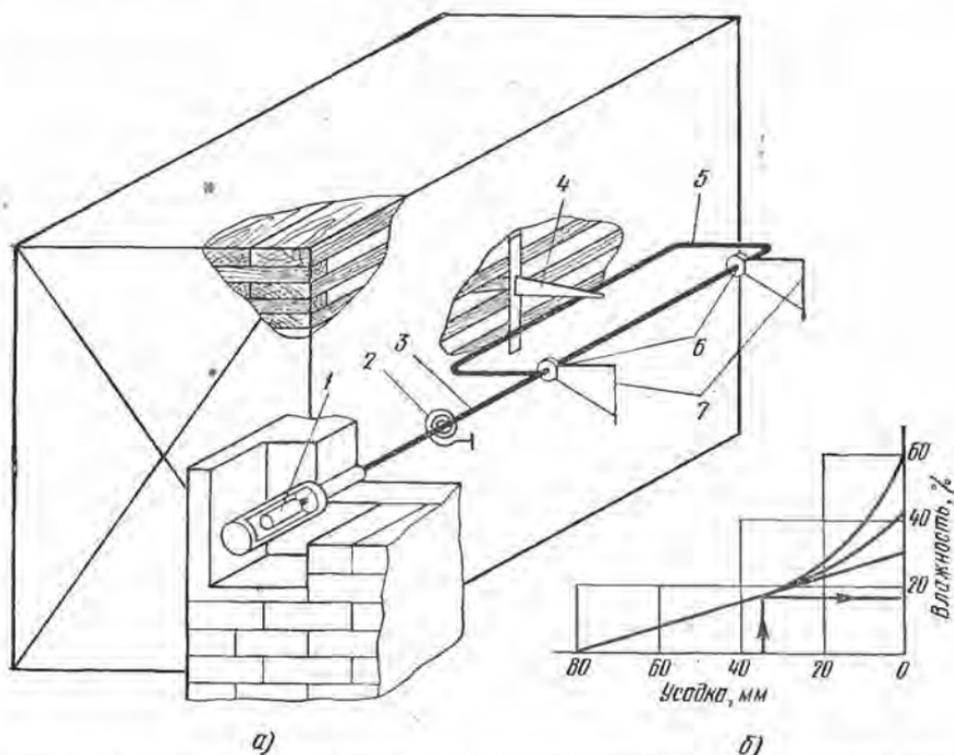


Рис. 64. Общий вид устройства для дистанционного измерения усадки штабеля (а) и график для определения влажности сосновых пиломатериалов толщиной 35—40 мм (б):

1 — датчик-сельсия, 2 — пружина, 3 — вал, 4 — съемная прокладка, 5 — рамка, 6 — подшипники, 7 — кронштейны

Для контроля за напряжениями и деформациями в процессе сушки в штабель одновременно с контрольными образцами влажности закладывают силовые образцы длиной 1—1,2 м. От этих образцов в нужные моменты времени отпиливают поперечным срезом силовые секции. Торцы силовых образцов замазывают густотертой масляной краской. Замаску возобновляют на свежем пропиле после каждой выпилки новой секции. Секции выпиливают на расстоянии не менее 100 мм от торца.

Силовую секцию раскаивают на ленточнопильном станке в виде двузубой гребенки, выкалывая серединку, как это показано на рис. 65, а. Сразу после раскроя зубцы секции могут изогнуться

в ту или иную сторону (рис. 66). По положению зубцов можно судить о характере внутренних напряжений (см. § 13). 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 внутренних напряжений.

Секция формы А показывает только характер и примерную величину внутренних напряжений в той доске или заготовке, из которой эта секция выпилена, и в данный момент. Чтобы установить наличие в материале остаточных деформаций, необходимо в раскромочной секции добиться равномер-

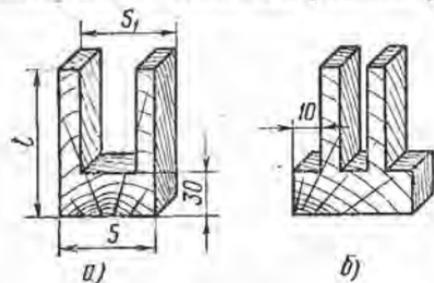


Рис. 65. Схемы раскроя силовой секции на двузубую гребенку для пиломатериалов толщиной менее 40 мм (а) и более 40 мм (б)

	Форма секций		Примечание	
	А	Б		
Сушка	1		Начальный	
	2			Промежуточный
	3			
Влаготеплообработка	4		Проведена нормально	
	5			Проведена недостаточно
	6			Проведена излишне интенсивно

Рис. 66. Силовые секции форм А и Б для наиболее характерных моментов сушки

ного 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  $t=100-105^{\circ}\text{C}$  в течение 2 ч. Древесина секции при такой выдержке не приобретает дополнительных остаточных деформаций, кроме тех, которые уже были в материале перед ее выпилкой. Поэтому 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 характер остаточных деформаций всегда наблюдается в процессе сушки без влаготеплообработки. Если зубцы секции *Б* оказались прямыми (позиция *Б-4*), то остаточных деформаций в материале нет. Такой случай может быть при правильно проведенной влаготеплообработке. 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 интенсивной влаготеплообработки. 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 выдержке на складе или после кондиционирования. О наличии остаточных напряжений судят по секции формы *Б*. Например, изгиб зубцов секции внутрь 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 имеет место дополнительная деформация зубцов секции *Б*, то влага в материале распределена неравномерно. Так как более влажные слои секции при выдержке получают большую усушку, то 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 внутренних напряжений. «Руководящие материалы по камерной сушке пиломатериалов» рекомендуют для пиломатериалов повышенной толщины (более 40 мм) дополнительно выпиливать вторую силовую секцию (см. рис. 65, *б*) с зубцами во внутренней зоне сортамента. По двум секциям (см. рис. 65, *а, б*) характер напряжений и остаточных деформаций может быть установлен более надежно.

## **§ 40. Качество сушки пиломатериалов.**

### **Окончание процесса сушки**

Качество сушки пиломатериалов характеризуется рядом показателей, основными из которых являются:

видимые дефекты сушки;

средняя величина конечной влажности;

равномерность конечной влажности;  
перепад влажности по толщине;  
остаточные напряжения.

Показатели качества сушки устанавливаются по отношению к определенной партии древесины. За такую партию обычно принимают штабель досок или заготовок.

Первоначально рассмотрим первый показатель — **видимые дефекты сушки**. В высушенном материале независимо от его назначения видимые дефекты не допускаются.

К видимым дефектам древесины, которые могут появиться при ее сушке, относятся растрескивание и коробление. На практике встречается наружное, внутреннее, торцовое и радиальное растрескивание.

Наружные трещины образуются в материале в начальный период сушки, когда действующие на поверхности растягивающие напряжения превышают предел прочности. Причина образования наружных трещин — слишком жесткий режим сушки, а мера предупреждения — применение рационального режима.

Внутренние трещины могут появиться в конце процесса, если в центре сортимента возникли чрезмерно большие растягивающие напряжения. Чтобы предупредить их образование, необходимо соблюдать режим сушки и проводить промежуточную и конечную влаготеплообработку.

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 это мероприятие при массовой сушке не применяется.

Правильная укладка пиломатериалов в штабеле, в частности выравнивание торцов штабеля, размещение крайних прокладок заподлицо с торцами досок, формирование полногабаритного штабеля, значительно снижает торцовое растрескивание. Торцовые трещины в этом случае бывают неглубокими и при поперечном раскрое пиломатериалов потери будут незначительными.

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.

Коробление пиломатериалов в процессе сушки происходит также по причине различной усушки в радиальном и тангенциальном направлениях. 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 (короблению) доски в попе-

речном направлении (рис. 67). Доски радиальной распиловки не коробятся. Разность усушки древесины вдоль и поперек волокон вызывает продольное коробление. Для того чтобы предотвратить поперечное и продольное коробление досок, их следует сушить в зажатом состоянии, соблюдать правила формирования штабеля (укладывать в один ряд доски строго одинаковой толщины, применять стандартные строгаемые прокладки, каждый ряд которых должен находиться в одной вертикальной плоскости). В этом случае плоская форма досок в штабеле фиксируется массой самой древесины, за исключением верхних двух-трех рядов. В верхнем ряду следует укладывать доски радиальной распиловки или материал не-

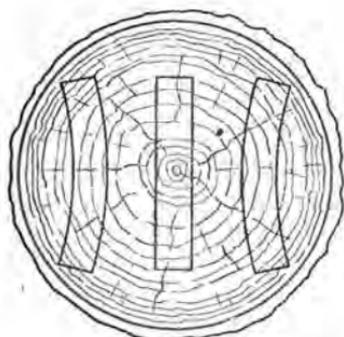


Рис. 67. Поперечное коробление пиломатериалов

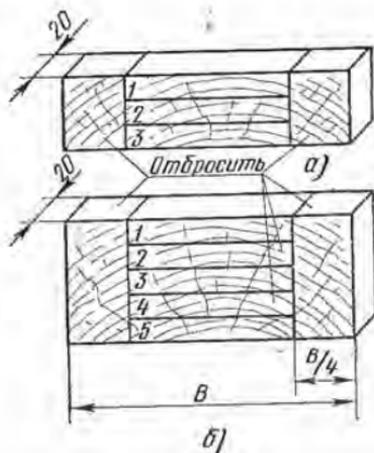


Рис. 68. Секции полойной влажности ( $B$  — ширина доски)

ответственного назначения. Таким образом, коробление досок при сушке возникает только при неправильной и небрежной укладке, но не является следствием неправильно выбранного режима сушки. Отклонения же от рационального режима могут привести к образованию трещин.

**Средняя величина конечной влажности** контролируемой партии определяется следующим образом. Из штабеля в зонах быстрого и замедленного просыхания материала отбирают не менее девяти досок. Из каждой доски выпиливают две секции влажности и определяют их влажность. Влажность партии  $W_{\text{ср}}$  вычисляют как среднее арифметическое из полученных значений влажности секций.

**Равномерность конечной влажности.** Показателем равномерности считают среднее квадратическое отклонение, которое вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i - W_{\text{ср}})^2}}{n - 1},$$

где  $W_i$  — влажность отдельной секции, %;  $W_{cp}$  — средняя влажность штабеля, %;  $n$  — число секций 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** контролируют по секциям послойной влажности, которые выпиливают из отобранных досок рядом с секциями для определения общей влажности. Секции раскалывают по схемам, приведенным на рис. 68, при толщине досок до 50 мм — на рис. 68, а, при толщине 50 мм и выше — на рис. 68, б. Разница во влажности боковых (взвешиваемых вместе) и средних полосок показывает перепад влажности.

**Остаточные напряжения в высушенном материале** устанавливаются по силовым секциям (§ 39), выпиливаемым рядом с секциями послойной влажности из каждой отобранной доски. Можно считать, что древесина практически свободна от остаточных напряжений, если относительное отклонение зубцов секции (в вершине) от нормального положения не превышает 1,5—2% длины зубца, т. е.

$$\frac{S_1 - S}{2l} \cdot 100 < 2 \quad (\text{обозначения см. на рис. 65, а}).$$

Высушенная древесина должна по качеству сушки соответствовать своему назначению. Назначение древесины различно, поэтому различны и требования, предъявляемые к качеству сушки.

В зависимости от этих требований «Руководящими материалами по камерной сушке пиломатериалов» установлено четыре категории качества.

I категория — сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую обработку и сборку деталей по 12—10-му качествам (ГОСТ 6449—76) (точное машиностроение, приборостроение, производство моделей, лыж).

II категория — сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую обработку и сборку деталей по 13—11-му качествам (производство мебели, автостроение, пассажирское вагоностроение).

III категория — сушка пиломатериалов до эксплуатационной влажности, обеспечивающая механическую обработку и сборку деталей по 15—13-му качествам (грузовое авто- и вагоностроение, сельхозмашиностроение, производство тары).

0 (нулевая) категория — сушка до транспортной влажности товарных пиломатериалов без снижения их прочности и изменения цвета (для экспортных).

Требуемая величина средней конечной влажности древесины после сушки колеблется для различных изделий в широких пределах и регламентируется стандартами и техническими условиями. Например, для мебели она составляет 7—8%, для столярно-строительных изделий 10—12%, для тары 15—20%. Нормы требований к остальным показателям качества регламентируются Руководящими материалами (табл. 13).

Т а б л и ц а 13. Нормы требований к качеству сушки пиломатериалов и заготовок

Категория качества сушки	Средняя конечная влажность древесины, %	Допустимые отклонения конечной влажности в партии от средней, %	Допустимый перепад влажности, %, при толщине пиломатериалов, мм				Остаточные внутренние напряжения
			13—22	25—40	45—60	70—90	
0	19	+2 —4	Не контролируется				Не контролируются
I	6 8	±1,5 ±2	1,5	2,0	2,5	3,0	Не допускаются
II	6 8 10	* ±2 ±2,5 ±3	2,0	3,0	3,5	4,0	То же
III	8 10 12 15	±3 ±4 ±5 ±5	2,5	3,5	4,0	5,0	Не контролируются

**Окончание процесса сушки.** Для обеспечения требуемого качества пиломатериалов окончание процесса сушки необходимо проводить следующим образом.

После достижения материалом заданной конечной влажности (что устанавливают по контрольным образцам) назначают влаготеплообработку. По ее окончании закрывают увлажнительные трубы, в камере создают параметры сушильного агента по последней ступени режима и в течение 2—4 ч (в зависимости от толщины пиломатериалов) проводят подсушку поверхностных слоев. Затем из штабеля отбирают пробы для определения показателей качества сушки.

В период выполнения контрольных операций в камере проводят кондиционирование. При выполнении этой операции температуру среды поддерживают на 5° С выше температуры последней ступени режима сушки (но не более 100° С), а степень насыщения устанавливают по величине равновесной влажности древесины (см. рис. 11), которая равна конечной влажности, увеличенной на 1%. Если древесина отвечает предъявляемым требованиям, подачу пара в калориферы прекращают, камеру охлаждают до 30—40° С сначала при открытых приточно-вытяжных каналах, а затем при полуоткрытых дверях, далее штабеля выкатывают и начинают готовить камеру к следующей загрузке. Если же установлено, что материал не отвечает предъявляемым требованиям, то должна быть назначена дополнительная влаготеплообработка (при наличии в материале остаточных напряжений) или продолжено кондиционирование (при недопустимом диапазоне колебания конечной влажности).

При проведении камерной сушки пиломатериалов обязательно записываются все наблюдения и замеры. Записи подлежат:  
 фактическое и рекомендуемое режимом состояние среды в камере (запись проводят ежедневно);  
 характеристика пиломатериалов и их количество;  
 результаты контроля текущей влажности пиломатериалов;  
 результаты анализа внутренних напряжений и остаточных деформаций;  
 режимы и результаты промежуточной и конечной влаготеплообработок;  
 результаты контроля качества сушки;  
 причины простоя камеры и другие сведения, относящиеся к проведению сушки.

Для записей целесообразно использовать специальные журналы и карты сушки, которые рекомендованы «Руководящими материалами по камерной сушке пиломатериалов».

### § 41. Расчет продолжительности сушки

При проведении камерной сушки пиломатериалов, особенно при определении производительности сушильных камер и учете их работы, важно уметь рассчитать продолжительность процесса.

Для производственных расчетов продолжительности сушки пиломатериалов, высушиваемых стандартными режимами, «Руководящими материалами по камерной сушке пиломатериалов» рекомендуется табличный метод.

Продолжительность низкотемпературного процесса сушки в камерах периодического действия (в часах), включая влаготеплообработку, определяют по формуле

$$\tau = \tau_{\text{исх}} A_p A_{\text{ц}} A_{\text{к}} A_{\text{в}}, \quad (23)$$

где  $\tau_{\text{исх}}$  — исходная продолжительность собственно сушки пиломатериалов заданной породы, толщины ( $S_1$ ) и ширины ( $S_2$ ); определяется по табл. 14;  $A_p$  — коэффициент категории режима сушки (табл. 15);  $A_{\text{ц}}$  — коэффициент, учитывающий характер и интенсивность циркуляции воздуха в камере (табл. 16);  $A_{\text{к}}$  — коэффициент, учитывающий категорию качества сушки (табл. 17);  $A_{\text{в}}$  — коэффициент, учитывающий начальную ( $W_{\text{н}}$ ) и конечную ( $W_{\text{к}}$ ) влажность древесины (табл. 18).

Коэффициент  $A_{\text{ц}}$  зависит от произведения  $\tau_{\text{исх}} A_p$  и типа камер по интенсивности циркуляции. Если данные о фактической скорости отсутствуют, то к группе I следует отнести камеры ЛТА-Гипродрева, СПВ-62, СПЛК; к группе II — камеры ЦНИИМОД-23, типа ВИАМ и эжекционные камеры последних моделей; к группе III — эжекционные камеры старых моделей.

**Примеры. 1.** Определить продолжительность сушки сосновых обрезных досок поперечным сечением  $40 \times 150$  III категории качества от начальной влажности 80% до конечной 10% в камере СПЛК-2 для форсированного режима сушки.

Таблица 14. Исходная продолжительность сушки пиломатериалов  $T_{исх}$ , ч

Толщина пиломатериалов $S_1$ , мм	Ширина пиломатериалов $S_2$ , мм				Толщина пиломатериалов $S_1$ , мм	Ширина пиломатериалов $S_2$ , мм			
	80—100	100—130	140—180	более 180		80—100	100—130	140—180	более 180
Сосна, ель, пихта, кедр					Лиственница				
До 16	25	27	29	31	До 16	58	61	64	67
19	31	33	35	37	19	65	70	75	80
22	37	40	43	46	22	80	85	90	95
25	48	51	54	57	25	100	105	110	115
32	70	75	80	85	32	135	140	145	155
40	85	90	95	100	40	160	170	190	220
50	100	105	110	120	50	215	240	280	340
60	120	130	140	160	60	320	330	450	550
70	140	155	175	210	70	500	600	730	900
75	155	180	210	260	75	580	700	870	1100
100	230	280	350	465	100	970	1200	1500	1950
Осина, липа, тополь					Береза, ольха				
До 16	29	31	33	35	До 16	35	38	41	44
19	36	39	42	45	19	44	47	50	53
22	43	46	49	52	22	50	53	56	59
25	60	64	68	72	25	66	70	74	80
32	80	90	95	100	32	90	95	100	105
40	95	100	105	115	40	100	105	110	115
50	110	117	125	135	50	125	135	150	170
60	130	145	165	190	60	170	190	220	260
75	175	210	255	310	75	220	270	330	400
Бук, клен, берест, ясень, ильм					Дуб, орех, граб				
До 16	53	56	59	62	До 16	80	85	90	95
19	60	64	68	72	19	90	95	100	105
22	70	75	80	85	22	100	105	110	115
25	95	100	105	110	25	110	115	120	125
32	112	118	125	135	32	165	180	200	220
40	135	145	160	180	40	215	240	275	315
50	185	210	240	280	50	320	380	450	530
60	250	300	360	430	60	500	610	730	860
75	400	480	580	700	75	780	950	1200	1500

Примечание. Продолжительность сушки необрезного материала принимают по последней графе как для наиболее широких сортиментов.

