Е. С. БОГДАНОВ, В. А. КОЗЛОВ, Н. Н. ПЕЙЧ

Справочник по сушке ДРЕВЕСИНЫ

Издание третье, переработанное

Под общей редакцией канд. техн. наук Е. С. Богданова

Одобрено Центральным научно-исследовательским институтом механической обработки древесины и рекомендовано в качестве справочника

955030

МОСКВА
«ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
1981

ВОЛОГОДСКАЯ
областная библиотека
им. И. В. Бабушкина

6п6.53(03)

УДК 174.093.2.06.047(035)

Богданов Е. С., Козлов В. А., Пейч Н. Н. Справочник по сушке древесины. Изд 3-е, перераб.— М.: Лесн. пром-сть, 1981.— 192 с.

Приведены сведения по физическим основам сушки древесины, свойствам сушильных агентов и древесины. Описаны схемы и конструкции современных лесосушильных камер, их оборудование, средства механизации и автоматизации. Даны рекомендации по технологии сушки, ее режимы, методы определения производительности камер. Перечислены области применения, правила атмосферной сушки и хранения пиломатериалов. Второе издание справочника вышло в 1966 г. В новом издании отражены изменения в области сушки древесины.

Для инженерно-технических работников; может быть полезен мастерам лесосушильных цехов лесопильно-деревообрабатывающих предприятий.

Табл. 56, ил.— 76, библиогр.— 30 назв.

Рецензент — докт. техн. наук П. С. Серговский (МЛТИ)

Б $\frac{31503-100}{037(01)-81}$ 61—81 3002000000

© Издательство «Лесная промышленность», 1981 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

За время, прошедшее после выпуска второго издания справочника (1966 г.), произошли значительные изменения в технике и технологии сушки, особенно массовой сушки товарных пиломатериалов на лесопильных предприятиях. Увеличились мощности камерной сушки пиломатериалов благодаря строительству новых камер непрерывного действия. Стали выпускаться машиностроительной промышленностью сборные металлические камеры (СП-5КМ, СПВ-62, СПМ-2К, СПВ-62М и др.). Разработаны новые средства автоматизации и механизации процессов сушки, тепловое и вентиляционное оборудование камер. По технологии камерной сушки пиломатериалов используются в промышленности разнообразные инструктивные материалы. Разработаны и внедрены стандарты по режимам сушки в камерах периодического и непрерывного действия.

Одним из основных направлений экономического и социального развития СССР на 1981—1985 гг. выдвинуто создание «научных основ технологий комплексного использования сырья и побочных продуктов, сберегающих энергетические и трудовые ресурсы».[1]

В связи с расширением комплексного использования древесины роль сушки возрастает. Особенно большое развитие получает камерная сушка пиломатериалов, в том числе массовая сушка на лесопильных предприятиях. В 1968 г. объем камерной сушки на предприятиях Минлеспрома СССР составлял примерно 8 млн. м³ в год, а в 1978 г.— 12,7 млн. м³ в год.

При подготовке третьего издания авторы переработали гл. 1, 2, 3 и 10; гл. 4, 5, 6, 7, 8 и 9 написаны заново. В справочнике отражены новые техника и технология сушки пиломатериалов с учетом последних достижений отечественного и зарубежного опыта. Особое внимание уделено вопросам повышения качества сушки и эффективности работы сушильных установок и оборудования.

В написании книги приняли участие Е. С. Богданов (гл. 5, 7, 8, 9, параграфы 4.1, 4.3 и совместно с Н. Н. Пейч гл. 1 и 3); В. А. Козлов (параграф 4.2 и совместно с Е. С. Богдановым гл. 6); Н. Н. Пейч (гл. 2, 10).

Все замечания и предложения читателей относительно содержания справочника авторы просят направлять по адресу: 101000, Москва, ул. Кирова, 40а, издательство «Лесная промышленность».

---

[1] Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года. М., 1981, с. 23.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СУШИЛЬНЫХ АГЕНТОВ

1.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООБРАЗНЫХ АГЕНТОВ СУШКИ И СВОЙСТВА ВОДЯНОГО ПАРА

Сушильным агентом называется среда, в которой происходит сушка древесины. Сушильный агент должен обеспечивать подвод тепла к материалу и поглощать испаренную из него влагу. При камерной сушке пиломатериалов сушильными агентами могут быть атмосферный воздух, топочные газы или смесь их с воздухом, водяной пар (перегретый). Основными параметрами, характеризующими термодинамическое состояние системы, являются удельный объем (плотность), температура и давление.

Средней плотностью называется отношение массы тела к его объему:

$$\rho_{ср} = m/V. \qquad (1.1)$$

Удельным объемом называется величина обратная плотности: $V = 1/\rho$. Для однородного тела удельный объем равен отношению его объема к массе, т. е. объему элемента этого тела, масса которого равна единице.

Температура — это тепловое состояние тела (или системы), характеризующееся его способностью обмениваться теплом с другим телом (или системой) [1]. Температуру измеряют только косвенно по значению какой-либо физической величины, зависящей от измеряемой температуры. В этом случае устанавливают опорное (реперное) состояние выбранной физической величины и приписывают ему некоторое определенное числовое значение температуры с тем, чтобы любое изменение состояния выбранной физической величины относительно опорного могло быть выражено в единицах температуры. Совокупность значений температуры, соответствующих ряду последовательных изменений состояния (т. е. ряду значений) выбранной температурозависимой величины, образует температурную шкалу.

В СССР с 1976 г. установлены практические температурные шкалы для обеспечения единства измерений температуры в широком диапазоне ее изменения и разработаны методы их осуществления (ГОСТ 8.157—75). Эти температурные шкалы установлены с учетом рекомендаций Международного комитета мер и весов. Единицей температуры по указанным шкалам, как и единицей термодинамической температуры, является кельвин (К). Допускается применение единицы температуры — градус Цельсия (°С). Единица Кельвин определена как 1/273,15 часть термодинамической температуры тройной точки воды (точки равновесия воды в твердой, жидкой и газообразной фазе, лежащей выше точки таяния льда на 0,01 °С). Градус Цельсия равен кельвину, поэтому температурные разности (интервалы) могут быть выражены в кельвинах и в градусах Цельсия.

Между температурой T, выраженной в кельвинах, и температурой t, выраженной в градусах Цельсия, установлено соотношение

$$t = T - 273{,}15\ K. \qquad (1.2)$$

В зарубежной литературе наряду с обозначением температуры в К и °С используется градус Фаренгейта (F). Числовые значения температуры, выраженной в градусах одной шкалы, пересчитывают в градусы другой по следующим формулам:

$$n\,°\mathrm{C} = n\,\mathrm{K} - 273{,}15 = (5/9)\,(n\,\mathrm{F} - 32); \tag{1.3}$$

$$n\,\mathrm{K} = n\,°\mathrm{C} + 273{,}15 = (5/9)\,n\,\mathrm{F} + 255{,}37. \tag{1.4}$$

Давлением называется физическая величина P, равная пределу отношения численного значения ΔFn нормальной силы, действующей на участок поверхности тела площадью ΔS, к величине ΔS при ΔS, стремящейся к нулю:

$$P = \lim_{\Delta S \to 0} (\Delta Fn/\Delta S) = dFn/(dS). \tag{1.5}$$

Смесью газов называется совокупность нескольких разнородных газов, которые при рассматриваемых условиях не вступают друг с другом в химические реакции.

Парциальным давлением P_i i-го газа в смеси называется давление, под которым находился бы этот газ, если бы из смеси были удалены все остальные газы, а объем и температура сохранились прежними:

$$P_i = (M_i/\mu_i)\,(RT/V), \tag{1.6}$$

где V и T — объем и температура смеси; M_i и μ_i — масса и молекулярный вес i-го газа; R — газовая постоянная.

Согласно закону Дальтона давление смеси идеальных газов равно сумме их парциальных давлений:

$$P = \sum_{i=1}^{N} P_i = \frac{RT}{V} \sum_{i=1}^{N} \frac{M_i}{\mu_i}. \tag{1.7}$$

Водяной пар присутствует в воздухе, в топочных газах, может быть сушильным агентом в чистом виде. Пар, находящийся в фазовом равновесии с водой, называется насыщенным, а его давление в этом состоянии — давлением насыщения. Между температурой и давлением насыщения пара существует строгая взаимозависимость. Основные параметры сухого насыщенного пара представлены в табл. 1.1 [15].

При охлаждении насыщенного пара часть его конденсируется, и мельчайшие капли воды, находясь во взвешенном состоянии, образуют видимый туман. Такой пар называется влажным. Перегретый пар имеет более высокую температуру, чем насыщенный при том же давлении. Перегретый пар получается нагреванием насыщенного пара при постоянном давлении. Разность температур перегретого и насыщенного пара называется **степенью перегрева.**

Перегретый пар испаряет влагу (воду). Этот процесс при постоянном давлении сопровождается понижением температуры пара и переходом его в состояние насыщения. Чистый перегретый пар при атмосферном давлении имеет температуру по сухому термометру выше 100 °С, а по смоченному — около 100 °С.