Таблица 15. Значения коэффициента  $A_p$ 

Категория режима	$A_p$	Категория режима	$A_p$
Форсированные (Ф)	0,80	Нормальные (Н) Мягкие (М)	1,0 1,70

Таблица 16. Значения коэффициента  $A_{ц}$ 

Проникновение $\tau_{исх} A_{ц} \mu^4$	Камеры с принудительной циркуляцией			Камеры с естественной циркуляцией
	I — большой интенсивности	II — средней интенсивности	III — слабой интенсивности	
20	0,65	1,00	1,80	2,60
40	0,70	1,00	1,70	2,30
60	0,75	1,00	1,60	2,00
80	0,80	1,00	1,45	1,75
100	0,85	1,00	1,35	1,55
140	0,90	1,00	1,15	1,30
180	0,93	1,00	1,10	1,15
200 и более	0,95	1,00	1,05	1,10

Таблица 17. Значения коэффициента  $A_{к}$ 

Категория качества	$A_{к}$	Категория качества	$A_{к}$
I	1,25	III	1,05
II	1,15	0	I

Таблица 18. Значения коэффициента  $A_{н}$ 

Начальная влажность, %	Конечная влажность, %											
	22	20	18	16	14	12	11	10	9	8	7	6
120	1,07	1,12	1,18	1,25	1,33	1,43	1,49	1,55	1,61	1,68	1,76	1,86
110	1,00	1,06	1,12	1,20	1,28	1,37	1,43	1,49	1,55	1,62	1,71	1,81
100	0,94	1,00	1,06	1,14	1,22	1,31	1,37	1,43	1,50	1,57	1,65	1,75
90	0,87	0,93	1,00	1,07	1,16	1,25	1,30	1,36	1,43	1,51	1,58	1,68
80	0,80	0,86	0,93	1,00	1,09	1,18	1,23	1,29	1,35	1,43	1,51	1,61
70	0,72	0,78	0,84	0,92	1,00	1,10	1,15	1,21	1,27	1,35	1,43	1,52
65	0,67	0,74	0,80	0,87	0,96	1,05	1,10	1,16	1,23	1,30	1,38	1,48
60	0,62	0,68	0,75	0,82	0,91	1,00	1,05	1,11	1,18	1,25	1,33	1,43
55	0,57	0,63	0,69	0,77	0,85	0,94	1,00	1,06	1,12	1,20	1,28	1,38
50	0,51	0,57	0,63	0,71	0,79	0,89	0,94	1,00	1,06	1,14	1,22	1,32
45	0,44	0,50	0,57	0,64	0,73	0,82	0,87	0,93	1,00	1,07	1,15	1,25
40	0,37	0,43	0,49	0,57	0,65	0,75	0,80	0,86	0,93	1,00	1,08	1,18
35	0,29	0,35	0,43	0,49	0,57	0,66	0,72	0,78	0,84	0,92	1,00	1,10
30	0,19	0,25	0,32	0,39	0,48	0,57	0,62	0,68	0,75	0,82	0,90	1,00
28	0,15	0,21	0,27	0,35	0,43	0,53	0,58	0,64	0,71	0,78	0,86	0,96
26	0,10	0,16	0,23	0,31	0,38	0,48	0,54	0,59	0,66	0,73	0,82	0,91
24	0,06	0,11	0,18	0,27	0,33	0,43	0,49	0,54	0,61	0,68	0,77	0,86
22	—	0,06	0,13	0,22	0,28	0,38	0,43	0,49	0,56	0,63	0,71	0,81
20	—	—	0,07	0,14	0,22	0,32	0,37	0,43	0,50	0,57	0,65	0,75
18	—	—	—	0,07	0,16	0,25	0,30	0,37	0,43	0,50	0,59	0,68
16	—	—	—	—	0,08	0,18	0,23	0,30	0,36	0,43	0,52	0,61
14	—	—	—	—	—	0,10	0,15	0,21	0,28	0,35	0,43	0,52

Находим по таблицам:  $\tau_{исх}=95$  ч;  $A_D=0,80$ ;  $A_K=1,05$ ;  $A_{II}=0,8$ ;  $A_B=1,29$ .  
 Перемножая найденные величины, получаем  $\tau=95 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot 0,8 \cdot 1,29=82$  ч.

2. Дубовые необрезные доски толщиной 25 мм высушивают по I категории качества от начальной влажности 90% до конечной 6% в камере ЦИИМОД-23. Режим сушки нормальный. Определить сроки сушки этого материала.

По таблицам находим  $\tau_{исх}=125$  ч;  $A_D=1,0$ ;  $A_K=1,25$ ;  $A_{II}=1,0$ ;  $A_B=1,68$ .  
 Перемножаем полученные величины и находим  $\tau=125 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,68=262$  ч.

**Продолжительность сушки в противоточных камерах непрерывного действия, включая начальный прогрев, рассчитывает по выражению**

$$\tau = \tau_{исх} A_{II} A_{II} A_B A_K \quad (24)$$

Таблица 19. Исходная продолжительность сушки пиломатериалов  $\tau_{исх}$ , ч

Толщина пиломатериалов, $S_1$ , мм	Ширина пиломатериалов $S_2$ , мм			
	80—100	110—130	140—180	более 180
<b>Мягкие режимы</b>				
До 16	28	28	28	28
19	34	35	37	39
22	44	45	47	49
25	50	53	57	61
32	75	83	96	102
40	103	119	138	152
50	142	171	195	220
60	183	233	274	300
70	227	305	355	398
75	250	344	395	443
<b>Нормальные режимы</b>				
До 16	18	18	18	18
19	20	20	20	21
22	22	22	22	25
25	27	27	28	31
32	37	37	44	45
40	52	54	63	67
50	69	77	87	93
60	86	98	114	124
70	105	123	146	162
75	114	135	166	184
<b>Форсированные режимы</b>				
До 16	17	17	17	17
19	19	19	19	19
22	21	21	21	21
25	25	25	28	28
32	35	35	42	42
40	46	48	56	58
50	62	65	74	79
60	78	83	97	106
70	95	104	124	137
75	104	115	139	154

**Примечание.** Продолжительность сушки необрезного материала принимается по последней графе, как для наиболее широких сортиментов.

где  $\tau_{исх}$  — продолжительность сушки сосновых пиломатериалов заданной толщины ( $S_1$ ) и ширины ( $S_2$ ); определяют по табл. 19 в зависимости от применяемого режима; коэффициенты  $A_{п}$ ,  $A_{ц}$ ,  $A_{в}$ ,  $A_{к}$  учитывают соответственно породе, характеру и интенсивности циркуляции, начальную и конечную влажность, категорию качества.

Величины коэффициентов  $A_{ц}$ ,  $A_{в}$ ,  $A_{к}$  находят по табл. 20, 21, 22, а коэффициента  $A_{п}$  — по табл. 17.

Т а б л и ц а 20. Значения коэффициента  $A_{п}$

Порода	Нормальный и форсированный режимы	Мягкий режим
Ель	0,95	0,9
Сосна	1,00	1,0
Береза, ольха	1,45	1,35
Осина	1,10	1,05

Т а б л и ц а 21. Значения коэффициента  $A_{п}$

Камеры	Толщина пиломатериалов, мм									
	до 16	19	22	25	32	40	50	60	70	75
ЦНИИМОД-49, ЦНИИМОД-56 и «Валмет»	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ЦНИИМОД-32	1,65	1,45	1,30	1,23	1,10	1,08	1,05	1,03	1,00	1,00
ЦНИИМОД-24, ЦНИИМОД-34	2,20	2,05	1,90	1,70	1,45	1,30	1,25	1,15	1,12	1,10

**Примеры. 1.** Определить продолжительность сушки сосновых пиломатериалов поперечным сечением  $40 \times 200$ , высушиваемых по I категории качества в камере ЦНИИМОД-56 от начальной влажности 100% до конечной 20% при мягком режиме.

По таблицам находим:  $\tau_{исх} = 152$  ч;  $A_{п} = 1,0$ ;  $A_{ц} = 1,0$ ;  $A_{к} = 1,25$ ;  $A_{в} = 0,95$ . Продолжительность сушки составит:  $\tau = 152 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,95 = 181$  ч.

2. Определить продолжительность сушки березовых необрезных досок толщиной 25 мм при сушке по III категории качества от начальной влажности 60% до конечной 8% в камерах ЦНИИМОД-32 по нормальному режиму.

По таблицам находим:  $\tau_{исх} = 31$  ч;  $A_{п} = 1,45$ ;  $A_{ц} = 1,23$ ;  $A_{к} = 1,05$ ;  $A_{в} = 1,16$ . Продолжительность сушки составит  $\tau = 31 \cdot 1,45 \cdot 1,23 \cdot 1,05 \cdot 1,16 = 67$  ч.

## § 42. Расчет производительности и учет работы сушильных камер

Производительность сушильной камеры  $\Pi$ , в которой высушиваются пиломатериалы конкретной характеристики и определенного назначения, определяется в кубических метрах древесины за год выражением

$$\Pi = \frac{335}{\tau_{об}} \cdot E, \quad (25)$$

Таблица 22. Значения коэффициента  $A_6$ 

Начальная влажность, %	Толщина пиломатериалов, мм	Нормальный и форсированный режимы при $W_{к.} \%$					Мягкий режим при $W_{к.} \%$		
		8	10	12	18	20-22	12	18	20-22
120	13-19	2,29	2,22	2,17	2,17	2,17	2,00	1,85	1,79
	22-25	2,11	2,02	1,95	1,95	1,95	1,60	1,40	1,33
	32-40	1,96	1,85	1,75	1,65	1,58	1,45	1,20	1,10
	45-60	1,77	1,63	1,52	1,32	1,26	1,40	1,15	1,05
	70-75	1,69	1,55	1,44	1,19	1,11	1,40	1,15	1,05
100	13-19	1,88	1,81	1,76	1,76	1,76	1,65	1,50	1,44
	22-25	1,74	1,65	1,58	1,58	1,58	1,35	1,15	1,08
	32-40	1,63	1,52	1,42	1,32	1,25	1,30	1,05	0,95
	45-60	1,58	1,44	1,33	1,13	1,07	1,30	1,05	0,95
	70-75	1,57	1,43	1,32	1,07	0,99	1,30	1,05	0,95
80	13-19	1,48	1,41	1,36	1,36	1,36	1,35	1,20	1,14
	22-25	1,44	1,35	1,28	1,28	1,28	0,25	1,05	0,98
	32-40	1,43	1,31	1,21	1,11	1,04	1,20	0,95	0,85
	45-60	1,43	1,29	1,18	0,98	0,92	1,20	0,95	0,85
	70-75	1,43	1,29	1,18	0,93	0,85	1,20	0,95	0,85
60	13-19	1,12	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,79
	22-25	1,16	1,07	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,73
	32-40	1,21	1,10	1,00	0,91	0,83	1,00	0,75	0,65
	45-60	1,25	1,11	1,00	0,80	0,74	1,00	0,75	0,65
	70-75	1,25	1,11	1,00	0,75	0,67	1,00	0,75	0,65
45	13-19	0,87	0,80	0,75	0,75	0,75	0,75	0,60	0,54
	22-25	0,91	0,82	0,75	0,75	0,75	0,75	0,55	0,48
	32-40	0,96	0,85	0,75	0,65	0,58	0,70	0,45	0,35
	45-60	0,93	0,79	0,68	0,48	0,42	0,70	0,45	0,35
	70-75	0,93	0,79	0,68	0,43	0,35	0,70	0,45	0,35
30	13-19	0,61	0,54	0,49	0,49	0,49	0,50	0,35	0,29
	22-25	0,69	0,60	0,53	0,53	0,53	0,50	0,30	0,23
	32-40	0,77	0,66	0,56	0,46	0,39	0,50	0,25	0,15
	45-60	0,83	0,69	0,58	0,38	0,32	0,50	0,25	0,15
	70-75	0,83	0,69	0,58	0,33	0,25	0,50	0,25	0,15

где 335 — число суток работы камеры в году;  $\tau_{об}$  — продолжительность одного оборота камеры при сушке фактического материала, сутки; в камерах непрерывного действия она равна продолжительности сушки, а в камерах периодического действия — продолжительности сушки, увеличенной на время загрузки и разгрузки камеры, которое составляет 0,1 сут;  $E$  — вместимость сушильной камеры,  $m^3$  древесины.

Вести учет работы сушильных камер, непосредственно используя выражение (25), достаточно сложно. Конкретное предприятие высушивает пиломатериалы разнообразной спецификации. Поэтому величины  $E$  и  $\tau_{об}$  нестабильны.

Вместимость камеры зависит от размеров материала, а продолжительность оборота камеры — от режима процесса и характеристики материала.

Учет и планирование работы сушильных камер принято вести в кубических метрах условного материала. Условному материалу эквивалентны сосновые обрезные доски толщиной 50 мм, шириной 150 мм, длиной более 1 м, II категории качества, высушиваемые от начальной влажности 60% до конечной 12%.

Количество фактически просушенных пиломатериалов  $\Phi$  переводится в количество условного материала  $У$  по соотношению

$$У = \Phi \cdot \frac{E_{усл} \tau_{\phi}}{E_{\phi} \tau_{усл}} \quad (26)$$

Следовательно, для перевода фактического объема древесины в объем условного материала необходимо установить вместимость камеры на условном ( $E_{усл}$ ) и фактическом ( $E_{\phi}$ ) материале, а также продолжительность сушки условного ( $\tau_{усл}$ ) и фактического ( $\tau_{\phi}$ ) материала.

Вместимость камеры  $E$  ( $m^3$  древесины) определяют по выражению

$$E = \Gamma \beta, \quad (27)$$

где  $\Gamma$  — объем штабелей, одновременно находящихся в камере;  $\beta$  — коэффициент объемного заполнения штабеля. В свою очередь

$$\Gamma = lbhn, \quad (28)$$

где  $lbh$  — длина, ширина и высота;  $n$  — число штабелей в камере.

При определении величины  $\beta$  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, при изменении ее влажности от предела насыщения до транспортной влажности. Учет работы камер ведут по товарным пиломатериалам.

С учетом этого обстоятельства коэффициент объемного заполнения штабеля рассчитывают по формуле

$$\beta = \beta_{дл} \beta_{ш} \beta_{в} \cdot 0,93, \quad (29)$$

где  $\beta_{дл}$ ,  $\beta_{ш}$ ,  $\beta_{в}$  — коэффициенты заполнения штабеля по длине, ширине и высоте; 0,93 — коэффициент, учитывающий объемную усушку древесины.

Коэффициент заполнения штабеля по длине  $\beta_{дл}$  принимается равным: для неторцованных пиломатериалов, а также пиломатериалов и заготовок, не сортированных по длине, — 0,85; для материала одинаковой длины (например, заготовок) — 1.

Коэффициент заполнения штабеля по ширине определяют по табл. 23.

Коэффициент заполнения штабеля по высоте при толщине прокладок 25 мм рассчитывают по отношению

$$\beta_{в} = S / (S + 25),$$

где  $S$  — толщина пиломатериалов, мм.

Таблица 23. Значения коэффициента  $\beta_{ш}$ 

Метод укладки	Пиломатериалы	
	обрезные	необрезные
Со шпациями	0,65	0,43
Без шпаций	0,9	0,6

Продолжительность сушки условного и фактического материала находят расчетом по таблицам, рассмотренным в предшествующем параграфе.

Учет высушенных пиломатериалов ведут параллельно в объеме фактического и объеме условного материала. В учетном журнале сушильного цеха регистрируют фактический объем и характеристику каждого выгруженного из сушильной камеры штабеля. Этот объем по выражению (26) пересчитывают в объем условного матери-

Таблица 24. Удельная производительность сушильных камер в условном материале

Принцип действия камер	Типы камер по циркуляции и транспортировке штабелей	Величина $q_{усл}$ , м <sup>3</sup> /год, при работе на режимах			
		мягких	нормальных	форсированных	высокотемпературных
Периодического действия	С естественной циркуляцией	—	15	—	—
	С циркуляцией слабой интенсивности	—	24	—	—
	С циркуляцией средней интенсивности	19	31	39	—
	С реверсивной циркуляцией большой интенсивности	20	36	47	79
	С нереверсивной циркуляцией большой интенсивности (ЛатНИИЛХП)	—	—	47	69
Непрерывного действия противоточные	С поперечной транспортировкой штабеля	18	40	47	—
	С зигзагообразной циркуляцией	17	38	44	—
	С прямолинейной циркуляцией и продольной транспортировкой	—	23	—	—

ла. 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.

Плановую производительность камеры  $P_{\text{усл}}$  в  $\text{м}^3$  условного материала в год рассчитывают по формуле

$$P_{\text{усл}} = G\beta_{\text{усл}} \cdot 335 / \tau_{\text{об, усл}} = G^* n_{\text{усл}} \quad (30)$$

где  $n_{\text{усл}}$  — удельная производительность камеры в год в условном материале на  $1 \text{ м}^3$  объема штабелей; значения  $n_{\text{усл}}$  для камер основных типов приведены в табл. 24.

### § 43. Техника безопасности при обслуживании сушильных камер и противопожарные мероприятия

К работе по обслуживанию сушильных камер допускаются лица, которые знают их устройство и правила технической эксплуатации. Основную опасность представляют заходы обслуживающего персонала в камеры. Их количество должно быть максимально сокращено, для чего необходимо применять стационарные или дистанционные психрометры, приспособления для закладки и выемки контрольных образцов из коридора управления.

При заходе в камеру оператор сушильной установки должен надевать 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  $25^\circ \text{C}$ .

Паропроводы необходимо теплоизолировать, фланцы соединений паропроводов и калориферов закрыть защитными экранами. Все движущиеся части оборудования сушильных камер должны быть закрыты ограждениями.

В сушильном цехе необходимо периодически проводить обучение персонала правилам охраны труда и техники безопасности, а также инструктаж по производственной санитарии. В цехе должен быть оборудован санитарный пост и стенды с наглядными пособиями по технике безопасности.

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 топки должно быть оборудовано вентиляцией и иметь двери, ведущие наружу. Перед топочным отверстием должны быть установлены 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.

Необходимо выполнять следующие противопожарные требования:

- регулярно <sup>\*</sup> 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 проводить 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 искрогасительной камеры 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 зольного помещения вывозить не ранее чем через 5 сут после ее удаления из топки.

#### § 44. 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 проходит без затрат топлива, электроэнергии, не требует применения специального оборудования. По сравнению с камерной имеет более низкую себестоимость, а 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 насыщения падает.

Под влиянием ветра воздух в штабеле движется в горизонтальном направлении. Однако движение воздуха в сохнувшем штабеле наблюдается и в безветренную погоду. Такое движение 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 штабель, который сохранил более высокую температуру, нагревается в нем и движется вверх. Такое деление 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 пиломатериалов на складе возможно их поражение деревоокрашивающими и дереворазрушающими грибами. Поэтому процесс сушки целесообразно ускорять, применяя разреженную укладку (с большими шпациями) для лучшей продуваемости штабеля. Но при этом появляется другая опас-

ность — 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 климатических особенностей района расположения предприятия. Правила атмосферной сушки и хранения на складах пиломатериалов хвойных пород регламентированы ГОСТ 3808.1—75, пиломатериалов твердых лиственных пород — ГОСТ 7319—74.

По условиям атмосферной сушки вся территория СССР разделена на четыре климатические зоны:

1-я — северная (северные области европейской части РСФСР, север Урала и Сибири);

2-я — северо-западная (Карелия, западные области европейской части РСФСР);

3-я — центральная (Прибалтика, центральные области европейской части РСФСР, Белоруссия, Южная Сибирь);

4-я — южная (южные области РСФСР, Украины, Кавказ, Средняя Азия).

#### **§ 45. Устройство и планировка складов атмосферной сушки**

Склад атмосферной сушки пиломатериалов устраивают на сухом, достаточно проветриваемом участке, очищенном от деревьев и кустарников. Его территорию тщательно выравнивают, обрабатывают химикатами для уничтожения травянистой растительности, покрывают щебенкой и опрыскивают кузбасс-лаком. При высоких грунтовых водах проводят 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, с тем чтобы избежать растрескивания пиломатериалов в сухую жаркую погоду.

Штабель 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, — с севера на юг.

ГОСТ 3808.1—75 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 развозку пиломатериалов на складе осуществляют автолесовозами. Для подъема досок используют штабелеры (см. рис. 53). Раскладывают доски по рядам штабеля вручную.

Пакетные штабеля формируют с помощью автопогрузчиков (см. рис. 55, б), башенных или консольно-козловых кранов. Наиболее рационально применять краны, так как это повышает полезную емкость складов за счет увеличения высоты штабелей и уменьшения ширины проездов. Для развозки сушильных пакетов в этом случае используют автолесовозы. Пиломатериалы в сушильные пакеты укладывают такими же способами, как и при камерной сушке (см. § 32).

При укладке штабелей автопогрузчиками возникает необходимость устройства более широких проездов на складе (для их маневрирования). Высота формируемых штабелей при этом сравнительно небольшая. Автопогрузчики целесообразно использовать на небольших складах.

На рис. 69 приведены схемы планировок склада атмосферной сушки пиломатериалов при рядовой укладке и при пакетной укладке башенным или консольно-козловым кранами. Планировка склада при формировании пакетного штабеля автопогрузчиками 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.

Штабельное основание должно быть прочным, не давать осадки. Его высота должна обеспечивать хорошую проветриваемость низа штабеля и достаточное расстояние нижних досок от грунта, а на затопляемых в половодье участках — от максимального уровня воды. Нормальная высота основания составляет для 1-й и 2-й климатических зон — 0,75 м, 3-й зоны — 0,6—0,7 м и 4-й 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 обязательно пропитаны каменноугольным маслом или другим невымываемым водой антисептиком.