1.1. Основные параметры сухого насыщенного водяного пара

Температура парообразования, °С	Давление насыщения, кПа	Объем жидкости, л/кг	Объем пара, м³/кг	Плотность пара, кг/м³	Теплота жидкости, кДж/кг	Теплота парообразования, кДж/кг	Полная теплота, кДж/кг
0	0,611	1,0001	206,5	0,004843	0,04	2501	2501
10	1,227	1,0003	106,4	0,009398	41,99	2519	2477
20	2,337	1,0018	57,81	0,01730	93,86	2538	2454
30	4,242	1,0043	32,93	0,03037	125,6	2556	2430
40	7,375	1,0078	19,54	0,05118	167,5	2574	2406
50	12,33	1,0121	12,02	0,08320	269,3	2592	2382
60	19,92	1,0167	7,677	0,13026	251,1	2609	2358
70	31,15	1,0227	5,046	0,1982	293,0	2627	2334
80	47,36	1,0290	3,406	0,2936	334,9	2644	2309
90	70,11	1,0359	2,370	0,4219	376,9	2660	2283
100	101,32	1,0433	1,674	0,5974	419,1	2676	2257
110	143,3	1,0513	1,210	0,8254	461,3	2692	2230
120	198,5	1,0592	0,891	1,122	503,7	2707	2203
130	270,1	1,0678	0,668	1,497	546,3	2721	2174
140	361,4	1,0772	0,508	1,968	589,1	2734	2145
150	476	1,0878	0,3926	2,547	632,2	2746	2114
160	618	1,0995	0,3074	3,253	675,5	2758	2082
170	792	1,1124	0,2431	4,114	719,1	2768	2049
180	$1{,}003 \cdot 10^3$	1,1260	0,1945	5,141	763,1	2777	2014
190	$1{,}225 \cdot 10^3$	1,1407	0,1574	6,353	807,5	2785	1977
200	$1{,}555 \cdot 10^3$	1,566	0,1287	7,770	852,4	2791	1939

Отношение фактического давления пара определенной температуры к давлению его насыщения при этой температуре называется степенью насыщенности пара и обозначается

$$\varphi = P/P_{н}. \qquad (1.8)$$

Насыщенный пар характеризуется $\varphi = 1$.

Теплоемкость водяного пара $c_{п} = 1{,}926$ кДж/кг·град. Скрытая теплота испарения воды при 0 °С равна 2490 кДж/кг. Приближенная зависимость теплоты испарения r от температуры выражается уравнением:

$$r = 2490 - 2{,}3t \text{ кДж/кг}. \qquad (1.9)$$

1.2. СВОЙСТВА И ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Влажный воздух представляет собой смесь сухого воздуха и водяного пара. Примером такой смеси является атмосферный воздух. Давление воздуха измеряется в технических и физических атмосферах, миллиметрах ртутного и водяного столба, а по системе СИ — в ньютонах на квадратный метр и в барах. В теплотехнических расчетах сушилок принимается среднее значение атмосферного давления, равное 745 мм рт. ст.

Атмосферное давление влажного воздуха равно сумме парциальных давлений сухого воздуха $P_{в}$ и находящегося в смеси с ним пара $P_{п}$ (закон Дальтона):

$$P = P_{в} + P_{п}. \qquad (1.10)$$

Плотность влажного воздуха представляет собой общую массу воздуха и водяного пара в единице объема, т. е.

$$\rho = \rho_в + \rho_п. \tag{1.11}$$

Удельный объем влажного воздуха $V_в$, т. е. объем, занимаемый 1 кг смеси воздуха и пара, представляет собой величину обратную ρ. Для смеси воздуха с паром приближенно можно считать справедливым также следующие уравнения состояния:

$$P_п V_п = R_п T; \quad P_в V_в = R_в T, \tag{1.12}$$

где $R_п$ — газовая постоянная для водяного пара, равная 461,19 Дж/кг·град; $R_в$ — газовая постоянная для воздуха, равная 286,85 Дж/кг·град; $V_п$ и $V_в$ — удельные объемы водяного пара и воздуха; $P_п$ и $P_в$ — парциальные давления водяного пара и воздуха; T — абсолютная температура, К.

Абсолютная влажность воздуха измеряется массой $\rho_п$ пара в единице объема влажного воздуха. Абсолютная влажность — величина обратная удельному объему $V_п$ пара, т. е. $\rho_п = 1/V_п$. Следовательно, $\gamma_п = P_п/(R_п T)$.

Влагосодержание воздуха определяется массой пара в килограммах или граммах, отнесенной к 1 кг сухого воздуха, т. е. отношением плотности пара к плотности воздуха (кг/кг):

$$x = \rho_п/\rho_в. \tag{1.13}$$

В тепловых расчетах сушилок принято выражать влагосодержание в граммах на килограмм сухого воздуха и обозначать буквой $d = 1000\,x$ г/кг. Так как $d = (\rho_п/\rho_в)\,10^3$, то

$$d = \frac{P_п R_в T}{P_в R_п T}\,10^3 = \frac{286{,}85\,P_п}{461{,}1\,P_в}\,10^3 = 622\,\frac{P_п}{P - P_п}. \tag{1.14}$$

Влагоемкость — величина, характеризующая массу пара, насыщающего единицу объема воздуха при данных t и P. Иными словами, это **абсолютная влажность воздуха** в состоянии насыщения паром (кг/м³):

$$\rho_н = P_н/(R_п T), \tag{1.15}$$

где $P_н$ — давление насыщения пара при заданной температуре.

Относительная влажность воздуха — отношение *абсолютной влажности* воздуха к его влагоемкости, т. е.

$$\varphi = \rho_п/\rho_н = P_п/P_н. \tag{1.16}$$

Теплоемкость сухого воздуха $c_в = 1005$ Дж/кг·град. **Теплоемкость влажного воздуха** на 1 кг содержащейся в нем сухой части воздуха выражается уравнением:

$$c_{в.\,в} = c_в + c_п\,\frac{d}{1000}\,\frac{4{,}186}{\text{кДж/кг·град}}. \tag{1.17}$$

Энтальпия воздуха (теплосодержание) выражает количество тепла в джоулях, содержащегося в 1 кг воздуха при данных температуре и давлении. Энтальпия сухого воздуха (Дж/кг)

$$I_{с.\,в} = c_п t. \tag{1.18}$$

1.2. Теплоемкость водяного пара $c_п$ и сухого воздуха $c_в$ при различных температурах

Температура, °С	Теплоемкость, кДж/кг·град		Температура, °С	Теплоемкость, кДж/кг	
	$c_п$	$c_в$		$c_п$	$c_в$
0	1,8594	1,0036	1000	2,1436	1,0907
100	1,8728	1,0061	1200	2,2106	1,1082
200	1,8937	1,0115	1400	2,2743	1,1242
400	1,9477	1,0283	1600	2,3346	1,1380
600	2,0092	1,0496	1800	2,3907	1,1501
800	2,0754	1,0710	2000	2,4422	1,1610

Энтальпия влажного воздуха (кДж/кг·град)

$$I_{в.\,в} = c_в t + (c_п t + r_0)\,(d/1000), \qquad (1.19)$$

где $c_в = 1{,}005$ кДж/кг·град (теплоемкость сухого воздуха); $c_п = 1{,}926$ кДж/кг·град (теплоемкость водяного пара); $r_0 = 2490$ кДж/кг (теплота парообразования).

Значения теплоемкости воздуха и водяного пара приведены в табл. 1.2.

Температурой точки росы называется такая, которой достигает воздух, охлаждаясь о сухую поверхность (при постоянном влагосодержании) до состояния насыщения.

Температурой предела охлаждения называется такая, которой достигает воздух, испаряя влагу (при постоянной энтальпии) до состояния насыщения. Температура предела охлаждения измеряется термометром, шарик которого обернут смоченной в воде тканью. Такой термометр принято называть смоченным в отличие от обычного сухого, измеряющего температуру воздуха.

При расчете процессов сушки параметры влажного воздуха определяются по *Id*-диаграмме проф. Л. К. Рамзина. В приложении 1 дается *Id*-диаграмма, позволяющая производить расчеты в диапазоне влагосодержания 0—500 г/кг при температурах до 125 °С. Диаграмма построена для барометрического давления $P = 745$ мм рт. ст., что соответствует условиям средней широты европейской части СССР. Значения энтальпии влажного воздуха I откладываются на диаграмме по вертикали от наклонной оси $I = 0$, значения влагосодержания воздуха d — по горизонтали от вертикальной оси $d = 0$. Линии $d = \text{const}$ изображаются вертикальными прямыми, линии постоянной энтальпии $I = \text{const}$ (адиабаты) — прямыми, наклонными к оси ординат. Линии изотерм $t = \text{const}$ обозначаются слегка расходящимися прямыми, причем линия $t = 100°$ С горизонтальна.