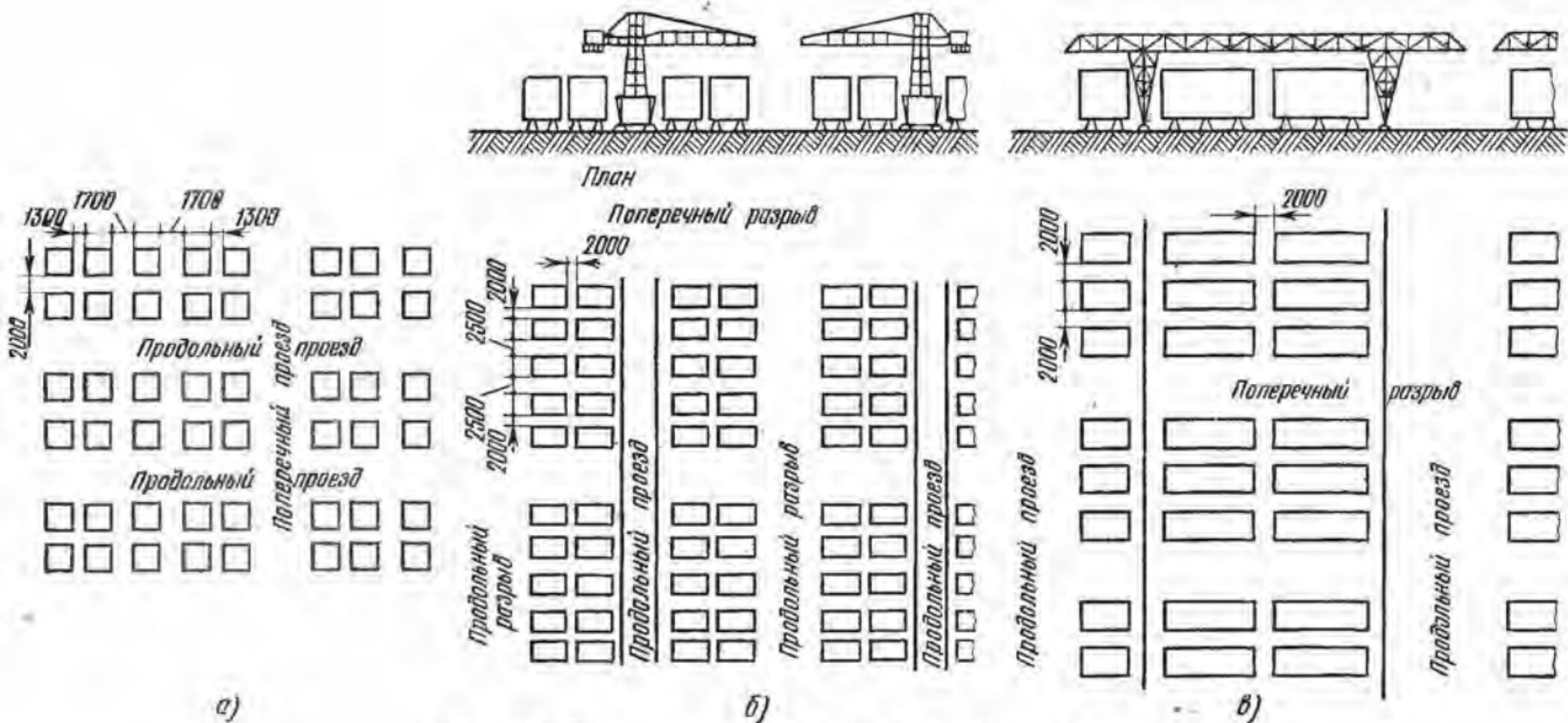


Рис. 69. Схемы планировок складов атмосферной сушки:

а — при рядовой укладке, б — при пакетной укладке башенным краном, в — при пакетной укладке козловым краном

Очень часто опоры делают переносными в виде железобетонных столбиков, имеющих форму усеченной пирамиды со средним поперечным сечением  $0,6 \times 0,6$  м.

Собственно штабель укладывают из одинаковых по породе и толщине досок на прокладках.

В рядовых штабелях в качестве прокладок используют либо сами высушиваемые доски, либо специальные рейки, имеющие поперечное сечение  $25 \times 40$  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 м. Доски укладывают со шпациями.

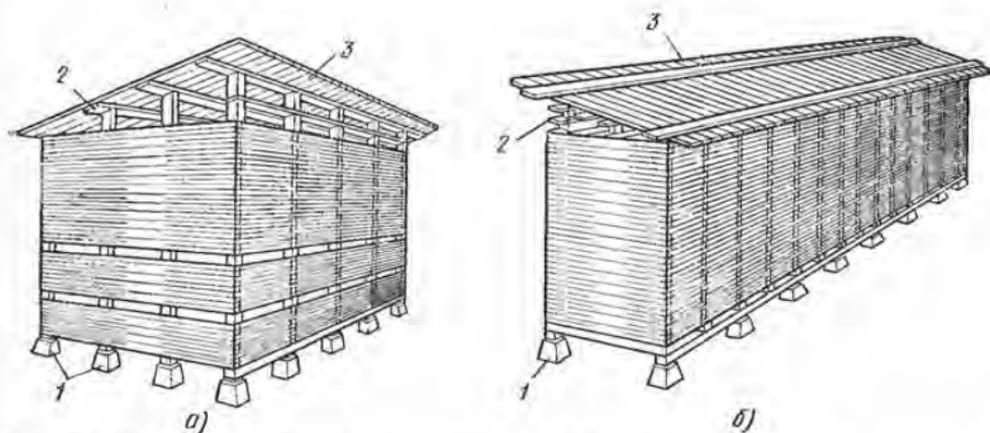


Рис. 70. Рядовые штабеля пиломатериалов хвойных (а) и твердых лиственных (б) пород:

1 — опоры штабельного основания, 2 — подголовники, 3 — крыша штабеля

Штабель, который уложен на прокладках из высушиваемых досок (рис. 70, а), имеет в плане квадратное сечение. Длина и ширина его соответствуют наибольшей длине укладываемых досок (6,5—7 м), а высота составляет 3,5—4 м. Такие штабеля формируют из пиломатериалов хвойных пород. Пиломатериалы лиственных пород укладывают на рейках в более длинные (8—11 м) штабеля (рис. 70, б), имеющие ширину 1,5—2 и высоту 2,5—3 м.

Пакетные штабеля (рис. 71) состоят из одинаковых сушильных пакетов, уложенных в несколько (4—5) горизонтальных рядов. Пакеты 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 4—5, а кранами 5—7 м. Длина штабеля (размер по длине досок) из пиломатериалов хвойных пород равна 6,5—7 м (один пакет), а лиственных — 9—12 м (два-три пакета). Ширина штабеля

зависит от характеристики подъемно-транспортных механизмов и доходит до 30 м.

Плотность укладки пиломатериалов в штабеля определяется шириной шпаций и каналов и зависит от климатических условий, местоположения склада и характеристики материала. Чем выше степень насыщения воздуха и чем хуже проветривается склад, тем реже должна быть укладка досок в штабеля. При прочих равных условиях для сортиментов крупных сечений следует применять более плотную укладку. Необходимо учитывать и календарное вре-

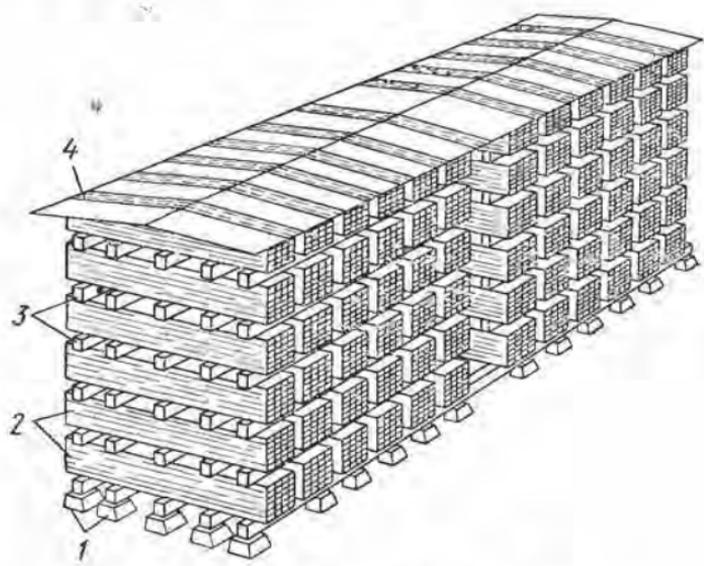


Рис. 71. Пакетный штабель:

- 1 — опоры штабельного основания, 2 — сушильные пакеты, 3 — межпакетные прокладки, 4 — крыша штабеля

мя укладки штабелей: осенью укладывают материал с большими шпациями, чем летом.

Для улучшения воздухопроницаемости рядовых штабелей в их нижней части устраивают горизонтальные разрывы высотой 0,12—0,15 м.

По ГОСТ 3808.1—75 и ГОСТ 7319—74 пиломатериалы условно разделены на три размерно-качественные группы. Для каждой из групп в зависимости от климатических условий стандартами даются рекомендации по размещению и конструкции штабелей, а также плотности их укладки.

Крыша штабеля служит в основном для защиты пиломатериалов от атмосферных осадков и солнечной радиации. Для изготовления крыш применяют здоровые доски 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, на устройство которых используют те же доски, из которых выложен штабель. Подголовники должны располагаться над опорами основания штабеля.

Крышу настилают в два ряда по толщине и по длине с перекрытием стыков досок первого ряда досками второго ряда и с напусками 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 двускатные крыши из заранее подготовленных съёмных 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. Причем для заготовок небольшой толщины навесы делают открытыми, а для заготовок толщиной более 40—50 мм — со стенами из жалюзийных решеток.

#### **§ 46. 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 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 осад-

ков. Следует всегда 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. Для той же цели можно использовать электровлагомеры. Методика определения влажности по образцам такая же, как и при камерной сушке (см. § 39).

Систематически ведут 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 за внутренними напряжениями и деформациями 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 ли-

ственных 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.

Ориентировочную продолжительность атмосферной сушки хвойных пиломатериалов можно определить по диаграмме, приведенной на рис. 72. Сплошные линии характеризуют продолжительность сушки в течение летних месяцев, а пунктирные — в течение весенних и осенних месяцев. Римскими цифрами обозначены климатические зоны. Например, для сушки сосновых досок толщиной 50 мм, уложенных в июне — июле, в III климатической зоне (г. Москва) продолжительность процесса составит в среднем 28 сут.

В теплый период года возможно поражение древесины деструктивными и дереворазрушающими грибами. Поэтому пиломатериалы, выпиливаемые в этот период и предназначенные для атмосферной сушки, следует подвергать антисептированию.

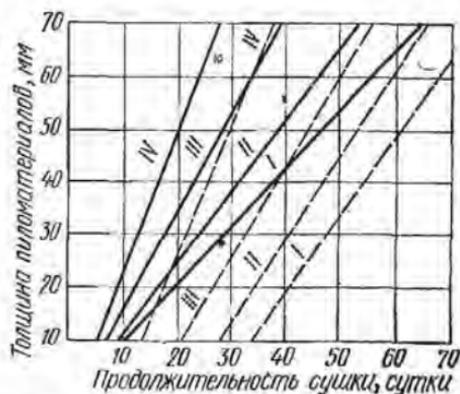


Рис. 72. Диаграмма для определения ориентировочной продолжительности атмосферной сушки сосновых пиломатериалов

Антисептирование заключается в пропитке поверхностных слоев пиломатериалов (на глубину до 1 мм) специальными веществами (антисептиками), обеспечивающими защиту древесины от поражения грибами и плесенью в период сушки.

Для антисептирования применяют 0,5—2%-ные водные растворы антисептиков — препарата ПБТ (ТУ 13-229—75) или пентахлорфенолята натрия (ТУ 6-01-257—74). Антисептирование осуществляют с помощью установки для антисептирования (рис. 73), 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 рас-

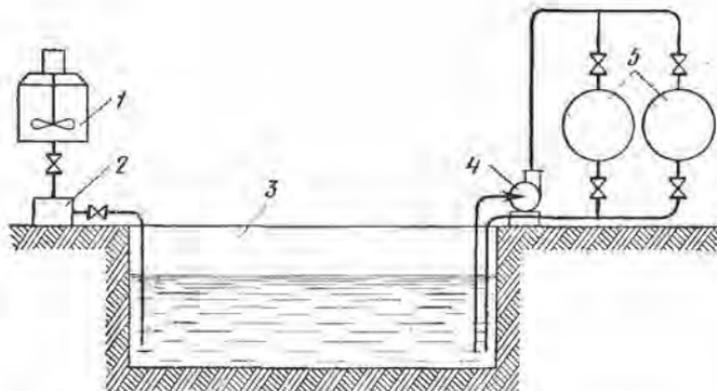


Рис. 73. Установка для антисептирования пакета пиломатериалов:

1 — бак для приготовления раствора, 2 — стабилизатор уровня жидкости в ванне, 3 — ванна, 4 — насос, 5 — баки хранения раствора

твора в периоды чисток ванны. Пакеты в ванну подают (в зависимости от конкретных условий работы предприятия) мостовыми и башенными кранами, автолесовозами, гидроподъемниками от автопогрузчиков и другими подъемно-транспортными механизмами. Наиболее рационально применять для этой цели автолесовоз А-210.

Атмосферная сушка при правильном ее проведении имеет свои преимущества перед камерной: она имеет более низкую себестоимость, так как отсутствуют затраты на тепловую энергию, и обеспечивает сохранение естественных физических свойств древесины, в том числе и ее цвета, что в ряде случаев, например для экспортных пиломатериалов, имеет существенное значение.

К недостаткам атмосферной сушки следует отнести: большую продолжительность и сезонность процесса, невозможность высушить материал до низкой (ниже 18%) конечной влажности, потребность в больших территориях под склады.

Атмосферная сушка рекомендуется к использованию на лесопильных заводах, как законченный процесс сушки экспортных пи-

ломатериалов, товарных пиломатериалов до транспортной влажности, пиломатериалов, предназначенных для конструкций, которые эксплуатируются на открытом воздухе.

Если предприятие выпускает продукцию из древесины с низкой эксплуатационной влажностью, пиломатериалы досушивают в камерах. Комбинирование атмосферной сушки с камерной имеет по сравнению только с камерной сушкой значительные преимущества: более низкую себестоимость процесса, поскольку значительная часть влаги удаляется из древесины без затрат на тепловую энергию; повышение качества сушки вследствие подачи в камеры пиломатериалов, имеющих небольшой диапазон колебаний начальной влажности.

### § 47. Интенсификация процессов атмосферной сушки

В последнее время получила распространение интенсифицированная атмосферная сушка. Большая продолжительность процесса атмосферной сушки связана не только с низкой температурой су-

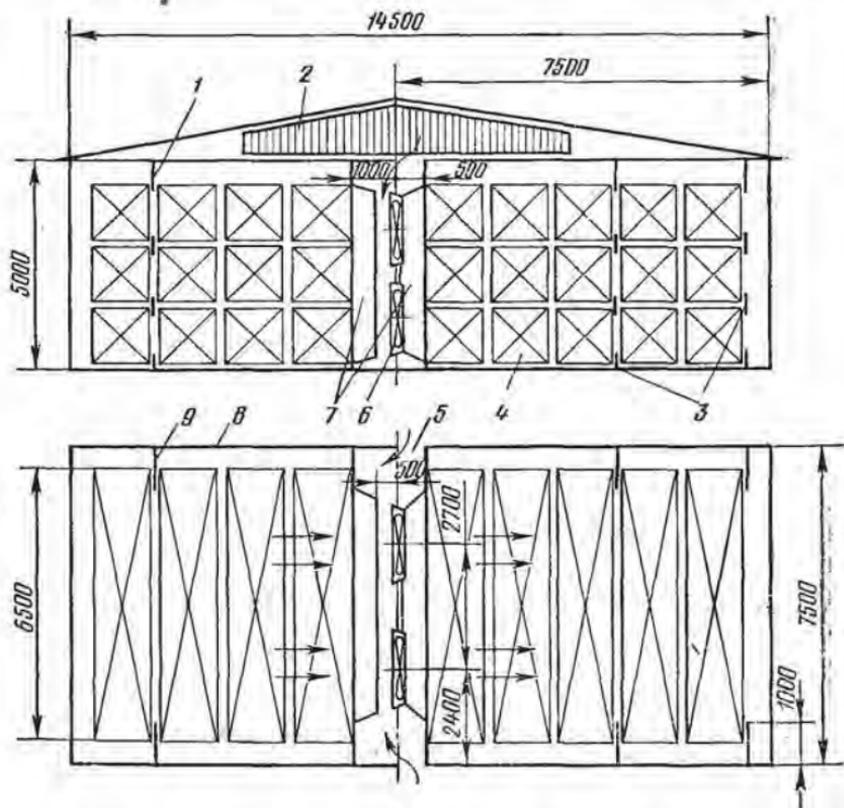


Рис. 74. Схема вентиляторной установки периодического действия:

- 1 — потолочный поворотный экран, 2 — жалюзийная решетка чердачного помещения, 3 — щитки, 4 — пакет пиломатериалов, 5 — боковой разрыв туннеля, 6 — вентилятор, 7 — диффузоры, 8 — туннель, 9 — боковые поворотные экраны

шилового 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, которые смонтированы в переносных или стационарных экранах, располагают таким образом, чтобы обеспечить равномерную интенсивную циркуляцию воздуха в штабелях.

На рис. 74 показана схема вентиляторной установки периодического действия, предназначенной для ускоренной атмосферной сушки.

В туннель 8, имеющий облегченную деревянную конструкцию, загружают одновременно 27 сушильных пакетов пиломатериалов общей вместимостью 100—130 м<sup>3</sup>. Принудительная циркуляция воздуха в туннеле создается четырьмя осевыми вентиляторами У12 № 16.

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.

На рис. 75 дана схема вентиляторной установки непрерывного действия с поперечной транспортировкой штабелей в туннеле. Вентиляторы 1 монтируют в дверях 2 установки, при работе они нагнетают воздух в туннель. Штабеля перемещают автопогрузчиками.

По данным ЦНИИМОДа, принудительная циркуляция воздуха в установках подобного типа обеспечивает сокращение продолжительности атмосферной сушки в 2—3 раза и повышение качества высушенных пиломатериалов вследствие уменьшения количества торцовых трещин, синевы и более равномерного просыхания материала.

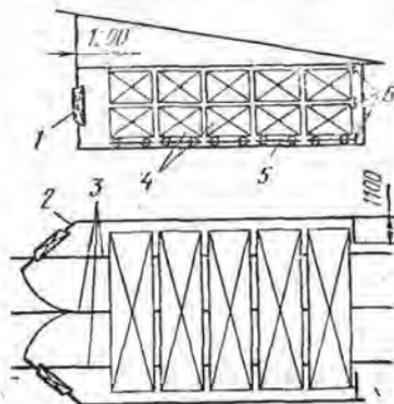


Рис. 75. Схема вентиляторной установки непрерывного действия:

1 — вентилятор, 2 — дверь, 3 — рельсовые пути, 4 — пакеты пиломатериалов, 5 — подштабельная тележка, 6 — экраны

**ОСОБЫЕ СПОСОБЫ СУШКИ  
ПИЛОМАТЕРИАЛОВ****§ 48. Диэлектрическая сушка**

Древесина, которая помещена между пластинами конденсатора высокочастотного колебательного контура, нагревается за счет диэлектрических потерь. Выделение тепла в результате диэлектрических потерь связано с колебательным движением молекул материала, находящихся в электрическом высокочастотном поле. Тепло генерируется внутри материала равномерно по его объему, а не подводится извне, как при других способах сушки.

Электрическая энергия, потребляемая древесиной и превращающаяся в тепловую, расходуется первоначально на нагревание материала, испарение из него влаги и тепловые потери с поверхности материала в окружающую среду; затем (после прогрева) — только на испарение влаги и тепловые потери.

Способ удаления влаги из материала, основанный на этом принципе, получил название **диэлектрической сушки**.

Установка для диэлектрической сушки (рис. 76) 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.