В верхней части диаграммы нанесены значения парциальных давлений водяного пара $P_п$ в миллиметрах водяного столба. *Id*-диаграмма позволяет решать графическим путем ряд вопросов при расчете сушилок, в частности определять параметры влажного воздуха, строить графики нагревания воздуха, испарения влаги, смешения воздуха разных состояний, вычислять расходы тепла и воздуха в процессе сушки и т. д. На *Id*-диаграмме можно нанести также значения удельного веса и удельного объема воздуха, изменяющихся в зависимости от его температуры и относительной влажности.

Как уже указывалось, состояние воздуха, паровоздушных и парогазовых смесей при атмосферном давлении однозначно определяется какими-либо двумя параметрами. В сушильной технике исходными параметрами воздуха принято считать температуру и степень насыщения паром φ. Эти параметры можно определить с помощью психрометров, простейший из которых состоит из двух ртутных термометров. Воспринимающий элемент (шарик) одного термометра непрерывно смачивается через марлевый или батистовый чехол, конец которого опущен в сосуд с водой. Этот термометр называется смоченным и измеряет температуру предела охлаждения при

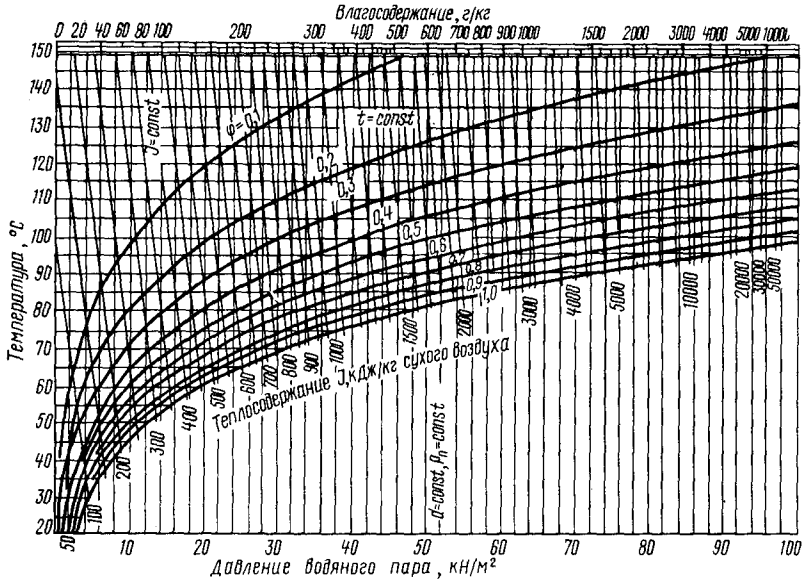


Рис. 1.1. *tp*-диаграмма состояний смеси воздуха с водяным паром

испарении. Степень насыщения по показаниям психрометра (температурам по сухому и смоченному термометрам) находят по специальной психрометрической таблице (приложение 2).

В связи с применяемыми в сушильной технике высокотемпературными режимами, термовлагообработкой при повышенных температурах и высоких степенях насыщенности φ влагосодержание сушильного агента становится весьма значительным, выходящим за пределы существующих *Id*-диаграмм. Для графической характеристики таких состояний влажного воздуха предложена [13] *tp*-диаграмма, построенная в координатах температура — давление пара (рис. 1.1). Построение этой диаграммы аналогично построению *Id*-диаграммы, так как влагосодержание функционально связано с давлением пара (1.14). Степень насыщенности пара достаточно точно в зависимости от температуры находится по *tp*-диаграмме. Крайняя правая вертикаль характеризует перегретый пар (давление $P_п = 10^5$ Па и влагосодержание $d \to \infty$).

1.3. СВОЙСТВА ТОПОЧНЫХ ГАЗОВ И $Id\alpha$-ДИАГРАММА

Относительная влажность топлива W_0 выражается в процентах к общей массе влажной древесины:

$$W_0 = 1000\,[(m_1 - m_2)/m_1], \qquad (1.20)$$

где m_1 — масса влажной древесины; m_2 — масса абсолютно сухой древесины.

Коэффициент избытка воздуха есть отношение количества воздуха, фактически введенного в топку, к теоретически необходимому количеству воздуха:

$$\alpha = G_a/G_0. \qquad (1.21)$$

Для топок газовых сушилок принимается $\alpha \geqslant 2$.

Влагосодержание топочных газов (приближенная формула для производственных расчетов, рекомендуемая И. В. Кречетовым) [12]

$$\alpha = (210 + 75{,}7\,W_0)/[\alpha\,(100 - W_0)] \text{ г/кг}. \qquad (1.22)$$

Энтальпия топочных газов, образующихся в результате сжигания древесного топлива, не зависит от влажности топлива и определяется формулой

$$I_{т.\,г} = (3320{,}3\,\eta_т - \alpha\,I_0)/(0{,}072 + \alpha) \text{ кДж/кг}, \qquad (1.23)$$

где I_0 — энтальпия внешнего воздуха, поступающего в топку, кДж/кг; α — коэффициент избытка воздуха; $\eta_т$ — КПД топки.

Для удобства расчетов, связанных с процессом сушки в среде топочных газов, полученных от сжигания древесного топлива, было предложено [12] нанести на Id-диаграмму влажного воздуха кривые коэффициента избытка воздуха $\alpha = \text{const}$ и кривые относительной влажности древесного топлива $W_0 = \text{const}$, расширив температурную шкалу диаграммы до 1200 °С. Так была построена $Id\alpha$-диаграмма для расчета газовых сушилок. Эта диаграмма (см. приложение 3) позволяет по двум заданным параметрам:

находить остальные параметры, характеризующие состояние топочных газов;

определять среднюю влажность сжигаемого топлива, его удельный расход на 1 кг сухих газов, коэффициент избытка воздуха;

изображать графически процессы сушки и влагообмена в среде топочных газов.

Глава 2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

2.1. СТРОЕНИЕ

Древесина состоит в основном из толстостенных клеток удлиненной формы, ориентированных вдоль оси ствола. У хвойных пород эти клетки носят название **трахеид**, а у лиственных — клеток **либриформа**. Между толстостенными клетками, обусловливающими прочность древесины, расположены группами клетки с более тонкими стенками, служащие резервуарами для отложения питательных веществ и называемые клетками **древесной паренхимы**. К паренхиме относят, в частности, клетки сердцевинных лу-

чей, ориентированные по радиусу ствола. Кроме того, в древесине лиственных пород имеются клетки трубчатой формы — **сосуды**, а в древесине хвойных пород — **смоляные ходы.** Полости клеток сообщаются между собой отверстиями, обычно перегороженными тонкой мембраной (окаймленные и простые поры), через которую могут проходить жидкости и газы.

Клеточные стенки в свою очередь состоят из ряда концентрических слоев, образованных путем соединения более мелких волоконец — **фибрилл,** представляющих субмикроскопические образования. Согласно мицеллярной теории строения древесины фибриллы состоят из еще более мелких образований — микрофибрилл (пучков ориентированных цепных молекул целлюлозы), окруженных молекулами гемицеллюлозы и лигнина и образующих весьма тонкую ткань с пространствами, занятыми влагой.

Таким образом, древесина представляет собой коллоидный материал, имеющий четко выраженную капиллярно-пористую структуру и характеризующийся наличием макро- и микрокапилляров. К первым относятся полости клеток, ко вторым — межфибриллярные пространства. Влага, содержащаяся в макрокапиллярах, носит название свободной, а влага, заполняющая микрокапиллярные пространства,— связанной или гигроскопической. Предел содержания в древесине гигроскопической влаги (предел гигроскопичности) одинаков для всех древесных пород и составляет при комнатной температуре около 30 % по отношению к массе абсолютно сухой древесины. Предел гигроскопичности $W_{п.г}$ соответствует максимальной влажности древесины (клеточных стенок) при увлажнении ее в насыщенном влагой воздухе.

Предел насыщения $W_{п.н}$ характеризует максимальную влажность клеточных стенок древесины свежесрубленной или увлажненной путем выдержки в воде. Изменение температуры на величину предела насыщения практически не влияет, а предел гигроскопичности с повышением температуры заметно снижается: например, при 100 °С составляет 19—20 %.

Свободная влага связана с древесиной лишь механически, и ее удаление при сушке не вызывает структурных изменений древесины. Удаление **гигроскопической влаги** влечет за собой изменение размеров структурных элементов, что проявляется в форме усушки древесины. **Абсолютно сухой** древесиной называется такая, из которой удалена вся свободная и гигроскопическая влага.