Затраты энергии в период сушки имеют место в поверхностной зоне сортамента. Температура на поверхности за счет испарения влаги и тепловых потерь оказывается ниже температуры внутренних зон, а влажность поверхности ниже (за счет испарения), чем внутри материала. Таким образом, имеют место положительные перепады температуры и влажности. Одинаковое направление движения влаги путем влаго- и термовлагопроводности изнутри на поверхность существенно ускоряет сушку. Если температура древесины будет превышать температуру точки кипения воды, то внутри возникает избыточное давление (вследствие кипения влаги) и интенсивность сушки возрастет в еще большей степени.

При большой мощности генератора и малых объемах древесины продолжительность диэлектрической сушки может быть сокращена по сравнению с камерной в 50—60 раз. В производственных условиях получаемый эффект значительно меньше вследствие возникновения в древесине больших внутренних напряжений при очень интенсивной сушке, которые приводят к браку.

Диэлектрическая сушка с размещением рабочего конденсатора на открытом воздухе или в обычном помещении характеризуется очень высоким расходом электроэнергии и не обеспечивает достаточно высокого, качества получаемого материала. В настоящее время она для сушки пиломатериалов не применяется.

Более рациональна камерно-диэлектрическая сушка. Особенность этого способа сушки состоит в том, что рабочий конденсатор установки расположен в обычной сушильной камере, снабженной калориферами, увлажнительными трубами и циркуляционной установкой. Достоинство такой сушки в том, что расход тепла на процесс компенсируется не только энергией высокочастотного электрического поля, но и более дешевой энергией пара. При камерно-диэлектрической сушке можно получить высушенный материал высокого качества, с малыми внутренними напряжениями и даже совсем без них. Для этого в камере следует поддерживать высокую степень насыщения воздуха (для предотвращения пере-

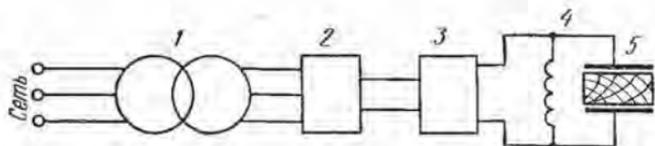


Рис. 76. Блок-схема установки для диэлектрической сушки:

1 — трансформатор, 2 — выпрямитель, 3 — генератор, 4 — колебательный контур, 5 — конденсатор

сушки поверхности) при одновременном высокочастотном нагреве древесины, обеспечивающем испарение влаги внутри материала. При таких условиях и надлежащем регулировании процесса сушки можно вести с малым перепадом влажности по толщине и даже перепадом обратного знака. Для сортиментов, содержащих сердцевинную трубку, этот способ является единственным, который обеспечивает их высушивание без радиальных трещин. Продолжительность камерно-диэлектрической сушки пиломатериалов в 4—5 раз меньше по сравнению с обычной конвективной сушкой такого же материала нормальными режимами.

Основным агрегатом камерно-диэлектрической сушильной камеры является высокочастотный генератор. Для двухштабельной сушильной камеры с нормальными штабелями требуется генератор с колебательной мощностью 45—50 кВт и частотой 500—1000 кГц.

Коэффициент полезного действия генераторов сравнительно мал (0,5—0,6). Поэтому расход электроэнергии на сушку достаточно велик—1,5—2 кВт·ч/кг испаряемой влаги. Ее целесообразно применять для сушки толстых сердцевых сортиментов, где сокращение брака от растрескивания окупает повышенные затраты на электроэнергию.

## § 49. Сушка в жидкостях

Жидким сушильным агентом могут быть гидрофобные жидкости, т. е. жидкости, не смешивающиеся с водой и не растворяющиеся в ней (масла, парафины, расплавленные металлы, сера), и водные растворы гигроскопических минеральных солей.

Способ сушки древесины в гидрофобных жидкостях применяется сейчас как вспомогательная операция перед пропиткой. В качестве сушильного агента используется петролатум — воскообразное вещество, являющееся отходом при перегонке нефти\*.

Сушка в гидрофобных жидкостях является высокотемпературным процессом, имсущим, однако, особенности. Между жидкостью



Рис. 77. Кривые изменения температуры древесины во времени при жидкостной сушке

и погруженной в нее древесиной отсутствует влагообмен. Сушка может проходить только при температуре жидкости выше температуры точки кипения воды при данном давлении. Внутри древесины вследствие кипения влаги создается избыточное давление, под действием которого пар выходит в атмосферу, преодолевая сопротивление древесины и слоя жидкости над материалом. Таким образом, основным видом переноса влаги является молярное движение под действием перепада давления.

Продолжительность жидкостной сушки лимитируется в основном интенсивностью перемещения тепла в высушиваемом материале и мощностью теплообменника сушильной установки.

После погружения сырого древесного сортимента в жидкость, имеющую температуру  $t_c$ , на его поверхности температура сразу (рис. 77) доходит до точки кипения  $t_x$ , а затем быстро становится равной температуре среды  $t_c$ . Температура центральной зоны поддерживается постоянной, на уровне температуры точки кипения до тех пор, пока из этой зоны не будет удалена вся свободная влага. Затем она постепенно повышается и становится равной температуре среды, когда влажность центральной зоны уравнивается с равновесной влажностью. Сушку в гидрофобных жидкостях можно проводить при атмосферном давлении или давлении ниже атмосферного (в вакууме).

Наиболее простой по применяемому оборудованию и технологии является сушка пиломатериалов при атмосферном давлении в ваннах, заполненных нагретым до 120—130° С петролатумом.

Дополнительным преимуществом петролатумной сушки являет-

\* В технической литературе сушку древесины в петролатуме часто называют петролатумной сушкой.

ся малая продолжительность процесса, не превышающая 6—8 ч для тонких и 30—40 ч для толстых пиломатериалов.

Недостатками этого способа являются: загрязнение поверхности древесины, что затрудняет ее обработку на станках; низкое качество сушки, связанное со значительным перепадом влажности по толщине и большими внутренними напряжениями (влаготеплообработку проводить в сушильной установке нельзя); невозможность высококачественного склеивания и отделки древесины из-за остатков петролатума на поверхности; сравнительно большой расход петролатума вследствие пропитки им поверхностных слоев древесины (25—40 кг/м<sup>3</sup> древесины). Эти недостатки ограничивают использование петролатумной сушки на деревообрабатывающих предприятиях.

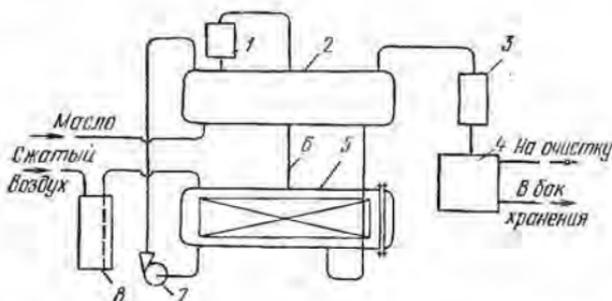


Рис. 78. Схема установки для совмещенной сушки-пропитки древесины:

1 — пеногаситель, 2 — маневровый автоклав, 3 — конденсатор, 4 — сборник конденсата, 5 — рабочий автоклав, 6 — трубопровод, 7 — насос, 8 — мерник

Областью рационального применения рассматриваемого способа является сушка древесины перед ее пропиткой антисептическими маслянистыми жидкостями. В этом случае в качестве агента сушки используют пропиточное масло. Процесс сушки и последующей пропитки проходит в автоклаве (автоклав представляет собой цилиндрический герметичный сосуд, в котором можно создавать избыточное давление). Такой способ применяется для обработки столбов линий электропередачи и связи, шпал и других крупномерных сортиментов. Он получил название **совмещенная сушка-пропитка**.

Установка для совмещенной сушки-пропитки (рис. 78) состоит из рабочего автоклава 5, маневрового автоклава 2, циркуляционного насоса 7, конденсатора 3, сборника конденсата 4, мерника 8, пеногасителя 1. Маневровый автоклав и пеногаситель оборудованы гладкотрубными калориферами.

Сушку древесины осуществляют следующим образом. В маневровом автоклаве пропиточное масло нагревают до температуры около 130° С, а затем им заполняют рабочий автоклав, который предварительно загружают обрабатываемыми сортиментами. Далее

включают циркуляционный насос, создавая тем самым в рабочем автоклаве продольную циркуляцию агента обработки. Масло, охлажденное при прохождении через высушиваемый материал, насосом подается в маневровый автоклав, где нагревается до заданной температуры ( $130^{\circ}\text{C}$ ), а затем самотеком поступает в рабочий автоклав. Пары влаги и масла, а также образующаяся при сушке пена из рабочего автоклава по трубопроводу *б* поступают в пеногаситель, а затем в маневровый автоклав. Пена, попадая на поверхность калориферов пеногасителя и маневрового автоклава, разрушется, а пары поступают в конденсатор; далее конденсат воды и масла поступает в сборник. После отделения воды от масла воду направляют на очистные сооружения, а масло перекачивают в баки хранения. Окончив сушку, древесину пропитывают. Для этого рабочий автоклав отсоединяют от маневрового и создают в нем избыточное давление сжатым воздухом через мерник. Продолжительность сушки зависит от характеристики высушиваемых сортиментов и требуемой конечной влажности древесины. Она колеблется в пределах от 3 до 20 ч.

Определенный интерес представляет способ сушки в концентрированных нагретых растворах солей, например в насыщенном растворе нитрата натрия ( $\text{NaNO}_3$ ). Температура раствора при такой сушке должна быть выше температуры точки кипения воды. Перемещение влаги проходит под действием избыточного давления и разности парциальных давлений пара над поверхностью воды и над поверхностью раствора. Такой способ найдет промышленное применение для сушки пиломатериалов из труднопроницаемой для жидкостей древесины, например лиственницы.

## § 50. Индукционная сушка

Индукционная сушка пиломатериалов основана на следующем.

Штабель пиломатериалов (рис. 79) с уложенными между рядами досок 3 ферромагнитными элементами 4 (сетками из мягкой полосовой стали) помещают в электромагнитное поле промышленной частоты (50 Гц), образованное во внешнем по отношению к штабелю соленоиде 2. Соленоид монтируется внутри сушильной камеры 1 (снабженной системой циркуляции) из проводников больших сечений. Ферромагнитные элементы, нагревающиеся индуктивными токами, передают тепло древесине путем непосредственного контакта (кондуктивным способом) и путем конвекции от циркулирующего воздуха.

Соленоид состоит из нескольких секций, которые подключают к сети трехфазного тока последовательно, параллельно, на «звезду» или «треугольник». Температура сеток регулируется путем изменения напряженности электромагнитного поля, что достигается различными вариантами включения соленоида.

В процессе сушки температура древесины при этом способе выше, чем температура окружающей среды, в результате чего в шта-

беле создается положительный температурный перепад, который интенсифицирует процесс удаления влаги из материала.

Продолжительность индукционной сушки в два раза меньше по сравнению с камерной сушкой пиломатериалов нормальными режимами.

Способ характеризуется примерно таким же расходом электроэнергии, как и камерно-диэлектрическая сушка. Себестоимость индукционной сушки примерно в два раза выше себестоимости камерной сушки. Этот способ не обеспечивает удовлетворительно качества высушенного материала. Имеет место большая неравномерность просыхания материала, местные перегревы, большие внутренние напряжения. Поэтому индукционная сушка не может быть рекомендована для широкого промышленного внедрения. Она допустима на мелких предприятиях, испытывающих затруднения с пароснабжением, для сушки пиломатериалов по III категории качества.

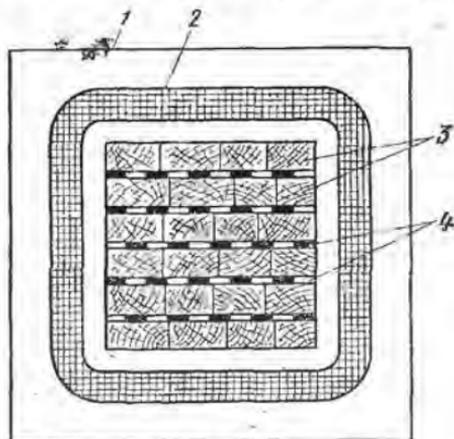


Рис. 79. Схема установки для индукционной сушки:

1 — камера, 2 — солеиод, 3 — ряды досок штабеля, 4 — ферромагнитные элементы сетки

## § 51. Вакуумная сушка

При вакуумной сушке штабель пиломатериалов помещают в герметичную камеру или автоклав, где вакуум-насосом создают пониженное давление.

Можно выделить три основных разновидности вакуумной сушки: сушку при постоянном во времени вакууме, сушку со сбросом давления и вакуумно-диэлектрическую сушку.

Сушка древесины при постоянном во времени вакууме не имеет преимуществ перед обычной конвективной сушкой и поэтому не применяется.

Сушка со сбросом давления используется в промышленности как предварительная обработка древесины перед ее пропиткой. Она проходит в два этапа. На первом этапе древесину нагревают. Для этой цели используют только пропарку (можно применять нагрев в высокочастотном поле). На втором этапе нагретую древесину выдерживают в вакууме глубиной 0,08—0,085 МПа. Если древесина была прогрета до температуры, превышающей температуру точки кипения воды при заданном пониженном давлении, то за счет тепла, аккумулированного древесиной в период нагрева, происходит кипение влаги в полостях клеток. Влага в виде пара удаляется из древесины под действием избыточного давления. Количество удаляемой влаги сравнительно невели-

ко (влажность понижается на 15—30%) и зависит от степени нагрева, глубины вакуума, продолжительности выдержки в нем, характеристики древесины. Сушку со сбросом давления проводят иногда двумя-тремя циклами. Однако следует иметь в виду, что 80—90% от общего количества удаленной влаги приходится на первый цикл.

При вакуумно-диэлектрической сушке (рис. 80) электроды рабочего конденсатора 2 высокочастотной установки 1

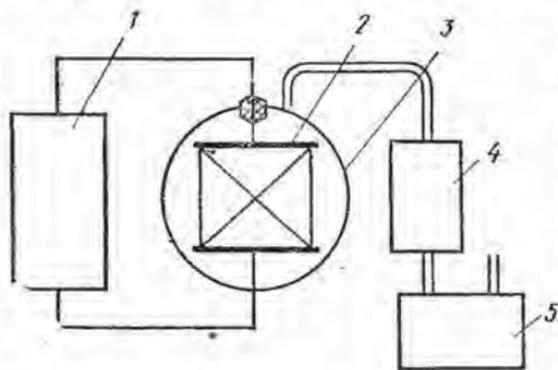


Рис. 80. Схема установки для вакуумно-диэлектрической сушки:

1 — генератор ТВЧ, 2 — обкладки конденсатора, 3 — автоклав, 4 — конденсатор, 5 — вакуум-насос

монтируют внутри герметичной камеры или автоклава 3. Расход тепла на нагревание древесины и испарение из нее влаги компенсируется, как и при диэлектрической сушке, энергией высокочастотного электромагнитного поля. Часть испарившейся из древесины влаги в виде пара отсасывается из сушилки вакуумнасосом 5, через конденсатор 4, а часть влаги конденсируется на внутренней поверхности ограждений и может удаляться

в жидкой фазе. Особенность этого процесса состоит в том, что древесина сохнет в среде почти чистого пара высокой степени насыщенности. Благодаря этому, как и при камерно-диэлектрической сушке, процесс проходит при малом перепаде влажности по толщине сортиментов и малых внутренних напряжениях в них.

Достоинством вакуумно-диэлектрической сушки является то, что удаление влаги из древесины проходит при сравнительно низкой температуре (вследствие снижения температуры точки кипения воды при пониженном давлении), а следовательно, без изменения физических свойств и прочности древесины.

## § 52. Особенности сушки шпона

Шпоном называют тонкие листы древесины, которые получают из кряжей путем лущения (лущеный шпон) или строгания (строганный шпон).

Строганный шпон используют мебельные предприятия как облицовочный материал, а лущеный шпон идет на производство фанеры и древеснослойных 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 в пределах 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 за влажностью шпона ведут преимущественно весовым способом (§ 7) путем взвешивания и высушивания проб. Для обеспечения достаточной точности контроля пробы (куски шпона) должны 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 4 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 температурными 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 делятся по способу подвода тепла на три группы: кондуктивные, конвективно-кондуктивные и конвективные.

К кондуктивным сушилкам относится дыхательный пресс. Листы шпона закладывают между горячими горизонтальными

ми плитами пресса, которые в процессе сушки периодически смыкаются и размыкаются. Тем самым обеспечивается весьма интенсивная передача тепла 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 ограниченном количестве 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 одновременно кондуктивным способом от нагретых роликов, радиацией от нагревательных элементов (калориферов) и конвекцией от циркулирующего сушильного агента (воздуха или газозооной смеси).

В конвективных сушилках тепло передается шпону только конвекцией. Сушилки этой группы для сушки сырого лушеного и строганого шпона в нашей стране практически не применяются.

Основными агрегатами для сушки шпона являются роликовые сушилки.

### § 53. Типы роликовых сушилок

Роликовые сушилки представляют собой установки непрерывного действия с принудительной многократной циркуляцией. Сушилки устраивают многоэтажными, т. е. роликовые конвейеры, по которым параллельно движутся листы шпона, располагают один над другим в несколько рядов (от 3 до 8). Длина сушилок от 8 до 32 м, а расстояние между осями роликов от 145 до 200 мм. Сушилки с малым расстоянием между роликами предназначены для сушки тонкого (0,4—1 мм) а с большим расстоянием — для сушки толстого (1,7—4 мм) шпона.

По виду сушильного агента различают воздушные и газовые роликовые сушилки, а по характеру циркуляции сушильного агента — на сушилки с продольной (относительно шпона), поперечной циркуляцией и сопловым дутьем. Схемы движения сушильного агента в роликовых сушилках представлены на рис. 81.

В сушилках с продольной циркуляцией (рис. 81, а) поток сушильного агента направлен параллельно плоскости листов шпона, перпендикулярно осям роликов. Распределение скорости циркуляции по высоте этажа неравномерное. Ролики препятствуют омыванию шпона. Скорость движения сушильного агента у поверхности шпона оказывается очень низкой.

В сушилках с поперечной циркуляцией (рис. 81, б) поток сушильного агента направлен вдоль роликов, перпендикуляр-

но направлению движения шпона. Скорость движения агента сушилки у поверхности шпона значительно больше, а интенсивность сушилки на 15—30% выше, чем в сушилках с продольной циркуляцией.

В сушилках с сопловым дутьем (рис. 81, в) сушильный агент подается на шпон с двух сторон (перпендикулярно плоскости листов) из коробов 5 через сопла 6, расположенные между ро-

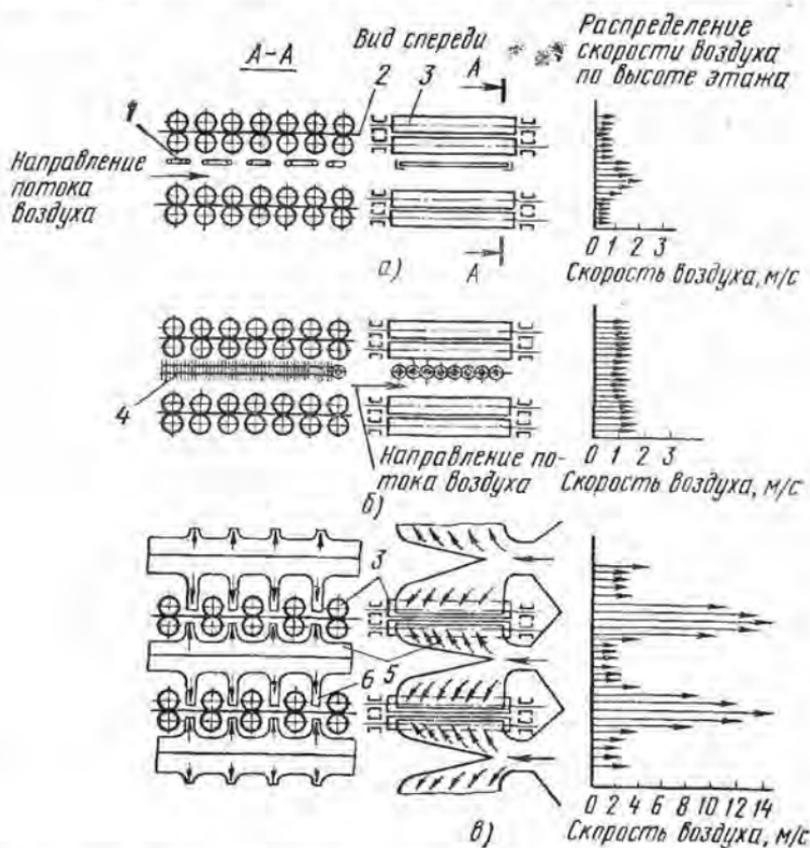


Рис. 81. Схемы циркуляции сушильного агента в роликовых сушилках: а — продольная, б — поперечная, в — сопловое дутье; 1 — змеевиковый калорифер, 2 — шпон, 3 — ролики, 4 — ребристый калорифер, 5 — коробы, 6 — сопла

ликами. Скорость движения сушильного агента на поверхности листов шпона достигает 15 м/с. Интенсивность процесса в этих сушилках в два раза выше, чем в сушилках с поперечной циркуляцией.

Продолжительность сушки шпона в роликовых сушилках зависит не только от скорости циркуляции сушильного агента, но в большей степени от его температуры. В воздушных сушилках температура воздуха не превышает 130° С. По данным ЦНИИФа, без ущерба для качества высушенного шпона температура может быть повышена на первом этапе процесса (при удалении свободной вла-

ти) до 300—350° С, а на втором (при удалении связанной влаги) — до 130—200° С. Сроки сушки сокращаются при этом в 2—3 раза. Такие режимы сушки были впервые реализованы в газовых сушилках. В настоящее время газовые сушилки конструируются по схемам с продольной циркуляцией и сопловым дутьем.

## § 54. Воздушные роликовые сушилки

Из сушилок с продольной циркуляцией наибольшее распространение получили отечественная сушилка СУР-3 и зарубежные сушилки «Вяртсиля», «Валмет», «Зимпелькамп», «КОЭ». Общий вид сушилки СУР-3 приведен на рис. 82.

Корпус сушилки состоит из восьми секций одинаковой конструкции, имеющих длину 1,62 м 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 ее каркаса, изготовленные из профильной стали. Верхнее перекрытие смонтировано из профильной и листовой стали и теплоизолировано минеральной ватой. Торцы сушилки ограждены установленными между рядами роликов металлическими теплоизолированными перегородками.

Сушилка имеет пять этажей. Шпон перемещается парными роликами, вращающимися в противоположных направлениях. Расстояние между осями роликов 140 мм, их диаметр 95—102 мм, а длина 3700 мм. Нижние ролики являются ведущими, они приводятся в движение от бесконечных цепей через звездочки, закрепленные 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 центробежными вентиляторами 2, расположенными на одной оси и приводимыми во вращение электродвигателем 1. Воздух из секции I через боковые воздухопроводы 9 вентиляторами подается в верхний горизонтальный канал 4, где нагревается в пластинчатых 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 неплотности в ограждениях. Нагрев воздуха, помимо пластинчатых калориферов, осуществляется внутренними гладкотрубными калориферами, расположенными между этажами, а также над верхним и под нижним рядами роликов.

Охлаждение шпона в секциях VII и VIII проходит следующим образом. Свежий холодный воздух центробежным вентилятором 5 из воздуховода 6 подается в секции через боковой канал 11. Внут-

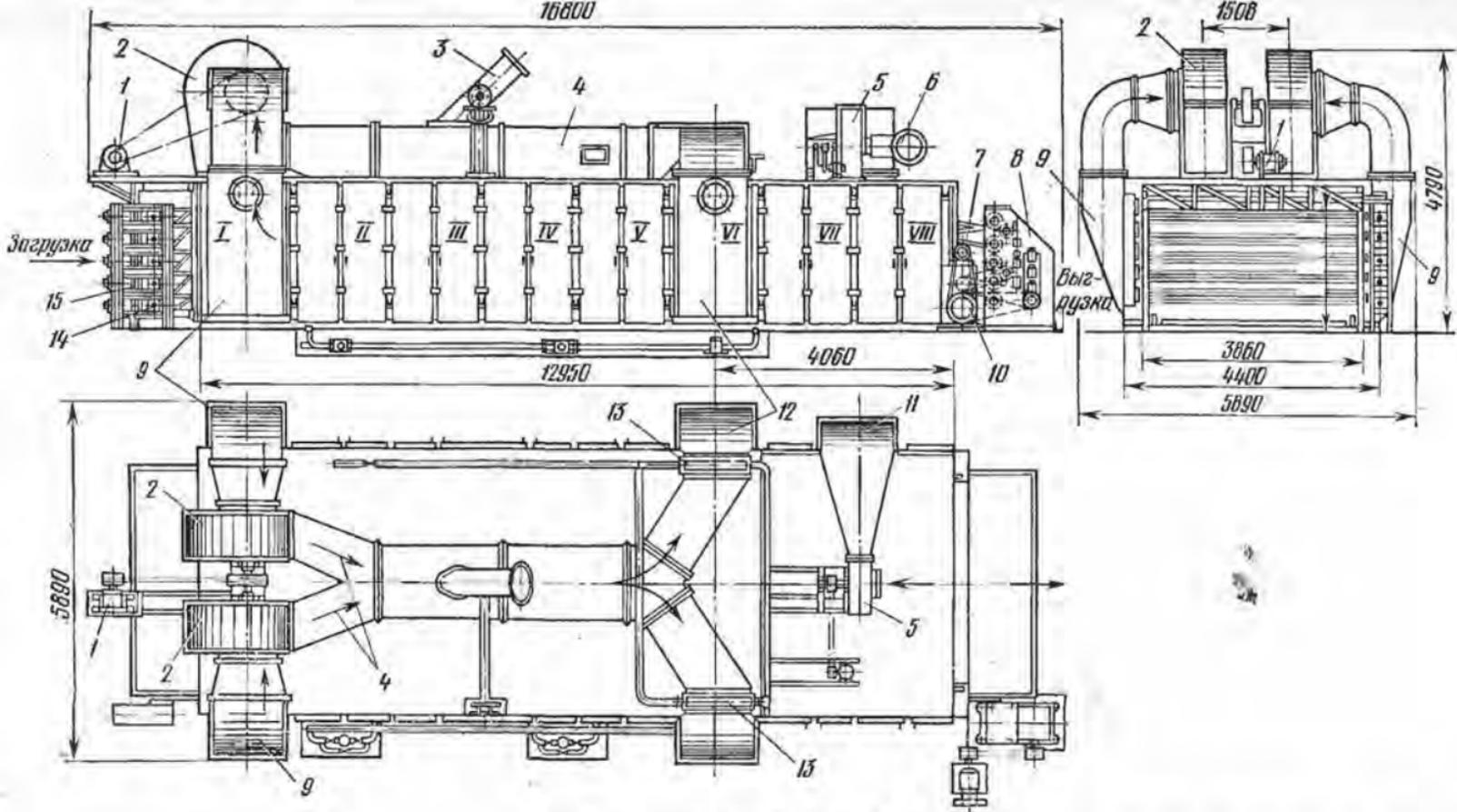


Рис. 82. Роликовая сушилка СУР-3:

1 — электродвигатель, 2 — вентилятор, 3 — вытяжная труба, 4 — циркуляционный канал, 5 — вентилятор секций охлаждения, 6 — воздуховод подачи свежего воздуха, 7 — регулятор скорости движения цепей, 8 — лебедка, 9, 12 — боковые воздуховоды, 10 — электродвигатель привода цепей, 11 — боковой канал секций охлаждения, 13 — калориферы, 14 — ведомые звездочки, 15 — натяжная станция; I—VI — секции суши, VII, VIII — секции охлаждения

при секций воздух движется вдоль роликов и затем удаляется в атмосферу.

Технические характеристики различных сушилок с продольной циркуляцией приведены в табл. 25.

Роликовые сушилки с поперечной циркуляцией СУР-4 и СУР-5 отличаются одна от другой только длиной.

Сушилка камеры СУР-4 (рис. 83) состоит из загрузочной этажерки с приводными роликами, восьми секций сушилки I—VIII, одной секции охлаждения IX и разгрузочной этажерки из пяти плоских полок. Циркуляция воздуха осуществляется десятью осевыми

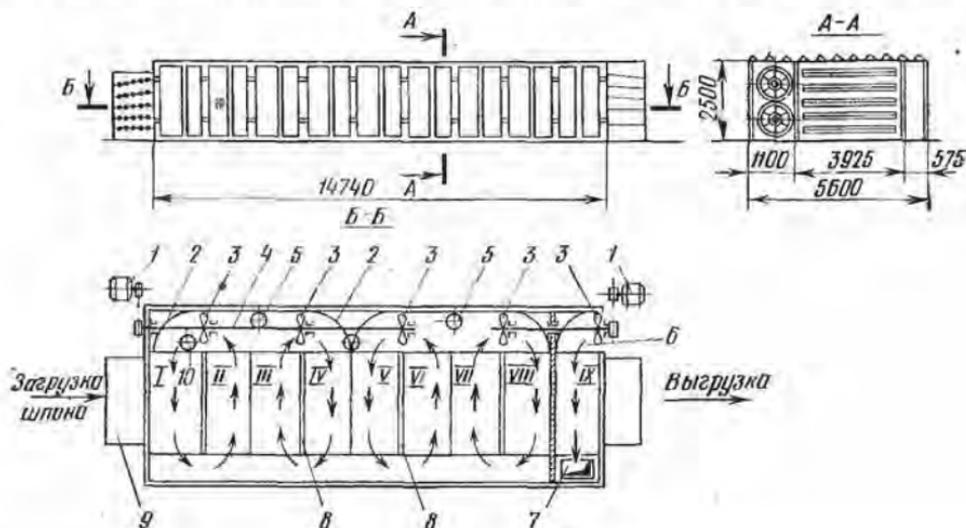


Рис. 83. Роликовая сушилка СУР-4:

1 — электродвигатель, 2 — экраны, 3 — вентиляторы, 4 — вентиляционный вал, 5 — приточная труба, 6 — патрубок подачи холодного воздуха, 7 — труба, 8 — перегородки, 9 — загрузочная этажерка, 10 — вытяжная труба

вентиляторами 3, размещенными двумя рядами по вертикали в левом боковом коридоре сушилки. Восемь вентиляторов обслуживают секции сушилки и два — камеру охлаждения.

Вентиляторные валы 4 имеют привод от двух электродвигателей 1, установленных в торцах бокового коридора. Подшипники валов имеют водяное охлаждение.

Вентиляторы засасывают воздух из секций II, III, VI, VII и нагнетают его в смежные секции I, IV, V, VIII, осуществляя тем самым поперечную циркуляцию. Для снижения аэродинамических сопротивлений в коридорах установлены экраны 2. Для разделения зон с различным направлением потока внутри сушилки смонтированы перегородки 8, имеющие щелевые отверстия для прохода шпона. Вытяжные 10 и приточные 5 трубы установлены соответственно на напорной и всасывающей сторонах вентиляторов. В камеру охлаждения холодный воздух поступает через патрубок 6 и выбрасывается в атмосферу через трубу 7. Воздух в сушилке нагревается

внутренними калориферами из ребристых труб, установленными поперек воздушного потока. Трубы расположены вблизи роликов, что повышает роль передачи тепла роликам и шпону путем излучения. Технические характеристики сушилок СУР-4 и СУР-5 даны в табл. 25.

ЦНИИФом разработана конструкция сопловой роликовой сушилки СУР-8 (рис. 84). Она состоит из подъемника 1, механизма

Таблица 25. Технические характеристики роликовых сушилок

Показатели	Воздушные сушилки с паровым обогревом					Газовые сушилки	
	с продольной циркуляцией воздуха		с поперечной циркуляцией воздуха		радиационно-сопловые	с продольной циркуляцией сушильного агента	
	СУР-3	Варгский*	СУР-4	СУР-5	СУР-8	СРГ-25М	СРГ-50
Длина сушилки, м:							
рабочая	12,96	16,2	14,58	8,1	17,28	13,12	23,92
габаритная	16,8	19,4	19,86	13,38	30,0	24,0	34,0
Габаритная ширина (по воздуховодам), м	5,89	6,4	5,6	5,6	8,0	6,0	6,0
Габаритная высота, м	4,79	4,79	3,5	3,5	5,0	3,8	3,8
Число секций:							
всего	8	8	9	5	9	12	22
в том числе секций охлаждения	2	1	1	1	4	2	2
Число этажей	5	5	5	5	5	8	8
Расстояние между осями роликов, мм	140/200	200	162	162	230	180	180
Количество циркулирующего воздуха или газа, м <sup>3</sup>	50 000	32 000	68 000	40 000	560 000	80 000	160 000
Поверхность нагрева калориферов, м <sup>2</sup>	357	620—760	2600	1300	1636	—	—
Мощность электродвигателей, кВт	35,6	22	50	36	280	140	200
Расход пара, кг/м <sup>3</sup> шпона	1200	1080	1100	1200	940	—	—
Расход древесного топлива, лл. м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> шпона	—	—	—	—	—	0,35	0,35
Часовая производительность, м <sup>3</sup> шпона (береза толщиной 1,5 мм; W <sub>к</sub> =6%)	0,8—1	1,4—1,6	1,5—2	0,8—1,0	3,8—4,3	3—3,5	6,6—7

загрузки 2, восьми секций сушки 3, камеры охлаждения 4 и механизма выгрузки шпона 5.

В нижней части каждой секции расположены приводные ролики 7 и радиационно-сопловые короба 6, а в верхней части — осевой вентилятор 8 с приводом и пластинчатые калориферы 9.

Конструктивной особенностью сушилки является устройство и размещение коробов, показанное на рис. 84, I. Сопловые короба расположены в межэтажном пространстве и выполнены в виде ка-

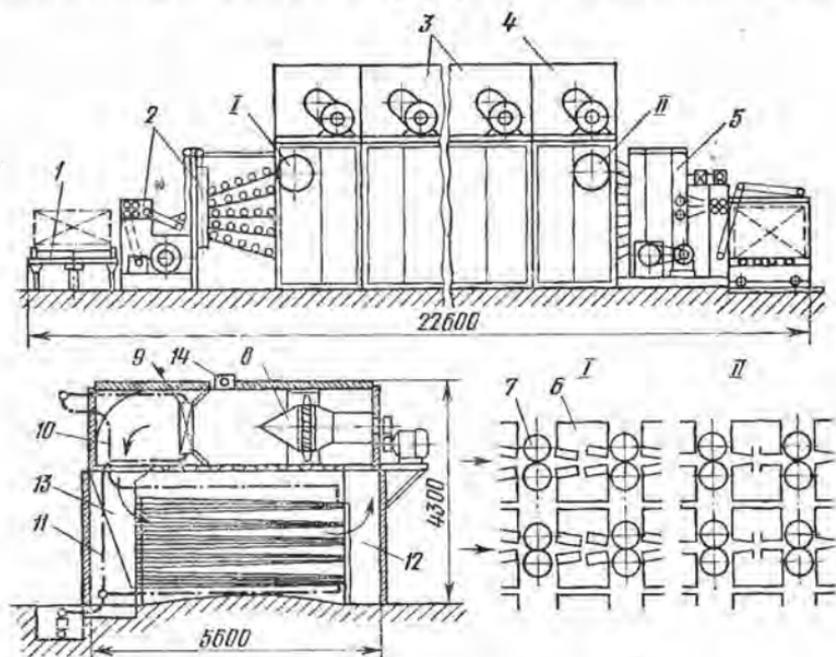


Рис. 84. Роликовая сушилка СУР-8:

1 — подъемник, 2 — механизм загрузки, 3 — секции сушки, 4 — камера охлаждения, 5 — механизм выгрузки шпона, 6 — радиационно-сопловые короба, 7 — приводные ролики, 8 — вентилятор, 9 — калориферы, 10 — паропровод, 11 — труба отвода конденсата, 12, 13 — боковые коридоры, 14 — выхлопной канал; I — поперечный разрез коробов в секциях сушки, II — поперечный разрез коробов в камере охлаждения

налов переменного сечения из листовой стали. Стенка канала, обращенная к листу шпона, сформирована из двух труб прямоугольного (как показано на рисунке) или круглого сечения, между которыми имеется щель (сопло) для подачи нагретого воздуха на поверхность шпона. Эти трубы обогреваются подаваемым в них водяным паром и служат для дополнительного нагревания воздуха и для передачи тепла шпону радиацией. В зоне охлаждения нагревательные трубы в коробах отсутствуют (рис. 84, II). Циркуляция воздуха в сушилке осуществляется следующим образом. Вентилятор засасывает воздух из правого бокового коридора 12 и нагнетает его через пластинчатый калорифер в левый боковой коридор 13, а из коридора — в сопловые короба. Из щелей сопловых коробов воздух со скоростью 10—12 м/с по всей ширине сушильного про-

странства выбрасывается перпендикулярно поверхности шпона, перемещаемого роликами вдоль сушилки. Далее воздух поперек сушилки поступает в правый коридор 12 и далее к вентилятору на рециркуляцию. Отработавший воздух частично выбрасывается через канал 14, а взамен его свежий подсасывается через неплотности в ограждениях. Пар к нагревательным устройствам подается по трубам 10, а конденсат отводится по трубам 11.

Техническая характеристика сушилки СУР-8 дана в табл. 25.

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, СУР-5—125°С; СУР-8—135—145°С. Степень насыщения воздуха в роликовых сушилках не регламентируется. Продолжительность сушки шпона зависит от температуры воздуха, характера его циркуляции в сушилке, толщины шпона, породы древесины, ее начальной и конечной влажности. Для конкретных условий продолжительность сушки устанавливают расчетным либо опытным путем. При эксплуатации сушилки частоту вращения роликов устанавливают вариатором таким образом, чтобы время перемещения шпона через секции сушки соответствовало найденной для данных условий продолжительности процесса.

## § 55. Газовые роликовые сушилки

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.

Устройство восьмизатжной сушилки СРГ-25 показано на рис. 85.

Она состоит из десяти секций сушки 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 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 (топка, смесительная камера и дымосос на рис. 86 не показаны) нагнетается по газоходу 14 в распределительный горизонтальный канал 3 и далее по вертикальным боковым каналам 13 в сырой конец сушилки. В каналах 13 сушильный агент с помощью системы экранов распределяется по этажам сушилки и движется вдоль нее (по направлению движе-

ния шпона) к сухому концу сушильной зоны. Отработавшая смесь, имеющая температуру 150—160° С, через боковые каналы 12 и подземные газоходы 16 и 15 центробежным вентилятором подается в смесительную 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 возду-

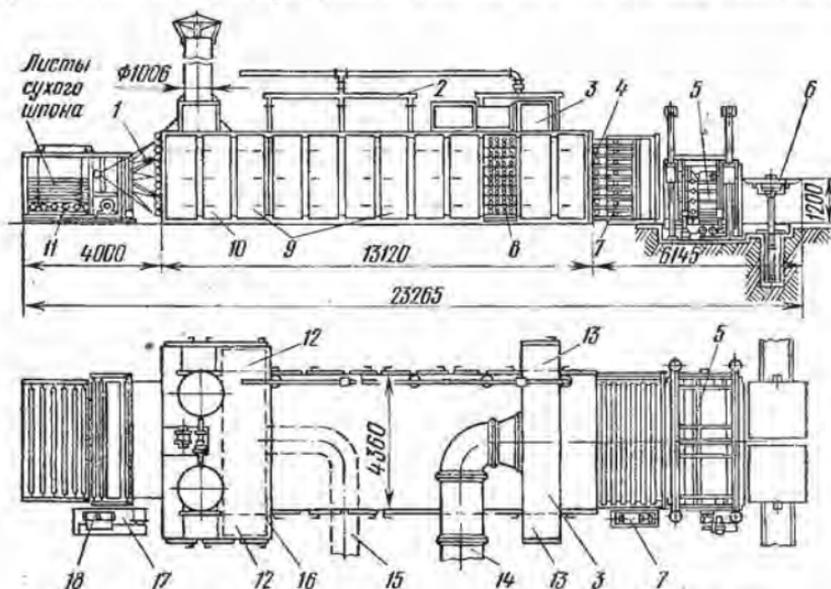


Рис. 85. Общий вид газовой роликовой сушилки SRG-25:

1 — разгрузочное устройство, 2 — паровые трубы системы пожаротушения, 3 — распределительный канал, 4 — загрузочная этажерка, 5 — загрузочный механизм, 6 — вертикальный подъемник, 7 — станция натяжения цепей, 8 — приводные ролики, 9 — секция сушилки, 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

хом, 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 стол 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 газовой смеси. Кроме того, она отличается большей производительностью и более высоким качеством высушенного шпона.

Сушилка СРГ-50 состоит из 22 секций. Она обслуживается двумя топками и двумя вентиляторными установками. 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.

Характеристики газовых роликовых сушилок приведены в табл. 25.