2.2. ПЛОТНОСТЬ И ВЛАЖНОСТЬ

Плотность (объемная масса) материала определяется отношением его массы к объему. Она измеряется в килограммах на кубический метр или в граммах на кубический сантиметр и зависит от породы древесины и содержания в ней влаги. Плотность влажной древесины представляет собой отношение массы образца при данной влажности к его объему при той же влажности:

$$\rho_W = m_W / V_W, \qquad (2.1)$$

где ρ_W — плотность древесины при влажности W, г/см³ или кг/м³; m_W — масса образца при влажности W, г или кг; V_W — объем образца при влажности W, см³ или м³.

Увлажнение абсолютно сухой древесины приводит к увеличению массы образца. При этом повышение содержания связанной влаги вызывает одновременное увеличение объема образца. Увеличение содержания свободной влаги отражается только на массе образца. Зависимости между плотностью влажной древесины ρ_W и плотностью абсолютно сухой древесины ρ_0 имеют вид [27]:

$$\rho_W = \rho_0 \frac{100 + W}{K_p W + 100} \text{ при } W < 30\% \tag{2.2}$$

и

$$\rho_W = \rho_0 \frac{100 + W}{K_p 30 + 100} \text{ при } W > 30\%, \tag{2.3}$$

где K_p — коэффициент объемного разбухания, % на процент влажности древесины.

При технологических расчетах, в том числе процессов сушки древесины, принято пользоваться ее условной плотностью. **Условная плотность** древесины характеризует количество (массу) абсолютно сухого древесинного вещества в единице объема максимально разбухшей или свежесрубленной древесины и вычисляется по формуле

$$\rho_{усл} = m_0 / V_{max}, \tag{2.4}$$

где $\rho_{усл}$ — условная плотность древесины, г/см³ или кг/см³; m_0 — масса образца древесины при $W=0$, г или кг; V_{max} — объем образца древесины при $W \geqslant W_{п.н}$, см³ или м³.

Условная плотность не зависит от влажности древесины. Поскольку плотность древесины существенно зависит от ее влажности, в справочниках приводятся значения плотности при **стандартной влажности.** До последнего времени в СССР стандартная влажность была равна 15 %. Однако в связи с рекомендацией комиссии по стандартизации Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) все показатели физико-механических свойств древесины определяются при влажности 12 % или пересчитываются на эту новую стандартную влажность.

В табл. 2.1 даны значения средней условной плотности для наиболее распространенных пород древесины. Плотность при влажности 15 % на ее значение при влажности 12 % можно пересчитать по формулам [27]:

$$\rho_{15} = 1{,}01\, \rho_{12} \text{ при } K_p = 0{,}6; \tag{2.5}$$

$$\rho_{15} = 1{,}012\, \rho_{12} \text{ при } K_p = 0{,}5. \tag{2.6}$$

2.1. Средняя условная плотность древесины

Порода	$\rho_{усл}$, кг/м³	Порода	$\rho_{усл}$, кг/м³	Порода	$\rho_{усл}$, кг/м³
Кедр	350	Ольха	420	Бук	530
Ель	360	Береза	500	Ясень	540
Сосна	400	Лиственница	520	Дуб	560

Для количественной характеристики содержания влаги в древесине используют отношение массы влаги, содержащейся в древесине, к массе древесины. Различают влажность относительную, вычисленную по отношению к общей массе древесины:

$$W_э = [(m - m_c)/m]\,100\%, \qquad (2.7)$$

и влажность абсолютную, вычисленную по отношению к массе сухой древесины:

$$W = [(m - m_c)/m_c]\,100\%, \qquad (2.8)$$

где m — масса образца влажной древесины, г; m_c — масса образца абсолютно сухой древесины, г.

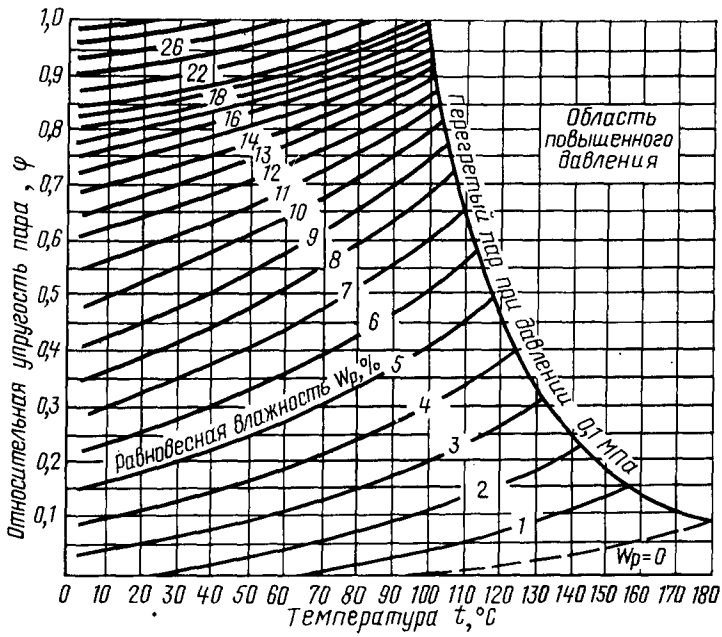


Рис. 2.1. Диаграмма равновесной влажности

Показатель «относительная влажность» используют при оценке влажности дров и другого топлива. При сушке всегда применяют абсолютную влажность, поэтому в дальнейшем термин влажность используется только по отношению к массе сухой древесины. Влажность древесины определяется согласно ГОСТ 16588—79 методом высушивания или электровлагомерами.

При выдерживании древесины на воздухе определенного состояния ее влажность становится устойчивой; это достигается, когда упругость паров окружающего воздуха сравняется с упругостью паров воды у поверхности древесины. Устойчивая влажность древесины, выдержанной длительное время при определенных значениях t и φ, практически одинакова для всех пород, но несколько зависит от направления процесса. Если древесина

поглощает влагу из воздуха (сорбция), устойчивая влажность оказывается меньше той, которая достигается, если древесина отдает влагу в воздух (десорбция). Эту разницу между устойчивыми влажностями принято называть **гистерезисом сорбции.** При сорбции и десорбции изменяется содержание связанной влаги. Измельченная древесина (опилки, стружки) с большой удельной поверхностью имеет очень малый гистерезис сорбции и ее устойчивую влажность называют **равновесной** ($W_р$). У сортиментов из древесины толщиной более 15 мм и шириной более 100 мм гистерезис сорбции составляет около 2,5 %. Таким образом, равновесная влажность досок и других крупных сортиментов меньше устойчивой влажности десорбции, но больше устойчивой влажности сорбции примерно на 1,3 %.

Связи между равновесной влажностью древесины и состоянием воздуха показывает диаграмма, приведенная на рис. 2.1. При данной температуре и степени насыщенности воздуха влагой (относительной упругости пара) равновесную влажность по диаграмме находят следующим образом. Например, $t=20$ °С, а $\varphi=0{,}6$; соответствующие вертикальная и горизонтальная прямые пересекаются в точке, которая оказывается расположенной между двумя наклонными кривыми $W_р=11$ % и $W_р=12$%; интерполируя, получают искомую равновесную влажность древесины, равную 11,2 %.

Для определения устойчивой влажности сортиментов промышленного размера (пиломатериалов и заготовок), подвергшихся камерной сушке, можно принять:

$$W_{у.д}=W_р; \quad W_{у.с}=W_р-2{,}5, \tag{2.9}$$

где $W_{у.д}$ — устойчивая влажность десорбции; $W_{у.с}$ — устойчивая влажность сорбции.

2.3. УСУШКА

Уменьшение линейных размеров и объема древесины при удалении из нее связанной влаги называется усушкой. Начинается усушка после того, как влажность древесины при любой температуре становится ниже предела насыщения клеточных стенок. Уменьшение содержания свободной влаги в древесине не вызывает ее усушки.

Связанная влага, как отмечалось выше, находится в клеточных стенках, преимущественно в промежутках между микрофибриллами и частично внутри самих микрофибрилл. Поскольку микрофибриллы в основном ориентированы по направлению продольной оси клетки, удаление связанной влаги приводит к уменьшению толщины клеточных стенок и поперечных размеров клетки. Следовательно, наибольшая усушка древесины должна быть в поперечных направлениях. Продольная усушка, которая обусловлена некоторым наклоном микрофибрилл, в десятки раз меньше, так как составляет лишь долю основной поперечной деформации. В тангенциальном направлении поперек волокон усушка в 1,5—2 раза больше, чем в радиальном. Величина усушки пропорциональна плотности древесины: чем выше содержание клеточных стенок в единице объема (т. е. чем больше находится в данном объеме древесины связанной влаги), тем больше усушка.

Под полной, или максимальной, усушкой I_{max} понимают уменьшение линейных размеров или объема древесины при удалении всего количества

связанной влаги. Следовательно, для определения I_{max} влажность древесины должна быть снижена от предела насыщения до нуля. Измеренное при этом уменьшение размеров (объема) образца относится к размеру (объему) образца при пределе его насыщения и выражается в процентах. Формула для вычисления полной усушки имеет вид:

$$I_{max} = [(a_{max} - a_0)/a_{max}]\,100\%, \qquad (2.10)$$

где a_{max} — размер (объем) образца при пределе насыщения, мм ($мм^3$); a_0 — размер (объем) образца в абсолютно сухом состоянии, мм ($мм^3$).

Полная усушка древесины отечественных пород составляет в тангенциальном направлении 6—10 %, в радиальном — 3—5 %, а вдоль волокон — 0,1—0,3 %. Полная объемная усушка находится в пределах 12—15 %. Для расчетов влажностной деформации необходимо располагать **коэффициентом усушки** определяющим ее величину при снижении содержания связанной влаги в древесине на 1 %.

С достаточной степенью точности можно полагать, что усушка пропорциональна убыли связанной влаги. Коэффициент усушки вычисляется по формуле с точностью до 0,01 % на процент влажности древесины:

$$K_y = I_{max}/30, \qquad (2.11)$$

где 30 — среднее значение предела насыщения, %.

Об усушке древесины наиболее распространенных отечественных пород можно судить по данным, приведенным в табл. 2.2.

Полная объемная усушка (%)

$$I'_{max} = W_{п.\,н}\,\rho_{усл}/1000 \approx 0{,}028\,\rho_{усл}. \qquad (2.12)$$

Полная линейная усушка в тангенциальном и радиальном направлениях соответственно равна:

$$I^{т}_{max} = 0{,}018\,\rho_{усл}; \quad I^{р}_{max} = 0{,}010\,\rho_{усл}. \qquad (2.13)$$

Усушка древесины учитывается при распиловке бревен на доски (припуски на усушку), при сушке пиломатериалов, шпона и т. д. Припуски на

2.2. Коэффициенты усушки K_y и разбухания $K_р$ древесины [27]

Порода	Коэффициент усушки и разбухания, % влажности					
	по объему		по радиальному направлению		по тангенциальному направлению	
	K_y	$K_р$	K_y	$K_р$	K_y	$K_р$
Лиственница	0,52	0,61	0,19	0,20	0,35	0,39
Сосна	0,44	0,51	0,17	0,18	0,28	0,31
Ель	0,43	0,50	0,16	0,17	0,28	0,31
Пихта сибирская	0,39	0,44	0,11	0,11	0,28	0,31
Кедр	0,37	0,42	0,12	0,12	0,26	0,28
Береза	0,54	0,64	0,26	0,28	0,31	0,34
Бук	0,47	0,55	0,17	0,18	0,32	0,35
Ясень	0,45	0,52	0,18	0,19	0,28	0,31
Дуб	0,43	0,50	0,18	0,19	0,27	0,29
Осина	0,41	0,47	0,14	0,15	0,28	0,30

усушку пиломатериалов из древесины хвойных пород регламентированы ГОСТ 6782.I—75.

Припуски на усушку пиломатериалов из древесины лиственных пород (по ГОСТ 6782.2—75) должны определяться по формулам:

при тангенциальном направлении

для березы, дуба, клена, ясеня,
ольхи, осины, тополя . . . . $h=0{,}0025\ A(35-W)$
для бука, граба, ильма, липы $h=0{,}0035\ A(35-W)$

при радиальном направлении

для бука, дуба, ильма, клена,
ясеня, ольхи, осины, тополя . . $h=0{,}0013\ A(35-W)$
для березы, граба, липы . . . $h=0{,}0022\ A(35-W)$

Здесь:

h — величина усушки, мм; A — размер сухих пиломатериалов по толщине и ширине, мм; W — конечная влажность древесины, %; 35 — средняя начальная влажность древесины, %, при которой начинается заметная усушка.

При вычислении усушки пиломатериалов с начальной влажностью, меньшей 35 %, в формулы вместо цифры 35 должно подставляться значение начальной влажности. Для пиломатериалов смешанной распиловки (с тангенциально-радиальным направлением слоев) должны приниматься припуски для тангенциального направления.

2.4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Применение древесины в качестве конструкционного материала и возможность осуществления многих технологических процессов ее переработки определяются способностью древесины сопротивляться действию усилий, т. е. ее механическими свойствами. К механическим свойствам древесины относятся ее прочность и деформативность, а также связанные с ними некоторые эксплуатационные и технологические свойства.

Прочность характеризует способность древесины сопротивляться разрушению под действием механических нагрузок. Показателем этого механического свойства служит **предел прочности** — максимальная величина напряжений, которые выдерживает материал без разрушения. Пределы прочности устанавливают при испытаниях образцов древесины на сжатие, растяжение, статический изгиб, сдвиг и (очень редко) при кручении. Древесина относится к анизотропным материалам, поэтому прочность определяют по разным структурным направлениям — вдоль и поперек волокон (по радиальному и тангенциальному). Механические свойства древесины зависят от ее породы, плотности, влажности и т. д. Средние показатели этих свойств приведены в табл. 2.3 [14].

Применение высоких температур (выше 100 °С) при интенсификации процесса сушки оказывает определенное влияние на прочность древесины. По данным ЦНИИМОДа, физико-механические свойства древесины, подвергнутой различным видам термообработки и испытанной в эксплуатационных условиях, ухудшаются.

2.3. Средние показатели механических свойств древесины основных пород СССР

Порода	Район произрастания	Плотность, г/см³			Коэффициент усушки на 1% влажности, %		
		при влажности 15% (ρ_{15})	в абсолютно сухом состоянии (ρ_0)	условная ($\rho_{усл}$)	радиальный ($K_р$)	тангенциальный ($K_т$)	объемный ($K_о$)
Береза обыкновенная	Европейская часть СССР, Урал, Западная Сибирь	0,64	0,61	0,51	0,28	0,33	0,64
Бук кавказский	Кавказ	0,65	0,58	0,49	0,15	0,33	0,55
Граб	Кавказ, УССР	0,81	—	0,64	—	—	0,70
Дуб	Европейская часть СССР	0,72	0,67	0,56	0,18	0,28	0,55
Ель обыкновенная	То же	0,46	0,44	0,38	0,14	0,24	0,48
Ель сибирская	Сибирь	0,45	0,43	0,37	0,16	0,29	0,50
Кедр сибирский	То же	0,45	—	0,37	0,13	0,28	0,47
Клен	СССР	0,71	0,66	0,56	0,20	0,33	0,53
Липа	Приморский край, Европейская часть СССР	0,49	0,46	0,37	0,26	0,39	0,61
Лиственница	Сибирь	0,68	0,60	0,49	0,21	0,40	0,64
Ольха	Европейская часть СССР	0,51	—	0,42	—	—	—
Орех грецкий	УССР, Кавказ	0,60	—	0,52	0,18	0,28	0,46
Осина	Европейская часть СССР	0,46	0,44	0,38	0,20	0,32	0,50
Пихта	Сибирь, Урал, Кавказ	0,41	—	0,35	0,11	0,31	0,47
Сосна	СССР	0,52	0,48	0,43	0,17	0,31	0,50
Тополь	Европейская часть СССР, Приморский край	0,42	—	0,37	0,14	0,27	0,43
Ясень европейский	Европейская часть СССР, Кавказ	0,70	0,66	0,56	0,19	0,30	0,53
Ясень маньчжурский	Приморский и Хабаровский края	0,66	0,64	0,53	0,20	0,32	0,62

ВОЛОГОДСКАЯ

Продолжение

Порода	Район произрастания	Предел прочности при 15% влажности, МПа			Ориентировочная влажность древесины на корню, %	
		при сжатии вдоль волокон (D_{15})	при статическом изгибе (B_{15})	при растяжении вдоль волокон (z_{15})	ядровой или спелой	заболонной
Береза обыкновенная	Европейская часть СССР, Урал, Западная Сибирь	47,8	96,6	—	78	78
Бук кавказский	Кавказ	46,1	93,8	129,1	—	64
Граб	Кавказ, УССР	50,3	43,4	—	60	60
Дуб	Европейская часть СССР	52,0	93,5	128,8	64	72
Ель обыкновенная	То же	40,4	72,8	115,0	40	118
Ель сибирская	Сибирь	39,2	72,4	108,4	—	—
Кедр сибирский	То же	36,3	64,8	82,0	69	115
Клен	СССР	50,2	106,6	—	51	51
Липа	Приморский край, Европейская часть СССР	36,2	65,6	105,8	63	60
Лиственница	Сибирь	54,3	98,2	122,7	82	—
Ольха	Европейская часть СССР	36,8	69,2	—	—	—
Орех грецкий	УССР, Кавказ	48,5	97,5	—	—	—
Осина	Европейская часть СССР	37,4	76,6	134,2	93	—
Пихта	Сибирь, Урал, Кавказ	32,8	55,8	65,6	101	—
Сосна	СССР	41,3	75,8	98,2	33	112
Тополь	Европейская часть СССР, Приморский край	32,4	54,9	89,0	111	—
Ясень европейский	Европейская часть СССР, Кавказ	52,5	113,5	166,5	35	36
Ясень маньчжурский	Приморский и Хабаровский края	45,0	97,9	144,4	—	—

2.5. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА

К теплофизическим свойствам древесины относятся теплоемкость, тепло- и температуропроводность, тепловое расширение. Известно, что теплоемкость материала характеризует его способность аккумулировать тепло. Показателем этого свойства является удельная теплоемкость c, представляющая собой количество тепла, необходимое для того, чтобы нагреть 1 кг массы материала на 1 °С (Дж/кг·град).