Анализ технико-экономических показателей роликовых сушилок показывает, что газовые сушилки более производительны по сравнению с воздушными. Поэтому многие фанерные предприятия переоборудуют воздушные сушилки на обогрев топками газами. При этом их производительность повышается примерно в два раза.

### § 56. Классификация сушилок для сушки измельченной древесины

К измельченной древесине, которая по условиям производства подлежит обязательной сушке, относятся: технологическая стружка, идущая на изготовление древесностружечных плит, упаковочная стружка, спичечная соломка.

Наибольшее значение имеет сушка стружки в производстве древесностружечных плит. Технология их производства требует высушивания измельченной древесины до влажности 3—9%.

Начальная влажность измельченной древесины, подвергаемой сушке, составляет: для вырабатываемой из дровяного сырья и сырых отходов — 80—120%, для стружки от строгальных и фрезерных станков — 15—20%. Малые размеры, хорошо развитая поверхность, отсутствие жестких требований в отношении растрескивания частиц древесины — все это определяет возможность очень интенсивного процесса сушки, который может проходить при высокой температуре.

Для сушки измельченной древесины используют сушилки непрерывного действия. Они подразделяются на три основные группы: барабанные, пневматические и ленточные.

В барабанных сушилках материал высушивается во вращающемся барабане или в неподвижном барабане с вращающимся внутри его ротором. При вращении барабана (или ротора) происходит перемещение и перемешивание частиц, одновременно омываемых проходящим через барабан сушильным агентом. Тепло передается материалу в основном путем конвекции. В некоторых конструкциях сушилок в качестве ротора используют батарею нагревательных труб, которые обеспечивают кондуктивную передачу тепла высушиваемым частицам. Продолжительность сушки в барабанных сушилках от 3 до 15 мин.

В пневматических сушилках древесина высушивается во взвешенном состоянии в потоке движущегося газа. Хорошее омывание частиц агентом сушки обеспечивает интенсивный конвективный теплообмен между ними, а следовательно, и весьма интенсивную сушку. Различают три типа пневматических сушилок:

трубы-сушилки, в которых скорость перемещения материала равна скорости движения агента сушки;

аэрофонтанные сушилки, где переменная скорость агента сушки обеспечивает многократное фонтанирование высушиваемых частиц и унос их из сушилки после полного высыхания;

сушилки с решетчатым поддоном, где сушка проходит в «кипящем» \* слое.

Продолжительность сушки в пневматических сушилках от 30 до 2—3 мин.

В ленточных сушилках 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 15—30 мин.

## § 57. Барабанные сушилки

Наибольшее распространение имеют барабанные сушилки, в которых в качестве агента сушки используется смесь топочных газов с воздухом.

Устройство сушилки «Прогресс», работающей от индивидуальной топки на жидком или газообразном топливе, показано на рис. 86. Основной рабочей частью ее является вращающийся барабан 6. Бандажки 5, укрепленные на барабане, 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° в сторону загрузки сырого материала.

Барабан вращается 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 об/мин.

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 титания барабана сырой стружкой. Остальная часть барабана по всей длине разделена на шесть секторов 23 (барабаны старых моделей разделены на пять секторов) с Г-образными лопастями 10, предназначенными для перемешивания материала. Барабан соединен с газоходами 14 и 21 с помощью плавающих торцовых уплотнений 8 и 20. В газоход 21 из смесительной камеры 22 топки 1 подается рабочая газоздушная смесь, а через трубу 3 со шлюзовым затвором 4 поступает сырая измельченная древесина. Движение высушиваемого материала вдоль барабана проходит под действием напора газового потока. Высушенная стружка с отработавшей газоздушной смесью через газоход 14 дымососом 13 направляется по

\* «Кипящим» называют слой сыпучего материала, находящегося на сетке, через который снизу вверх проходит агент сушки с такой скоростью, которая обеспечивает разрыхление слоя, подъем отдельных частиц и унос их из слоя потоком сушильного агента после полного высыхания.

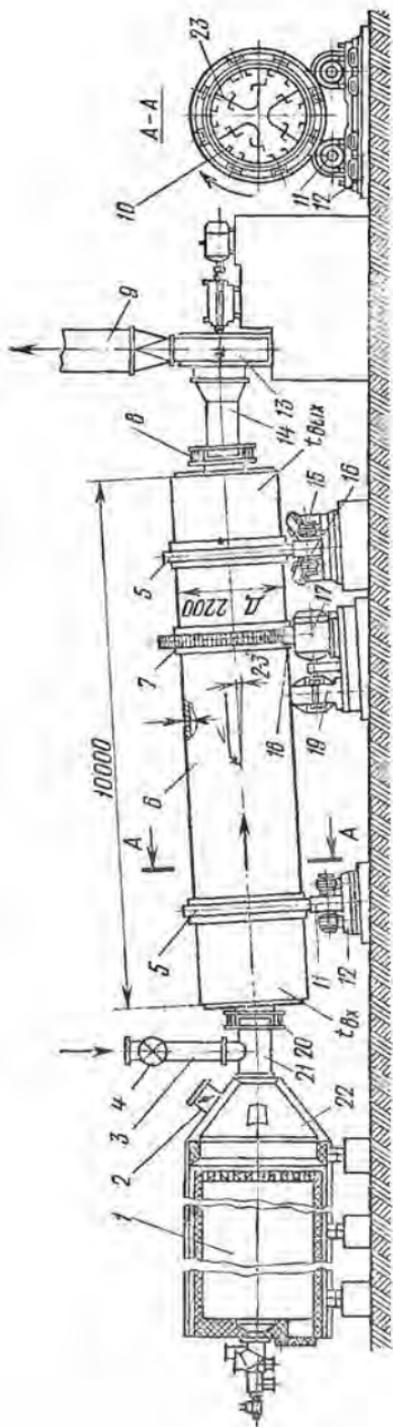


Рис. 86. Газовая барабанная сушилка «Прогресс»:

1 — топка, 2 — патрубок подачи свежего воздуха, 3 — труба подачи измельченной древесной стружки, 4 — затвор, 5 — бардажи, 6 — барабан, 7 — венцовая шестерня, 8, 20 — торцовые уплотнения, 9 — труба, 10 — лопасти, 11, 16 — опорные ролики, 12, 15 — опорные станины, 13 — дымосос, 14, 21 — газозаходь, 17 — электродвигатель, 18 — шестерня, 19 — редуктор, 22 — смешительная камера, 23 — сектор

трубе 9 в циклон-отделитель, установленный над бункером сухой стружки.

Рабочая газозвудушная смесь, поступающая в барабан, готовится в смешительной камере, в которой к топочным газам подмешивается свежий воздух, поступающий по патрубку 2 и кольцевому зазору, образованному кожухом топки и наружной поверхностью топочной камеры. Температура в топочной камере поддерживается в пределах 900—1000°С, на входе в сушилку 350—450°С, а на выходе 90—120°С. Количество циркулирующего сушильного агента составляет 7—8,5 кг/с.

В устаревших конструкциях барабан располагался с уклоном 3° в сторону движения материала (положительный угол наклона). В настоящее время по рекомендациям ЦНИИФа барабан устанавливается под углом 2—3° (см. рис. 86) 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 газозвудушной смеси и повысить ее температуру на входе в сушилку, не превышая безопасный температурный уровень в сухом конце барабана (160—170°С).

Продолжительность сушки измельченной древесины зависит от угла наклона оси барабана, частоты его вращения и скорости движения агента сушки.

Производительность барабанной сушилки, показанной на рис. 86, при сушке измельченной древесины влажностью от 80 до 4% составляет 3,5—4,5 т в час (по сухой стружке). Расход тепла равен примерно 4,5—5 МДж на 1 кг испаренной влаги.

В целях дальнейшего увеличения производительности барабанной сушилки ЦНИИФ разработал двухфазный метод сушки измельченной древесины в комбинированном сушильном агрегате. Агрегат состоит из типовой барабанной сушилки и циклонно-спиральной приставки (рис. 87). Последняя представляет собой спиральный газоход 3 длиной около 36 м, навитый вокруг вертикально-го цилиндра 1.

Комбинированная сушка в агрегате осуществляется следующим образом. Топочные газы температурой 900—1000°С из топки поступают в смесительную камеру, где подготавливается газоздушная смесь температурой 600—800°С. Эта смесь вместе с сырой стружкой поступает в циклонно-спиральную приставку, в которой проходит первая фаза сушки до влажности древесины 25—30%. Температура газов при этом понижается до 350—400°С. Затем газовая смесь со стружкой поступает в сушильный барабан, где проходит вторая фаза сушки и выравнивание конечной влажности на заданном уровне.

Производительность комбинированного сушильного агрегата возрастает по сравнению с типовой барабанной сушилкой в 1,5—1,8 раза.

На некоторых предприятиях нашей страны эксплуатируются газовые барабанные сушилки фирмы «Бютнер» (рис. 88).

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 газоходе-сопле 6 установлены поворачивающиеся на осях щитки 5. Их поворотом изменяют угол входа сушильного агента в барабан и шаг винтообразной траектории движения материала, тем самым регулируют продолжительность пребывания материала в барабане (продолжительность сушки). На

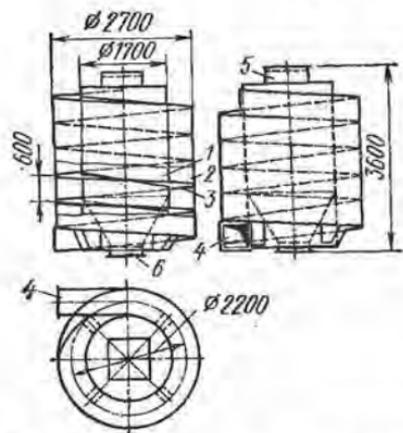


Рис. 87. Циклонно-спиральная приставка к сушильному барабану:

1 — внутренний цилиндр, 2 — наружный цилиндр, 3 — спиральный газоход, 4 — входной патрубок, 5 — люк со вращаемым клапаном, 6 — выходной патрубок

валу 3, вращающемся в подшипниках 8, установлены лопасти-гребенки 2, которыми перемешивается высушиваемая стружка. Высушенная стружка с отработавшими газами подается вентилятором 7 в циклон-отделитель 10, откуда она удаляется через шлюзовой затвор 11. Отработавший агент сушки частично выбрасывается в атмосферу через трубу 1, а большая его часть поступает на рециркуляцию в смесительную камеру 12 топки 14. Туда же поступают то-

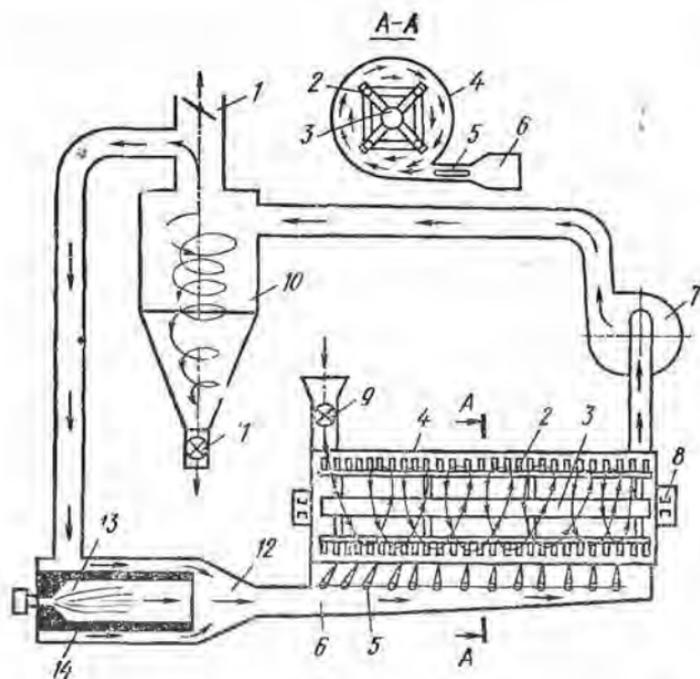


Рис. 88. Схема газовой барабанной сушилки «Бютнер»:

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 — смесительная камера, 13 — камера горения, 14 — топка

почные газы из камеры горения 13. Образующаяся газозвудушная смесь температурой 350—400°С направляется в газоход-сопло 6.

По данным ЦНИИФа, производительность сушилки «Бютнер» при прочих равных условиях такая же, как у сушилки «Прогресс» с отрицательным углом наклона — 2°.

Недостаток сушилки — повышенный расход тепла на испарение и ограниченный верхний предел температуры подаваемой в барабан газозвудушной смеси (350—400°С), что в целом связано с малой степенью использования сушильного агента.

Сушилки «Бютнер» выпускают с диаметром барабана 3,2 м и длиной до 12 м. Их производительность достигает 4,5—5,5 т сухой стружки в час.

Из различных конструкций пневматических сушилок ограничимся рассмотрением сушилки с сетчатым поддоном фирмы «Келлер» и аэрофонтанной сушилки с конусными рюмками.

Сушилки «Келлер» с сетчатым поддоном. Агентом сушки в них служит смесь топочных газов с воздухом. Эти сушилки обычно устанавливают попарно. Схема установки для сушки

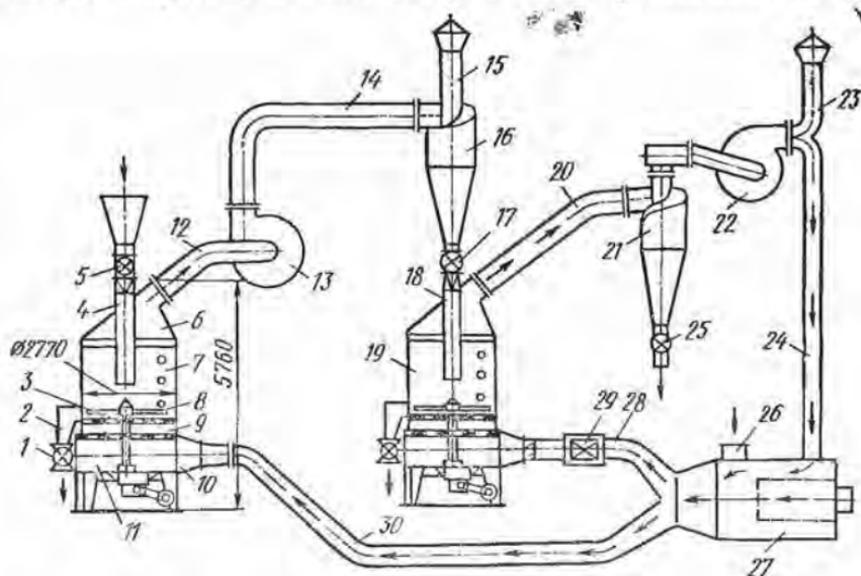


Рис. 89. Установка для сушки измельченной древесины с использованием пневматических сушилок «Келлер»:

1, 5, 17, 25 — шлюзовые затворы, 2 — люк для крупных частиц, 3 — сетка, 4 — труба для подачи сырой измельченной древесины, 6 — горловина сушилки, 7 — камера сушки, 8 — мотовила-ворошители, 9 — пылеотделительная камера, 10 — патрубок, 11 — камера подачи газозвдушной смеси, 12, 14, 18, 20, 24, 28, 30 — трубы, 13, 22 — вентиляторы, 15, 23 — трубы для выброса отработавшей газозвдушной смеси, 16, 21 — циклоны, 19 — сушилка вторичной сушки, 26 — патрубок для подачи свежего воздуха, 27 — топка, 29 — люк подачи свежего воздуха

измельченной древесины с использованием двух сушилок «Келлер» приведена на рис. 89.

Сушилка представляет собой металлический теплоизолированный цилиндр, разделенный внутри на три сообщающиеся камеры — камеру сушки 7, пылеотделительную камеру 9 и камеру 11 подачи газозвдушной смеси. Камера сушки отделена от пылеотделительной камеры поддоном, представляющим собой сетку из листовой стали толщиной 2 мм с отверстиями.

Сырая стружка через затвор 5 и трубу 4 поступает в сушилку и высыпается на поддон. На поддоне материал непрерывно перемешивается мотовилами-ворошителями 8. Поток сушильного агента, поступающего из камеры 11, частицы подхватываются с поддона и сушатся в «кипящем» слое. По мере высыхания они выносятся через горловину 6 в трубу 12. Крупные частицы, которые

не поднимаются потоком газа, высушиваются на поддоне, воршителями перемешаются к люку 2 и через шлюзовую затвор 1 удаляются из сушилки для дополнительного дробления. Пыль и мелкие частицы просыпаются через поддон в пылеотделительную камеру, откуда периодически выводятся из нее с помощью щеток.

Стружка, подсушенная до влажности 20—25%, вместе с отработавшими газами из трубы 12 подается вентилятором 13 по трубе 14 в циклон 16, откуда она через затвор 17 и трубу 18 попадает во вторую сушилку 19. Отработавшие газы удаляются в атмосферу через трубу 15.

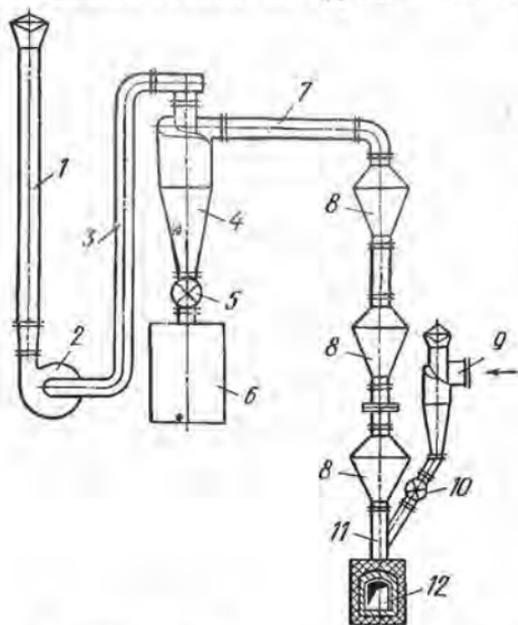


Рис. 90. Схема аэрофонтанной сушилки:

1 — труба, 2 — вентилятор, 3, 7 — газоходы, 4 — циклон-отделитель, 5, 10 — шлюзовой затвор, 6 — бункер сухой стружки, 8 — рюмки, 9 — циклон сырой стружки, 11 — вертикальный газоход-ствол, 12 — горизонтальный газоход

Сушилка 19 вторичной сушки устроена аналогично первой. Высушенная в ней стружка (до влажности 4—5%) с отработавшими газами вентилятором 22 засасывается по трубе 20 в циклон 21, откуда она через затвор 25 поступает в бункер сухого материала. Отработавший газ частично выбрасывается в атмосферу по трубе 23, а частично по трубе 24 подается в топку 27 для подмешивания к топочным газам. В смесительную камеру топки кроме отработавших газов поступает свежий воздух через патрубок 26. Газовоздушная смесь температурой 165—175° С подается по трубе 30 к патрубку 10 первой сушилки и по трубе 28 ко второй сушилке. В трубе 28 к газовой смеси добавляется через люк 29 некоторое количество свежего воздуха для получения на входе в сушилку газовоздушной смеси температурой 140—150° С.

Сушилки «Келлер» обеспечивают удовлетворительное качество сушки с достаточно высокой производительностью. К недостаткам сушилки следует отнести случаи воспламенения пыли.

Аэрофонтанная сушилка с конусными рюмками. Схема аэрофонтанной сушилки показана на рис. 90.

Топочные газы из газохода 12 поступают в вертикальный ствол 11 сушилки. Сюда же поступает сырая стружка из циклона 9 через затвор 10. Стружка подхватывается потоком газа и подается в рюмки 8.

Конусная форма рюмок определяет различную скорость движения сушильного агента по их высоте. В свою очередь это преду-

преждает преждевременный унос стружки. При правильном подборе размеров рюмки материал в них многократно фонтанирует. По мере просыхания он переходит из одной рюмки в другую, а затем по газоходу 7 поступает в циклон 4. Сухая стружка через затвор 5 попадает в бункер 6. Оработавшие газы по газоходу 3 отсасываются вентилятором 2 и выбрасываются в атмосферу через трубу 1.

Сушилка работает при температуре газов на входе 600—800° С и выходе (из газохода 7) 130—140° С. При более высокой температуре на выходе возможно загорание высушенной стружки. Для такого случая в сушилке предусмотрена автоматическая подача воды (распылением) в ствол 11.