Процессы распространения (переноса) тепла в материале характеризуются двумя коэффициентами: тепло- и температуропроводности. Коэффициент теплопроводности λ численно равен количеству тепла, проходящему в единицу времени через стенку из данного материала площадью 1 м^2 и толщиной 1 м при разности температур на противоположных сторонах стенки 1 °С (Вт/м·град). При стационарном теплообмене температурное поле в материале остается постоянным во времени. Второй из указанных показателей характеризует скорость изменения температуры материала при нестационарном теплообмене (нагревании или охлаждении). Таким образом, коэффициент температуропроводности a определяет инерционность материала, т. е. его способность выравнивать температуру. Его размерность — м^2/с. Между a, λ и c существует следующая зависимость:

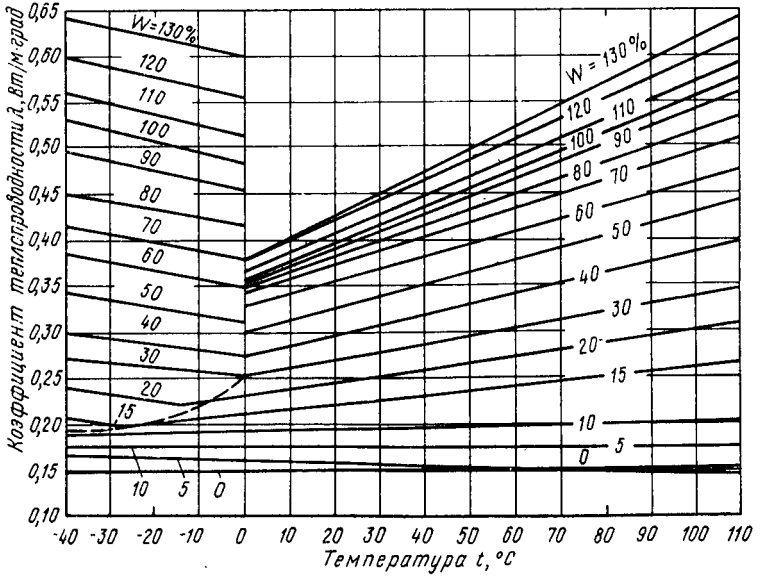
$$a = \lambda/(c\,\rho), \qquad (2.14)$$

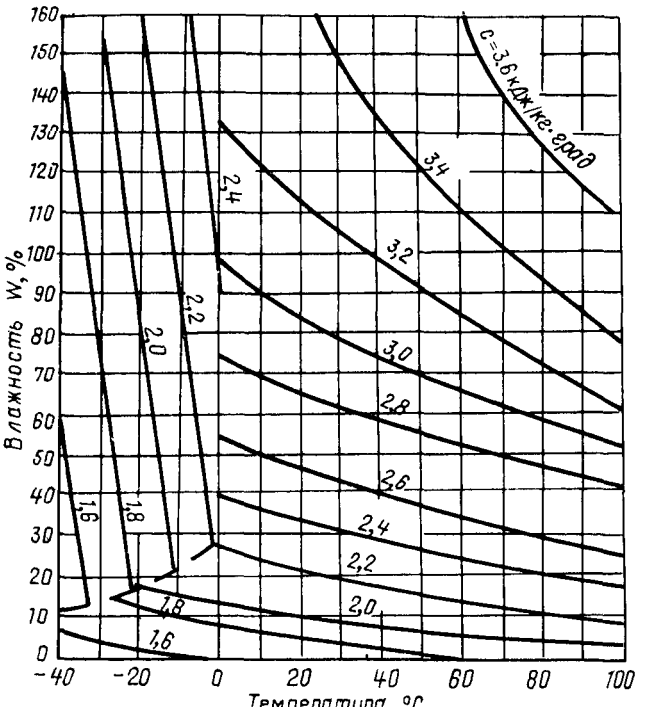
где ρ — плотность, кг/м^3.

Сухая древесина представляет собой двухфазную систему, включающую древесинное вещество и воздух. Однако доля воздуха (по массе) в древесине крайне мала и теплоемкость сухой древесины практически равна теплоемкости древесинного вещества. Поскольку состав древесинного вещества всех пород одинаков, удельная теплоемкость древесины не зависит от породы и при температуре 0° для абсолютно сухой древесины равна 1,55 кДж/кг·град. С повышением температуры удельная теплоемкость древесины несколько возрастает по линейному закону и при 100 °С увеличивается примерно на 25 %.

Значительно сильнее влияет на теплоемкость увлажнение древесины. Вода имеет по крайней мере в 2,5 раза бóльшую теплоемкость, чем древесинное вещество, поэтому увеличение влажности вызывает повышение теплоемкости древесины. Увеличение влажности древесины от 0 до 130 % приводит к повышению теплоемкости примерно в 2 раза. Одновременное влияние температуры и влажности на теплоемкость древесины можно проследить по диаграмме (рис. 2.2) [по 27]. На этой же диаграмме представлены значения теплоемкости при отрицательных температурах. Замораживание сырой древесины приводит к уменьшению теплоемкости, так как лед имеет вдвое меньшую теплоемкость, чем вода.

На теплопроводность древесины влияют многие факторы, один из которых — ее плотность. Увеличение плотности сухой древесины, т. е. повышение доли, занимаемой в единице объема древесинным веществом, приводит к возрастанию теплопроводности. Это объясняется тем, что древесинное вещество имеет примерно в 20 раз больший коэффициент теплопроводности, чем воздух.


Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м·град
0,65
0,60
0,55
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
W=130%
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
15
10
5
0
W = 130 %
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
15
10
5
0
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110
Температура t, °C


Влажность W, %
Температура, °С
c=3,6 кДж/кг·град
3,4
3,2
3,0
2,8
2,6
2,4
2,2
2,0
1,8
1,6
2,4
2,2
2,0
1,8
1,6
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-40
-20
0
20
40
60
80
100

Анизотропия древесинного вещества является главной причиной того, что теплопроводность древесины вдоль волокон больше, чем поперек. По радиальному и тангенциальному направлениям поперек волокон коэффициенты теплопроводности λ_r и λ_t могут несколько отличаться один от другого. В тангенциальном направлении вытянуты зоны поздней древесины годичных слоев. Поздняя древесина, особенно хвойных пород, более плотная, чем ранняя, а следовательно, более теплопроводная.

Увлажнение древесины, т. е. замещение содержащегося в ней воздуха водой, имеющей в 23 раза бóльшую теплопроводность, приводит к возрастанию теплопроводности древесины. Повышение температуры влажной древесины приводит к еще большему увеличению теплопроводности. Это можно проследить по обобщенной диаграмме для древесины березы, составленной в области положительных температур от 0 до 140° (рис. 2.3) [по 27]. На этом же рисунке показана диаграмма коэффициентов теплопроводности в области отрицательных температур [по 27].

Пользуясь диаграммой (см. рис. 2.3), можно определить теплопроводность других пород. Для этого, приняв значение λ для березы ($\rho_{усл}$ = =500 кг/м³) за номинальное, умножают его на коэффициент K_ρ, учитывающий плотность древесины данной породы. Ниже приведены коэффициенты K_ρ для разных значений условий плотности древесины $\rho_{усл}$:

$\rho_{усл}$	350	375	400	425	450	475	525	550	575	600
K	0,80	0,84	0,87	0,90	0,93	0,97	1,06	1,11	1,20	1,28

Для учета влияния направления теплового потока необходимо найденные значения коэффициента теплопроводности умножить на K_x, равный для дуба, бука в тангенциальном направлении 0,85, а вдоль волокон 1,6. Для остальных пород следует учесть только различие теплопроводности вдоль и поперек волокон; при потоке тепла вдоль волокон K_x=2,2.

Коэффициент температуропроводности a определяется по уравнению (2.10), если известны другие тепловые коэффициенты — λ и c. Для абсолютно сухой древесины коэффициент температуропроводности, как и коэффициент теплопроводности, зависит от ρ_0. Однако с уменьшением плотности ρ_0 коэффициент температуропроводности возрастает. Особенно это должно быть заметно для древесины малой плотности (порядка 400 кг/м³ и ниже), что связано с возрастанием в единице объема древесины доли воздуха, имеющего температуропроводность примерно в 100 раз бóльшую температуропроводности древесинного вещества. Увеличение содержания свободной влаги (W>30 %) приводит к резкому падению температуропроводности. Такой характер влияния влажности можно объяснить тем, что воздух в полостях клеток замещается водой, имеющей примерно в 150 раз меньший коэффициент температуропроводности.

Зависимость между a и W в области ниже предела насыщения имеет сложный характер, что связано с разбуханием древесины. С увеличением температуры коэффициент температуропроводности возрастает тем больше, чем выше влажность древесины.

Рис. 2.2. Диаграмма удельной теплоемкости древесины

Рис. 2.3. Диаграмма коэффициента теплопроводности древесины березы ($\rho_{усл}$=500 кг/м³), поток тепла в радиальном направлении

2.6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

При сушке древесины имеют значение главным образом электропроводность и диэлектрические свойства древесины.

2.6.1. Электропроводность

Способность проводить электрический ток характеризует электрическое сопротивление древесины. Показателями электрического сопротивления служат **удельное объемное и поверхностное сопротивление.** Первый из названных показателей имеет размерность в Ом на сантиметр (Ом·см) и численно равен сопротивлению при прохождении тока через две противоположные грани кубика размером 1×1×1 см из данного материала (древесины). Второй показатель измеряется в омах и численно равен сопротивлению квадрата любого размера на поверхности образца древесины при подведении тока к электродам, ограничивающим две противоположные стороны этого квадрата. Представление об удельном объемном и поверхностном сопротивлении дают данные, приведенные в табл. 2.4 [27].

2.4. Сравнительные данные об удельном объемном и поверхностном сопротивлении древесины

Порода и структурное направление древесины	Влажность, %	Удельное объемное сопротивление, Ом·см	Удельное поверхностное сопротивление, Ом
Береза:			
вдоль волокон	8,2	$4{,}2\cdot10^{10}$	$4{,}0\cdot10^{11}$
поперек волокон	8,0	$8{,}6\cdot10^{11}$	$2{,}8\cdot10^{12}$
Бук:			
вдоль волокон	9,2	$1{,}7\cdot10^{9}$	$9{,}4\cdot10^{10}$
поперек волокон	8,3	$1{,}4\cdot10^{10}$	$7{,}9\cdot10^{10}$
Сосна:			
вдоль волокон	7,5	—	$2{,}1\cdot10^{11}$
поперек волокон	7,5	$1{,}3\cdot10^{11}$	$7{,}9\cdot10^{11}$
Ель:			
вдоль волокон	7,8	—	$1{,}0\cdot10^{11}$
поперек волокон	7,8	$6{,}4\cdot10^{10}$	$4{,}0\cdot10^{11}$
Дуб:			
вдоль волокон	7,9	—	$2{,}0\cdot10^{10}$
поперек волокон	7,9	$1{,}3\cdot10^{10}$	$5{,}5\cdot10^{10}$

Как видно из данных табл. 2.4, электропроводность древесины зависит от породы и структурного направления. Электрическое сопротивление древесины измеряется согласно ГОСТ 18408—73, разработанному ЦНИИМОДом. Удельное объемное сопротивление вдоль волокон большинства пород в несколько раз меньше сопротивления поперек волокон. Сухая древесина по электропроводности относится к лучшим электроизоляционным материалам. С повышением содержания влаги в древесине ее электрическое сопротивление уменьшается.

2.6.2. Диэлектрические свойства

Древесина, находящаяся в переменном электрическом поле, проявляет диэлектрические свойства, которые характеризуются двумя показателями. Первый из них — диэлектрическая проницаемость ε. Этот показатель численно равен отношению емкости конденсатора с прокладкой из древесины к емкости конденсатора с воздушным зазором между электродами. Второй показатель — тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ — определяет долю подведенной мощности, которая вследствие дипольной поляризации древесины поглощается ею и превращается в тепло. При этом вектор тока опе-

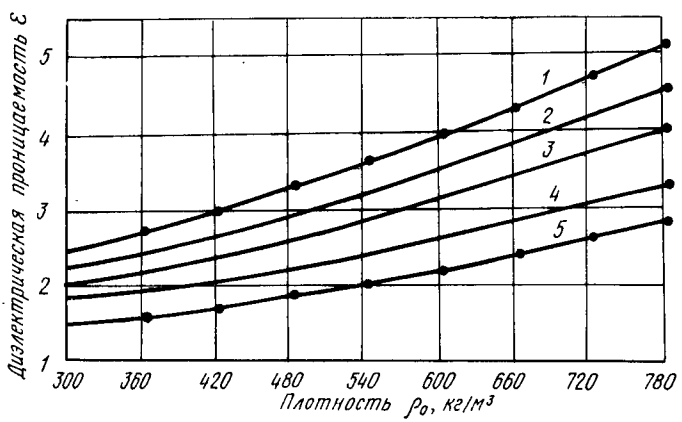


Рис. 2.4. Зависимость диэлектрической проницаемости ε древесины поперек волокон (частота 5 МГц) от плотности ρ_0 при влажности [5], %:
1—12; *2*—9; *3*—6; *4*—3; *5*—0

режает вектор напряжения на угол меньший 90°. Угол δ, дополняющий угол сдвига фаз до прямого, называется углом диэлектрических потерь. Чем больше рассеиваемая в древесине мощность, тем больше угол δ.

Диэлектрическая проницаемость основных компонентов древесинного вещества (целлюлозы и лигнина) всего лишь вдвое больше диэлектрической проницаемости воздуха (ε воздуха равно 1). Поэтому диэлектрическая проницаемость абсолютно сухой древесины сравнительно мало зависит от ее плотности. Диэлектрическая проницаемость поперек волокон абсолютно сухой древесины средней плотности равна примерно 1,8—2,2. Вдоль волокон диэлектрическая проницаемость в 1,5—2 раза больше, чем поперек.

С повышением влажности древесины диэлектрическая проницаемость увеличивается (рис. 2.4), так как ε воды равняется 81. Такая зависимость ε от W наблюдается в широком диапазоне исследованных частот. При постоянной влажности древесины увеличение частоты приводит к снижению диэлектрической проницаемости. Тангенс угла диэлектрических потерь древесины зависит от ее плотности. Поскольку потери в древесинном веществе значительно выше, чем в воздухе, с увеличением плотности древесины $\operatorname{tg}\delta$ возрастает. Как и диэлектрическая проницаемость, $\operatorname{tg}\delta$ вдоль волокон при-

мерно в 2 раза больше, чем поперек (разницы между тангенциальным и радиальным направлениями практически не наблюдается). Повышение частоты влияет на величину tg δ.

При исследованиях диэлектрических свойств [27] в широком диапазоне частот — от $3 \cdot 10^2$ до 10^9 Гц были обнаружены весьма сложные зависимости tg δ от частоты при разной влажности древесины. Так, для древесины бука вдоль волокон при влажности 12 % с повышением частоты tg δ вначале резко падает, достигает минимума при частоте 10^5 Гц и затем так же резко возрастает.

Значения диэлектрической проницаемости абсолютно сухой древесины некоторых пород приведены в табл. 2.5.

2.5. Диэлектрическая проницаемость абсолютно сухой древесины

Порода	Диэлектрическая проницаемость		
	вдоль волокон	в радиальном направлении	в тангенциальном направлении
Ель	3,06	1,98	1,91
Бук	3,18	2,20	2,40
Дуб	2,86	2,30	2,46

ГЛАВА 3. СПОСОБЫ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Сушка — процесс удаления влаги из материала путем ее испарения. Сушка пиломатериалов — одна из важнейших операций в технологическом процессе лесопиления и деревообработки. Сушка предохраняет древесину от поражения деревоокрашивающими и дереворазрушающими грибами в процессе ее хранения и транспортирования, предупреждает размеро- и формоизменяемость древесины в процессе изготовления и эксплуатации изделий из нее, улучшает качество отделки древесины, склеивания.