Аэрофонтанная сушилка надежна, проста в эксплуатации и экономична. Крупный недостаток ее — неравномерность сушки материала неоднородного фракционного состава. Не обеспечивается и получение требуемой конечной влажности (3—5%) стружки при начальной влажности свыше 50—60%. Эти сушилки рационально использовать для предварительной сушки измельченной древесины (до влажности 15—20%) с последующей досушкой ее до влажности 3—5% в барабанной сушилке.

## § 59. Ленточные сушилки

Ленточные сушилки, применяемые для сушки измельченной древесины, делятся на два типа: одноленточные (с одним конвейером) и многоленточные (с несколькими конвейерами, расположенными

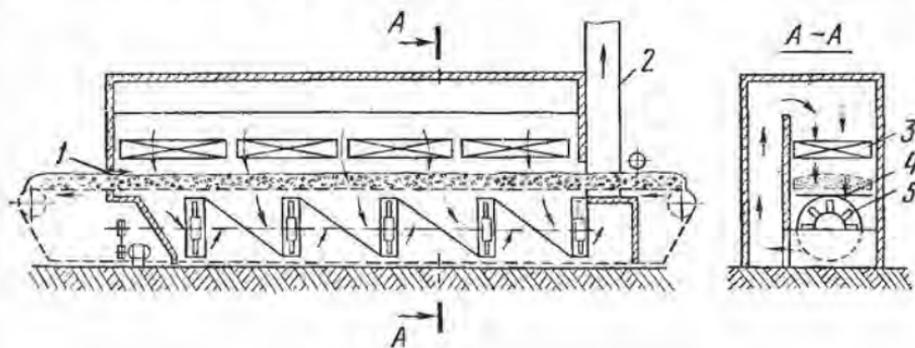


Рис. 91. Схема одноленточной сушилки:

1 — отверстие подачи свежего воздуха, 2 — выхлопная труба, 3 — калориферы, 4 — ленточный конвейер со слоем высушиваемого материала, 5 — циркуляционная установка

один над другим). Рассмотрим одноленточную сушилку, применяющуюся в деревообрабатывающей промышленности для сушки спичечной соломки, коробок, упаковочной стружки.

Одноленточные сушилки (рис. 91) 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.

Воздух нагнетается вентиляторами в циркуляционный коридор, поступает в сушильную зону, омывает 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).

## СУШКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

### § 60. Сушка древесноволокнистых плит

В производстве древесноволокнистых плит (ДВП) сушке подвергают мягкие ДВП, получаемые мокрым способом.

Мягкие древесноволокнистые плиты (ГОСТ 4598—74) изготовляют толщиной 12,2; 16 и 25 мм. Их плотность не должна превышать  $350 \text{ кг/м}^3$ , а влажность 12%. Сырые плиты поступают в сушилку сразу из отливочной машины при влажности около 200%. Для сушки применяют роликовые многоярусные (многоэтажные) сушилки. Число этажей колеблется от 6 до 15. Сушилки подразделяются на однозонные и трехзонные.

Устройство однозонной сушилки показано на рис. 92. Она состоит из роликового распределительного конвейера 1, загрузочного устройства 2, сушильного отделения 3 и разгрузочного устройства 4. Распределительный конвейер 1 служит для подачи плит, поступающих из отливной машины в загрузочное устройство 2. Один его конец шарнирно закреплен у выходного конвейера отливной машины, а другой конец с помощью специального устройства может подниматься и опускаться, останавливаясь у каждого этажа загрузочного устройства. Скорость распределительного конвейера значительно превышает скорость выходного конвейера отливной машины, что обеспечивает равномерное и полное заполнение плитами всех этажей сушилки.

Воздух нагревается пластинчатыми паровыми калориферами, смонтированными в циркуляционном канале, проходящем над перекрытием сушилки, и нагревательными трубами, расположенными внутри сушилки между роликами конвейеров. Циркуляция в сушилке противоточная; она осуществляется двумя параллельно работающими центробежными вентиляторами, установленными на перекрытии камеры. Отработавший воздух удаляется в атмосферу через выхлопную трубу. В конце сушилки имеется секция охлаждения, у которой отсутствуют ограждения.

В трехзонных сушилках каждая секция сушки имеет индивидуальные циркуляционные установки и калориферы. В первой зоне сушильный агент циркулирует по схеме противотока (при температуре на входе  $160^\circ \text{C}$ ), во второй и третьей секциях — по схеме прямотока. Температура сушильного агента на входе в секции составляет 150 и  $130^\circ \text{C}$  соответственно.

Роликовые сушилки последних моделей имеют следующую характеристику: производительность — 90 т/сут; число этажей — 14; габаритные размеры — длина 100 м, ширина 7 м, высота 7 м; установленная мощность электродвигателей 130 кВт.

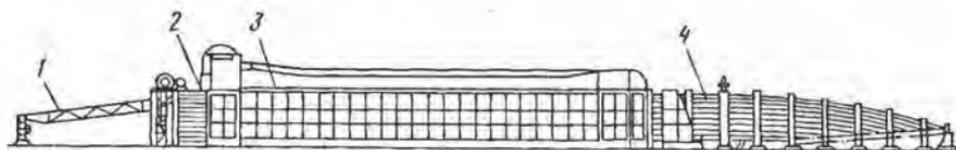


Рис. 92. Многоэтажная роликовая сушилка для мягких древесноволокнистых плит:

1 — распределительный конвейер, 2 — загрузочное устройство, 3 — сушильное отделение, 4 — разгрузочное устройство

### § 61. Сушка древесноволокнистой массы в производстве твердых древесноволокнистых плит сухим способом

В производстве твердых древесноволокнистых плит сухим способом сушке подвергают волокна, полученные после размола. Начальная влажность волокон составляет в среднем 100% (относительная влажность 50%). В процессе сушки содержание влаги необходимо понизить до 5—6%. Так же как и стружка, волокна имеют развитую поверхность с малыми поперечными сечениями, что позволяет вести интенсивную сушку, не опасаясь внутренних напряжений. Для сушки применяют аэрофонтанные и барабанные сушилки, обогреваемые паром или топочными газами. Обычно сушка проходит в два этапа. Первоначально волокна поступают в пневматическую сушилку. Температура нагретого воздуха на входе в сушилку составляет 160—190° С. Волокна высушивают до влажности 60—70%. При выходе из сушилки они имеют температуру около 70° С. Подсушенные волокна попадают в циклон, из которого затем во вторую сушилку. Для вторичной сушки используют аэрофонтанные и барабанные сушилки. В них влажность волокна снижается с 60—70 до 5%. Схема аэрофонтанной сушилки дана на рис. 93. Влажные волокна подаются в сушилку через загрузочный люк и подхватываются потоком нагретого воздуха, движущегося со скоростью 18—20 м/с. Температура воздуха, нагреваемого паровым калорифером, составляет на входе в сушилку 160° С. Различное сечение трубопроводов 3, а следовательно, переменная скорость воздушного потока обеспечивают многократное фонтанирование волокон и унос их из сушильного пространства после высухания до заданной конечной влажности. Движение воздуха и волокна осуществляется центробежным вентилятором 5. Этим же вентилятором высушенные и отсортированные в сепараторе волокна транспортируются в циклон-воздухоотделитель.

На заводах по производству древесноволокнистых плит вторичная сушка проходит в барабанных газовых сушилках фирмы «Бют-



**КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ****§ 62. Приборы для контроля за состоянием  
сушильного агента**

В технике сушки древесины состояние газообразного сушильного агента чаще всего определяют по его температуре  $t$  и степени насыщения водяным паром  $\phi$ . В некоторых случаях имеет значение скорость движения газообразного агента. Состояние жидкого агента сушки (при постоянном давлении) определяется только его температурой.

Для измерения температуры применяют приборы, называемые *термометрами*. Из выпускаемых промышленностью термометров (ГОСТ 13417—76) в сушильной технике используют следующие:

термометры расширения, работающие на принципе теплового расширения жидкости или твердых тел;

манометрические термометры, принцип действия которых основан на зависимости давления жидкости или газа от температуры (при постоянном объеме);

термометры сопротивления, работа которых основана на свойстве проводников и полупроводников изменять сопротивление в зависимости от температуры;

термоэлектрические термометры (термопары), принцип действия которых основан на возникновении термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) в контуре, составленном из двух различных металлов со спаями, нагретыми до разной температуры.

Степень насыщения  $\phi$  измеряют *психрометрическим методом*, основанным на измерении психрометром температуры  $t$  и температуры предела охлаждения  $t_m$  газа (см. § 4).

Применяют переносные и стационарные психрометры.

К переносным относится психрометр Асмана, состоящий из двух одинаковых термометров и снабженный устройством для принудительной циркуляции воздуха, и психрометр Августа, также состоящий из двух термометров, но без принудительной циркуляции.

Стационарные психрометры монтируют внутри сушильной установки. Они подразделяются на дистанционные и недистанционные. Дистанционные психрометры монтируют из манометрических или электрических термометров (термометров сопротивления и термопар).

**Термометры расширения.** Термометры этого типа подразделяются на жидкостные и деформационные. Из *жидкостных термометров* наиболее широко используют ртутные стеклянные технические термометры ТТ. Их применяют для психрометров Августа и недистанционных стационарных психрометров. Термометры ТТ выпускаются на различном диапазоне измеряемой температуры и могут иметь прямую (рис. 94, а) или изогнутую под углом 90, 120 и 135° нижнюю часть (рис. 94, б, в) с термобаллоном на конце. Длина нижней части  $H=60-2000$  мм, диаметр ее 8—9 мм. Длина цилиндра термометра  $H_1=110; 160$  и 220 мм. Цена деления от 0,5 до 10°С. В сушилках наиболее употребительны термометры ТТ-2Б (пределы измерения 0—100°С, цена деления 1°) и ТТ-3Б (пределы измерения 0—150°С, цена деления 1°). Допустимая погрешность термометров колеблется от  $\pm 1$  до  $\pm 2^\circ$ .

Для точных измерений применяют лабораторные термометры ТЛ (цена деления от 0,1 до 2°), а для проверки и градуировки технических и лабораторных термометров — образцовые термометры.

**Деформационные термометры** используются преимущественно не как показывающие приборы, а как датчики в системах регулирования. К ним относятся дилатометрические и биметаллические термометры.

Рассмотрим устройство дилатометрического термометра (рис. 95). Он состоит из трубки 1, закрытой с одного конца, которая помещена в измеряемую среду. Другой ее конец жестко крепится к объекту измерения. Трубка изготавливается из металла с большим коэффициентом линейного расширения (латуни, алюминия). Стержень 2 из материала с малым коэффициентом линейного расширения (кварц, фарфор и др.) прижимается пружиной 4 через рычаг 3 к дну трубки. При изменении температуры линейные деформации трубки и стержня будут неодинаковыми. Под действием суммарной деформации стержень 2 перемещается, поворачивая рычаг 3 и стрелку.

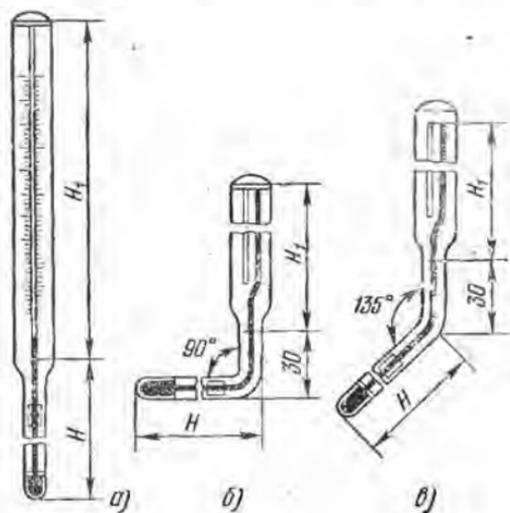


Рис. 94. Ртутные технические термометры с прямой (а) и изогнутой (б, в) нижней частью

**Манометрические термометры** (рис. 96) состоят из термобаллона 4, манометра 2 с трубчатой пружиной 1 и капиллярной трубки 3. Они выпускаются различных модификаций с жидкостным, газовым или смешанным заполнением. Чувствительным элементом является термобаллон, который помещают в измеряемую среду. При нагревании давление в термобаллоне увеличивается. По капиллярной трубке давление передается в манометрическую пружину 1 и деформирует ее, что в свою очередь вызывает перемещение стрелки относительно шкалы, градуированной в единицах температуры.

Манометрические термометры предназначены для дистанционного измерения, а некоторые их типы — и регистрации (записи)

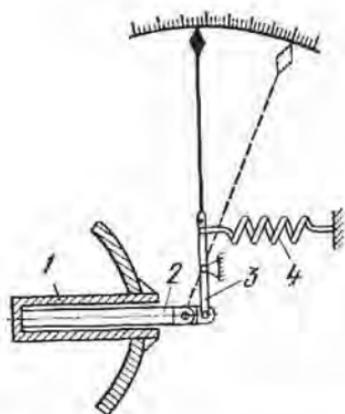


Рис. 95. Схема дилатометрического термометра:

1 — трубка, 2 — стержень, 3 — рычаг, 4 — пружина

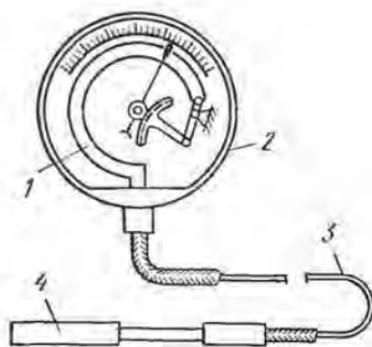


Рис. 96. Схема манометрического термометра;

1 — трубчатая пружина, 2 — манометр, 3 — капиллярная трубка, 4 — термобаллон

температуры. Основная погрешность этих приборов от  $\pm 1$  до 1,6%. Длина гибкого капилляра колеблется от 1 до 60 м.

В сушилках рекомендуется применять одноканальные показывающие термометры ТПП4-IV и двухканальные самопишущие жидкостные термометры ТЖ2С-711 и ТЖ2С-712.

Достоинствами манометрических термометров является возможность дистанционного измерения и записи показаний, простота конструкции, пожаровзрывобезопасность. К недостаткам относится значительная термическая инерционность, пониженная точность измерений. Эти приборы применяются в камерах непрерывного действия.

**Термометры сопротивления** наиболее перспективны в сушилках. На их базе могут быть созданы точные, долговечные и компактные системы дистанционного контроля за состоянием сушильного агента.

В сушильной технике широкое распространение получили термометры сопротивления с чувствительными элементами из плати-

новой или медной проволоки. Чувствительный элемент изготавливают в виде бифилярной спирали, которая герметизируется металлическим чехлом (рис. 97).

Полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы) в 5—10 раз чувствительнее проволочных (проводниковых), имеют малые габаритные размеры, позволяют использовать менее чувствительные вторичные приборы. Из-за недостаточной стабильности характеристик их применение в сушильной технике ограничено.

Для сушилок рекомендуется применять малоинерционные медные и платиновые термометры сопротивления ТСМ-6097 или ТСП-6097.

В качестве вторичных показывающих приборов в схемах измерения температуры термометрами сопротивления применяют логометры и уравновешенные электронные мосты.

На рис. 98 показана принципиальная схема соединения логометра с термометром сопротивления. Термометр сопротивления 1 включен в одну диагональ моста логометра 3. Питание системы осуществляется от источника постоянного тока 4. Для подрегулирования сопротивления служат уравнительные катушки 2. Перемена температуры датчика ведет к соответствующему изменению его сопротивления и нарушению равновесия мостовой схемы, что вызывает отклонение стрелки логометра, шкала которого градуирована в единицах температуры.

Промышленностью серийно выпускается логометр Л-64. Недостаток измерительных схем с логометром — относительно большая погрешность измерений (до 2—2,5°С).

Для более точных измерений можно использовать автоматические уравновешенные электронные мосты:

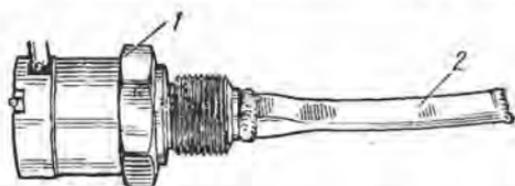


Рис. 97. Общий вид проволочного термометра сопротивления:

1 — корпус, 2 — металлический чехол

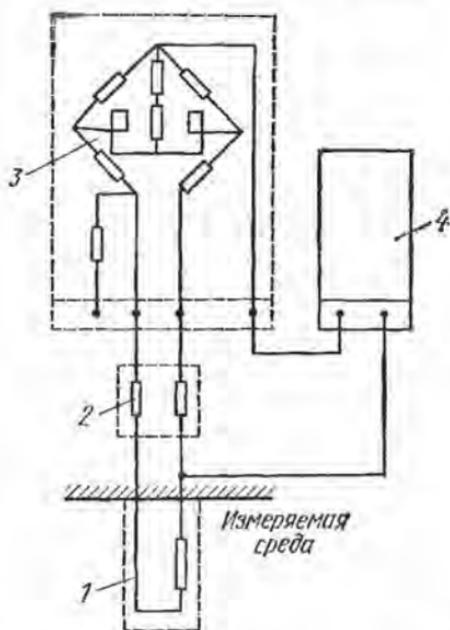


Рис. 98. Принципиальная схема измерения температуры термометром сопротивления и логометром:

1 — термометр сопротивления, 2 — уравнительные катушки, 3 — логометр, 4 — источник постоянного тока

показывающие КВМ1-508 с вращающимся циферблатом (измеряют температуру в 12 точках);

показывающие и регулирующие типа КСМ2, КСМ3 и КСМ4 с записью показаний на диаграммную ленту.

Основная погрешность этих приборов не превышает 0,5% от верхнего предела измерений. Автоматические электронные уравновешенные мосты имеют сложное механическое и электронное устройство и требуют квалифицированного технического обслуживания.

**Термоэлектрические термометры (термопары).** Простейшая схема термопары показана на рис. 99, а. Два проводника из различных металлов имеют на концах спай. В разрыв одного из провод-

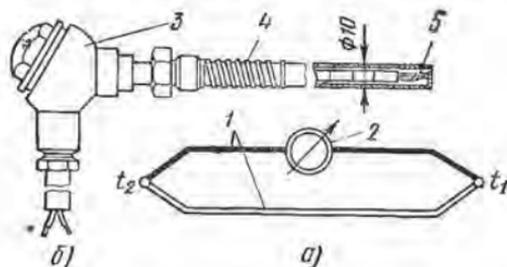


Рис. 99. Термопары:

а — схема термопары, б — общий вид термопары ТХК-1479; 1 — проводники, 2 — милливольтметр, 3 — корпус, 4 — металлический чехол, 5 — спай

ников включен милливольтметр 2. Один спай помещается в среду, температура которой измеряется, а второй спай остается свободным. В зависимости от температуры  $t_1$  и  $t_2$  в спаях возникают ТЭДС  $e_1$  и  $e_2$ , направленные навстречу друг другу. В цепи термопары, таким образом, действует результирующая ТЭДС ( $e_1 - e_2$ ), пропорциональная разности температуры спаев ( $t_1 - t_2$ ). При  $t_1 = t_2$  результирующая ТЭДС равна нулю.

Для устранения влияния колебаний температуры свободного спая термопары его помещают в среду с постоянной (желательно низкой) температурой или используют специальные электрические схемы с автоматической компенсацией.

При изготовлении термопар используют следующие пары металлов: платинородий-платина, хромель-алюмель, хромель-копель, медь-константан.

В сушильной технике применяют следующие термопары: платинородий-платиновые ТПП, хромель-алюмелевые ТХА — для измерения высокой температуры в топках и газоходах; хромель-копелевые ТХК (например, ТХК-1479, рис. 99, б) — для контроля температуры в сушильных устройствах.

Для измерения ТЭДС, развиваемой термопарой, применяют милливольтметры и автоматические потенциометры. К ним относятся: щитовой милливольтметр МПЩр-53; электронный автоматический показывающий потенциометр с вращающимся циферблатом

ЭПВ-2-01; самопишущий потенциометр с трехпозиционным регулирующим устройством КСП2-005 и др. Шкалы этих приборов имеют градуировку в единицах температуры. Приборы снабжены устройствами, которые компенсируют погрешности от непостоянства температуры свободного ося.

**Психрометры.** Как отмечалось выше, психрометры подразделяются на переносные и стационарные. Переносные психрометры общезвестны и, кроме того, в сушильных установках не применяются. Остановимся на рассмотрении конструкций стационарных психрометров.

Стационарные недистанционные психрометры монтируют из двух технических ртутных термометров с приспособлением для постоянного увлажнения чувствительного элемента смоченного термометра. Психрометр устанавливают внутри сушилки таким образом, чтобы его показания можно было регистрировать из обслуживаемого помещения. Конструкция стационарного психрометра, размещенного в проеме стены, показана на рис. 100. Угловые ртутные термометры 3 установлены в эбонитовых втулках 5 на съемной плате 4, которая четырьмя болтами 2 крепится к неподвижной плите 8. Плита закреплена с внутренней стороны стены на анкерных болтах 7. В увлажнительном бачке 6 поддерживается постоянный уровень воды, которой бачок пополняется из резервуара 1 с помощью двух гибких трубок. Конструкция психрометра позволяет при необходимости вынимать плату 4 вместе с термометрами и бачком без захода в сушилку. Недостатками психрометров с ртутными термометрами являются их хрупкость, ненадежность и, главное, невозможность централизованного дистанционного контроля.

Дистанционные электрические психрометры собирают чаще всего из термометров сопротивления. Датчики психрометра рационально монтировать в съемном устройстве, обеспечивающем их надежное крепление и питание водой смоченного термометра. Одно из таких устройств, разработанное ЦНИИМОДом, показано на рис. 101. Это устройство крепится в нише стены сушильной камеры. Термометры сопротивления 5 ввинчены в торец стакана 10, который вставлен в трубу 9 и закреплён гайками-барашками. Вода для увлажнения подается из магистрали в ванночку 8. Излишек воды сливается в конденсаци-

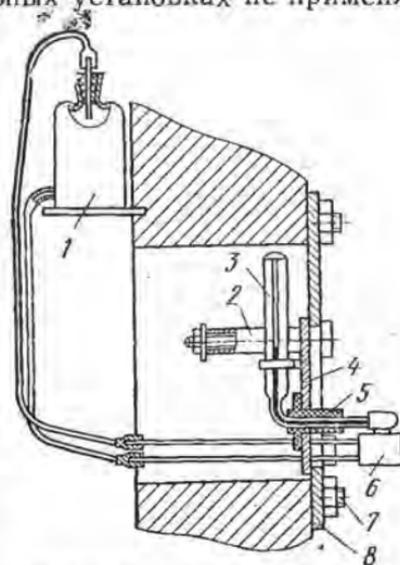


Рис. 100. Установка стационарного психрометра в проеме стены сушильной камеры:

1 — резервуар, 2 — болты крепления съемной платы, 3 — термометр, 4 — съемная плата, 5 — эбонитовая втулка, 6 — увлажнительный бачок, 7 — анкерные болты, 8 — неподвижная плита

онную магистраль. Устройство обеспечивает герметичность и теплоизоляцию датчиков.

Измерительные схемы дистанционных психрометров аналогичны рассмотренным выше схемам измерения температуры. Дистанционные электрические психрометры позволяют достаточно просто централизованно контролировать состояние сушильного агента в большом числе камер.

Находят некоторое применение психрометры с манометрическими термометрами. Наиболее целесообразно

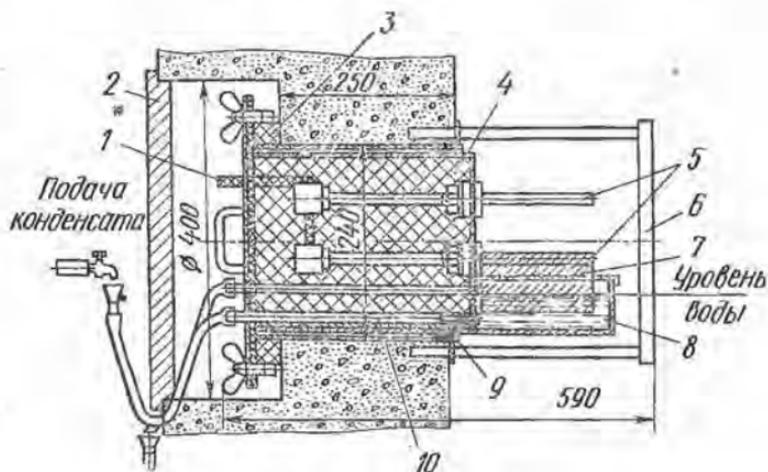


Рис. 101. Устройство для установки датчиков электрического психрометра:

1 — кабель, 2 — дверца, 3 — прокладка, 4 — втулка, 5 — термометры сопротивления, 6 — ограждение, 7 — чехол смоченного термометра, 8 — увлажнительная ванночка, 9 — труба, 10 — съемный стакан

использовать в этом случае двухканальные жидкостные термометры.

При монтаже и эксплуатации психрометров любых типов необходимо соблюдать следующие правила.

1. Термометры для комплектования психрометров подбирают после их проверки образцовым термометром. Показания термометров, устанавливаемых в одном приборе, при отсутствии увлажнения должны отличаться не более чем на  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

2. Для увлажнения термометров следует применять чистую дистиллированную воду или профильтрованный конденсат. Для увлажнительных чехлов целесообразно использовать чистую марлю. По мере загромождения марлевого чехла его нужно заменять новым. Уровень воды в увлажнительной ванночке должен быть не ниже 30—40 мм от чувствительной части термометра.

3. Психрометр следует устанавливать таким образом, чтобы чувствительные элементы термометров находились в потоке агента сушки, состояние которого соответствует режимным параметрам

в сушилке. Например, в камерных сушилках — при входе сушильного агента в штабель.

4. Места ввода датчиков температуры в сушилку должны быть тщательно уплотнены, а сами датчики защищены от механических повреждений.

### § 64. Приборы для измерения скорости движения сушильного агента

Скорость движения воздуха или газа определяют анемометрами и микроанометрами.

*Анемометр* — прибор, состоящий из турбинки и счетчика ее оборотов. При вращении турбинки, помещенной в движущийся газовый поток, счетчик оборотов отмечает число оборотов. Скорость газа

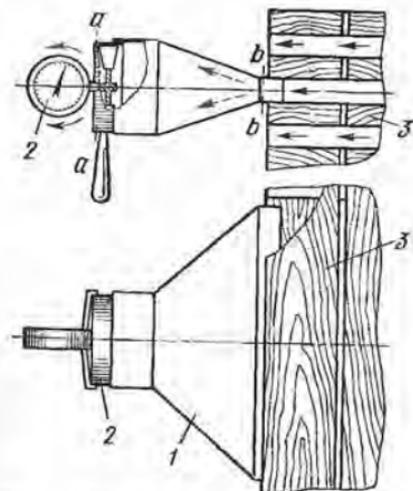


Рис. 102. Прибор для измерения скорости движения сушильного агента в штабеле:

1 — диффузор, 2 — анемометр, 3 — доски штабеля

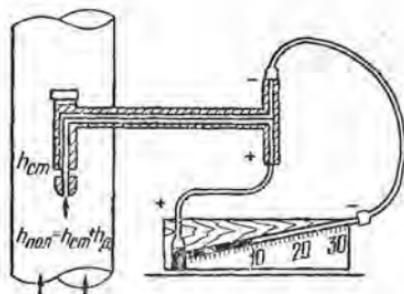


Рис. 103. Схема измерения динамического напора пневмометрической трубкой и микроанометром

(м/с) определяют по числу оборотов турбинки в единицу времени (секунду) с помощью графиков или таблиц, прилагаемых к паспорту прибора.

Различают 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 используют прибор, показанный на рис. 102. 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.

Скорость движения воздуха может быть измерена микроанометром по величине динамического напора. Для этого применяют микроанометры с наклонной трубкой (тягомеры) и пневмометрическую трубку Прандтля. Трубку устанавливают в потоке и подсоединяют к микроанометру по схеме, показанной на рис. 103. Скорость движения воздуха (м/с) вычисляют по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{2h_d}{\rho}}, \quad (31)$$

где  $h_d$  — динамический напор, Па;  $\rho$  — плотность воздуха (или газа), кг/м<sup>3</sup>.

## § 65. Принципы регулирования состояния сушильного агента. Автоматические регуляторы

*Регулированием сушильного процесса* называют такой способ управления определенными параметрами сушки (температурой и степенью насыщения сушильного агента, влажностью древесины и внутренними напряжениями в ней), при котором эти параметры стремятся приобрести некоторое наперед заданное значение.

Например, в настоящее время в сушильных камерах для сушки пиломатериалов задача регулирования состоит в поддержании состояния сушильного агента ( $t$  и  $\varphi$ ) в соответствии с заданным режимом сушки. Более рационально было бы, однако, такое регулирование, при котором состояние сушильного агента поддерживалось бы в зависимости от величины внутренних напряжений. Но это пока невозможно, так как еще не разработаны датчики внутренних напряжений.

Другой пример. В барабанных сушилках для сушки стружки задача регулирования может быть сведена к стабилизации конечной влажности стружки на уровне заданной конечной 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 сушильного агента регулируют различными способами в зависимости от способа его нагревания. В сушилках с паровым обогревом, когда состояние определяется только одним параметром — температурой, последняя регулируется с помощью вентилялей или клапанов, установленных на паропроводах. Для снижения температуры в сушилке необходимо уменьшить подачу пара в калориферах, прикрывая вентиль (или клапан), а для повышения температуры, наоборот, увеличить подачу пара, открывая вентиль.

Если в сушилке с паровым обогревом состояние характеризуется двумя параметрами ( $t$  и  $\varphi$ ), температуру регулируют таким же

способом, т. е. воздействием на паровые вентили или клапаны. Степень насыщения  $\phi$  регулируют изменением кратности воздухообмена с атмосферой 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 через увлажнительные трубы. Пар через увлажнительные трубы подают в том случае, когда требуется быстро повысить  $\phi$  (например, для влагообработки древесины).

В газовых сушилках состояние сушильного агента регулируется путем воздействия на шиберы и задвижки, перекрывающие каналы подачи в камеру смешения топочных газов, отработавшей смеси и свежего воздуха, а также путем изменения количества топлива, подаваемого в топку. Для того чтобы, например, повысить температуру в сушилке, необходимо либо увеличить подачу газа из топки или газораспределительного бора, либо увеличить подачу топлива в топку. Для повышения степени насыщения (в газовых камерах для пиломатериалов) уменьшают подачу в камеру смешения свежего воздуха и соответственно увеличивают количество отработавшей смеси, направляемой на рециркуляцию.

В сушилках с электрическим обогревом температура регулируется путем включения или отключения литания электронагревателей рубильниками или магнитными пускателями.

Существует 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 режимов 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 помощью регуляторов, воздействующих на исполнительные механизмы, в зависимости от сигналов датчиков, которые воспринимают изменения параметров сушильного агента.

Регулирование температуры в сушилках осуществляется автоматическими регуляторами температуры. Для регулирования степени насыщения также применяются регуляторы температуры, которые реагируют на изменение температуры предела охлаждения. Датчик температуры этого регулятора должен снабжаться увлажнительным чехлом (аналогично смоченному термометру психрометра).

Каждый автоматический регулятор температуры имеет следующие основные элементы: датчик температуры, регулирующий прибор, исполнительный механизм и задатчик (устройство задания величины регулируемой температуры).

Датчик измеряет температуру и вырабатывает сигнал, поступающий на вход регулирующего прибора. В регулирующем приборе в зависимости от сигналов датчика и задатчика вырабатывается

управляющее воздействие на исполнительный механизм. В свою очередь исполнительный механизм воздействует на регулирующие органы (вентили, клапаны, шиберы).

Различают регуляторы прямого (РПД) и непрямого (РНД) действия.

РПД работают от энергии регулируемой среды. Область их применения очень ограничена вследствие малой точности регулирования.

Более распространены РНД, у которых воздействие сигнала датчика на регулирующий орган осуществляется через усилители мощности. Для перемещения регулирующего органа используется энергия дополнительного источника питания. Для РНД наиболее целесообразно применять электрические датчики температуры.

Регуляторы \* непрямого действия могут быть *одноканальными* (ОР) и *многоканальными* (МР). Одноканальный регулятор может регулировать только один параметр (например, температуру) в одной установке. Многоканальные регуляторы позволяют регулировать несколько параметров в ряде установок. Применяя МР, можно автоматизировать целый блок сушильных камер.

Одноканальные регуляторы целесообразно применять в цехах с небольшим числом сушилок. В хозяйствах с большим числом сушильных камер пиломатериалов, каждая из которых должна регулироваться по двум параметрам, рационально применять многоканальные регуляторы.

По принципу регулирования РНД, используемые в сушильной технике, подразделяются на следующие:

двухпозиционные, действующие по принципу «открыто — закрыто», когда регулирующий орган может находиться в двух положениях — или полностью открытом, или полностью закрытом;

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.

По виду используемой энергии регуляторы подразделяются на электрические, пневматические и электропневматические.

В системе регулирования используют исполнительные механизмы двухпозиционные и пропорционального действия. Примером двухпозиционных исполнительных механизмов могут служить электромагнитные вентили, пневматические мембран-

ные клапаны. Более универсальными являются исполнительные механизмы пропорционального действия с электроприводом. Промышленностью выпускается несколько типов таких исполнительных механизмов. Чаще всего используется механизм КДУ-1П (рис. 104).

Привод механизма осуществляется от электродвигателя 1, приводящего в движение выходной вал с кривошипом 4 через редуктор. Механизмы дистанционного управления размещены в коробке 2. Для ручного управления имеется маховичок 3. При включении электродвигателя усилительно-преобразующим устройством регулятора выходной вал начинает медленно поворачиваться. В зависимости от принципа регулирования вал может занимать либо

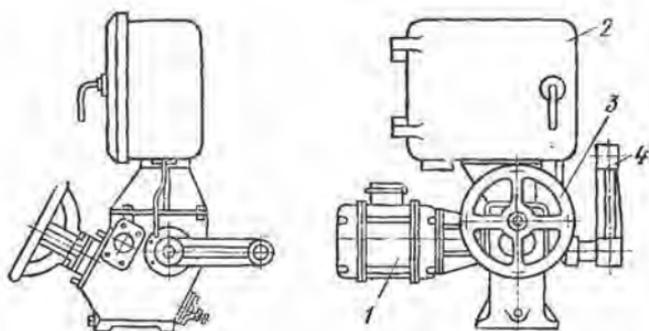


Рис. 104. Общий вид исполнительного механизма дистанционного управления КДУ-1П:

1 — электродвигатель, 2 — коробка управления, 3 — маховичок, 4 — кривошип

одну из крайних положений, либо промежуточное положение, соответствующее оптимальной степени открытия регулирующего органа. Выходной вал с кривошипом (как показано на рисунке) может воздействовать на регулирующий орган любого типа с поступательным перемещением. Регулирующий орган с винтовым перемещением (паровые вентили, задвижки) соединяют с выходным валом исполнительного механизма посредством зубчатой пары.

## § 66. Системы автоматического регулирования состояния сушильного агента

Системой автоматического регулирования (САР) называют совокупность объекта регулирования и автоматического регулятора, которая предназначена для поддержания регулируемой величины, например температуры  $t$ , равной заданному значению  $t_0$ .

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 за-

зависимости от времени или состояния древесины (влажности, внутренних напряжений). Такие системы, в которых  $t_0 = f(\tau)$ , где  $f(\tau)$  — известная функция времени, называют *системами программного регулирования*. Эти системы пока не нашли широкого применения в технологии сушки древесины.

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  $F(\tau)$  —

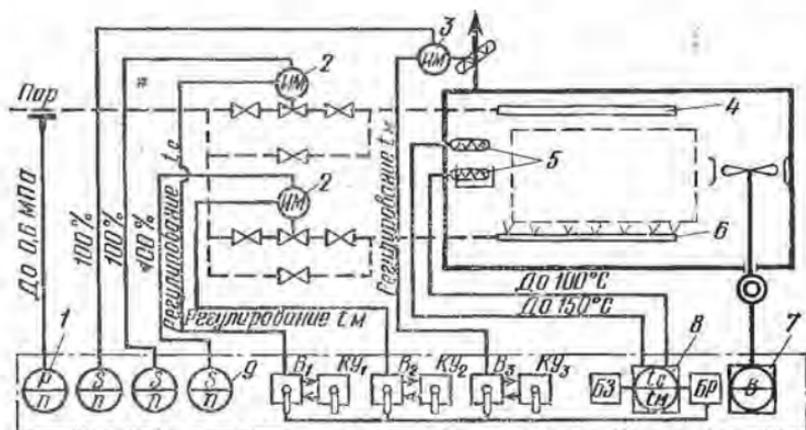


Рис. 105. Схема САР сушильной камеры периодического действия: 1 — манометр, 2, 3 — исполнительные механизмы, 4 — калорифер, 5 — датчики температуры, 6 — увлажнительная труба, 7 — автомат реверсирования электродвигателей, 8 — измерительно-регулирующее устройство, 9 — указатели положения

неизвестная заранее функция времени, называется *следящей системой*.

Наиболее удобны и перспективны в технике сушки древесины САР, основанные на применении выпускаемых промышленностью электрических регуляторов непрямого действия.

В качестве примера рассмотрим принцип действия системы автоматической стабилизации параметров среды в сушильной камере периодического действия, схема которой приведена на рис. 105. В систему входят сухой и смоченный термометры сопротивления, сигналы с которых поступают в измерительно-регулирующее устройство 8. Если регулируемый параметр отклонился от значения, заданного в блоке задатчиков БЗ, через реле БР подается сигнал на исполнительные механизмы 2 и 3, управляющие работой паровых вентилях и шибера приточно-вытяжных каналов. Исполнительные механизмы могут управляться как автоматическим регулятором, так и со щита управления вручную переключателями В и ключами КУ. Степень открытия регулирующих органов контролируется указателями положения 9. В системе имеется автомати-

ческое устройство 7 для включения и реверсирования вентиляторов камеры и манометр 1 для контроля давления пара.

Одним из наиболее простых промышленных регуляторов, пригодных для использования в рассмотренной схеме, является электрический регулятор температуры ЭРА-М. Этот регулятор двухпозиционный, работает с медными термометрами сопротивления ДТ-1 и электрическими исполнительными механизмами.

Система регулирования на базе регуляторов ЭРА-М обеспечивает поддержание заданной температуры с погрешностью  $\pm 1-2^\circ\text{C}$  и температуры смоченного термометра  $\pm 1,5-3^\circ\text{C}$ . Более высокое качество регулирования обеспечивается электронными уравновешенными мостами.

Электронные мосты КСМ2, КСМ3 и КСМ4, выпускаемые отечественной промышленностью в различных модификациях, снабжены трехпозиционными регулирующими устройствами и блоками задатчиков. Мосты изготавливаются в одно-, трех-, шести- и двенадцати-канальном вариантах. Задание по каждому каналу осуществляется независимо. Один из вариантов этих мостов (КСМ2-050) позволяет регулировать состояние среды по психрометрической разности  $(t-t_m)$ . Мосты этих типов надежны, просты в обслуживании и сравнительно недороги. Они могут работать с электрическими исполнительными механизмами любых типов.

Для автоматизации сушилок может быть использован комплект приборов для автоматического контроля и регулирования типа МР Ленинградского опытного завода по изготовлению средств контроля автоматики. Регулятор имеет 12 каналов и может обслуживать до 6 камер для сушки пиломатериалов. Диапазон регулирования температуры  $0-150^\circ\text{C}$ . Точность регулирования  $\pm 1^\circ$ . Регулирующее устройство — трехпозиционное.

В последние годы в технике сушки начали эксплуатироваться и пневматические системы регулирования. Такой системой снабжена камера непрерывного действия «Валмет». На некоторых предприятиях внедряется отечественная система пневморегулирования ПУСК-ЗД с dilatометрическими датчиками ПТПД-1-1.

Дроздов И. Я., Кунин В. М. Производство древесноволокнистых плит.— М.: Высшая школа, 1979.

Дьяконов К. Ф., Гукалов А. М. Пособие по сушке пиломатериалов.— М.: Лесная промышленность, 1978.

Леонов Л. В., Вороницын В. К. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы в деревообрабатывающей промышленности.— М.: Лесная промышленность, 1976.

Михайличенко А. Л., Садовничий Ф. П. Древесиноведение и лесное товароведение.— М.: Высшая школа, 1978.

Руководящие материалы по камерной сушке пиломатериалов.— Архангельск: ЦНИИМОД, 1977.

Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины.— М.: Лесная промышленность, 1975.

Серговский П. С. Режимы и проведение камерной сушки пиломатериалов.— М.: Лесная промышленность, 1976.

Стерлин Д. М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит.— М.: Лесная промышленность, 1977.