По методам передачи тепла можно выделить четыре вида сушки: конвективную, кондуктивную, радиационную и электрическую. Каждый из этих видов может иметь несколько разновидностей в зависимости от типа сушильного агента и особенностей применяемого оборудования. Основные виды и способы сушки приведены в табл. 3.1 [8]. Существуют также комбинированные способы сушки, в которых одновременно применяются различные виды передачи тепла (например, конвективно-диэлектрическая) или совмещаются другие признаки различных видов сушки.

Конвективная газопаровая сушка называется **камерной**. Это основной промышленный способ сушки пиломатериалов, осуществляемый в лесосушильных камерах различных конструкций, куда пиломатериалы загружаются штабелями. Сушка происходит в газообразной среде (воздухе, топочных газах, перегретом паре), которая путем конвекции передает тепло древесине. Для нагревания и циркуляции сушильного агента камеры снабжаются нагревательными и циркуляционными устройствами.

При камерной сушке сроки просыхания пиломатериалов сравнительно небольшие (от десятков часов до нескольких суток), древесина просыхает

3.1. Виды и способы сушки древесины

Вид сушки	Сушильные агенты	Способ сушки	Основные особенности процесса
Конвективно-атмосферная	Во дух	На корню	С использованием сосущей силы кроны живого дерева
То же	»	Атмосферная	На открытых складах или под навесом
Конвективно-тепловая	Воздух, топочный газ, водяной пар и их смеси	Газопаровая	В нагретой газовой среде при атмосферном давлении
То же	То же	Ротационная	Газопаровая с дополнительным использованием центробежного эффекта
»	»	Вакуумная	Газопаровая при давлении среды ниже атмосферного
»	Пары органических жидкостей	В парах органических жидкостей	Без доступа воздуха с применением парообразователей и конденсаторов
»	Жидкости	В жидкостях	С использованием нагретых жидких сушильных агентов
Кондуктивная	Воздух	Кондуктивная	С передачей тепла материалу посредством теплопроводности при контакте с нагретыми поверхностями
Радиационная	Воздух	Радиационная	Сушка с передачей тепла материалу излучением
Электрическая	То же	Диэлектрическая	Сушка в электромагнитном поле высокой частоты с передачей тепла материалу за счет диэлектрических потерь
То же	»	Индукционная	Сушка в электромагнитном поле промышленной частоты с передачей тепла материалу от размещаемых внутри штабеля ферромагнитных прокладок, нагреваемых индуктивными токами

до любой заданной конечной влажности при требуемом качестве, процесс сушки поддается надежному регулированию.

Атмосферная сушка — второй по значению и распространению на лесопильных предприятиях способ промышленной сушки пиломатериалов, осуществляемый в штабелях, размещенных на специальной открытой территории (складах), омываемой атмосферным воздухом без подогрева. Преимущество атмосферной сушки — сравнительно низкая себестоимость. Недостатки: сезонность (зимой сушка прекращается), большая продолжительность, высокая конечная влажность. Этот способ применяется главным образом для сушки пиломатериалов на лесопильных предприятиях до транспортной влажности и на некоторых деревообрабатывающих предприятиях для выравнивания начальной влажности пиломатериалов перед камерной сушкой.

Сушка в **жидкостях** осуществляется в ваннах, наполненных гидрофобной жидкостью (петролатумом, маслом), нагретой до 105—120 °С. Интенсивная передача тепла от жидкости к древесине позволяет сократить сушку по сравнению с камерной в 3—4 раза при прочих равных условиях. Этот способ применяется в технологии консервирования древесины для снижения ее влажности перед пропиткой. Попытки применить сушку в петролатуме на деревообрабатывающих предприятиях не дали положительных результатов из-за того, что пиломатериалы после такой сушки не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к древесине для мебели и столярно-строительных изделий.

Кондуктивная (контактная) сушка осуществляется путем передачи тепла материалу посредством теплопроводности при контакте с нагретыми поверхностями. Применяется в небольших объемах для сушки тонких древесных материалов — шпона, фанеры.

Радиационная сушка происходит при передаче тепла материалу излучением от нагретых тел. Этот способ для пиломатериалов не применяется, а используется в технологии отделки для сушки лакокрасочных покрытий.

Ротационная сушка основана на использовании центробежного эффекта, за счет которого свободная влага удаляется из древесины при вращении ее на центрифугах. Механическое удаление свободной влаги достигается при центростремительном ускорении не менее 100—150 g (где g — ускорение свободного падения). Такое ускорение вследствие трудности точной балансировки центрифуги со штабелем пока не достигнуто, ведутся лишь опытные разработки соответствующих устройств. В промышленных ротационных сушилках центростремительное ускорение не превышает 12 g. При этих условиях механическое обезвоживание почти не проявляется. Однако интенсификация процесса сушки в диапазоне влажности выше предела гигроскопичности наблюдается.

При установке карусели в камере технология сушки пиломатериалов такая же, как и в обычных камерах периодического действия. Продолжительность сушки на первом этапе (от начальной влажности до предела гигроскопичности) сокращается в 1,5—3 раза в зависимости от толщины, породы и начальной влажности древесины по сравнению с обычной конвективной сушкой при одинаковых режимах.

Хотя ротационные сушилки экономичны и обеспечивают высокое качество сушки, промышленного значения для пиломатериалов пока ротационный способ сушки не имеет.

Вакуумная сушка происходит при пониженном давлении в специальных герметичных камерах. Из-за сложности оборудования и невозможности получения низкой конечной влажности древесины вакуумная сушка самостоятельного значения не получила. Применяется в комбинации с другими методами сушки и как вспомогательная операция при подготовке древесины к пропитке.

При **диэлектрической** сушке в электромагнитном поле токов высокой частоты древесина нагревается за счет диэлектрических потерь. Благодаря равномерному нагреву по всему объему, возникновению положительного градиента температуры и избыточного давления внутри древесины продолжительность диэлектрической сушки в десятки раз меньше конвективной.

Из-за сложности оборудования, большого расхода электроэнергии и недостаточно высокого качества сушки этот метод не находит широкого применения.

Более эффективным является применение комбинированных способов сушки: камерно- и вакуумно-диэлектрической. Для массовой сушки применение этих способов неэкономично, но в отдельных конкретных случаях, особенно при сушке дорогих, ответственных пиломатериалов и заготовок из трудносохнущих пород древесины эти способы могут быть вполне эффективны и применение их целесообразно.

При комбинированной камерно-диэлектрической сушке к штабелю, загруженному в камеру, оборудованную тепловым и вентиляторным устройством, подводят высокочастотную энергию от специального генератора ТВЧ через электроды, расположенные около штабеля. Расход тепла на сушку при этом в основном компенсируется тепловой энергией пара, подаваемого в калориферы, а высокочастотная энергия подается для создания положительного перепада температур по сечению материала. Этот перепад в зависимости от характеристики материала и жесткости заданного режима составляет 2—5 °С. Качество камерно-диэлектрической сушки пиломатериалов высокое, так как сушка ведется с небольшим перепадом влажности по толщине материала.

Обычно рекомендуют установленную колебательную мощность генератора выбирать из расчета 1—2 кВт на 1м^3 высушиваемых пиломатериалов. При этом доля высокочастотного нагрева в общем расходе тепла составляет 15—25%, а сушка сокращается в 2—3 раза по сравнению с обычной конвективной. Камерно-диэлектрическая сушка применяется главным образом для трудносохнущих твердых лиственных пород древесины.

В последние годы в ЦНИИМОДе исследуется и экспериментально проверяется еще один способ сушки с использованием энергии ТВЧ: вакуумно-диэлектрический. При этом способе используются преимущества вакуумной и диэлектрической сушки. За счет нагрева древесины в поле ТВЧ при пониженном давлении кипение воды в древесине достигается при небольших температурах древесины, что способствует сохранению ее качества. При вакуумно-диэлектрической сушке влага в древесине перемещается всеми основными движущими силами влагопереноса (градиентов влагосодержания, температуры, избыточного давления), что сокращает продолжительность сушки.

При вакуумно-диэлектрической сушке штабель пиломатериалов помещают в автоклав или герметичную камеру, где вакуум-насосом создается пониженное давление среды ($1 \ldots 90 \cdot 10^3$ Н/м^2). Чем ниже давление среды, тем ниже температура древесины при сушке. Расход тепла на сушку обеспечивается подводом высокочастотной энергии к древесине.

По данным ЦНИИМОДа, режим для сушки условного пиломатериала характеризуется следующими параметрами: температура в центре древесины 60 °С, температура ее поверхности 45 °С, давление среды $8 \cdot 10^3$ Па, период прогрева древесины 20 мин, длительность сушки 6 ч, напряженность электромагнитного поля 50 В/см.

Комбинированная вакуумно-диэлектрическая сушка дешевле диэлектрической, обеспечивает хорошее качество сушки и может применяться для

твердых лиственных пород древесины, а также в тех случаях, когда по местным условиям электрическое теплоснабжение достаточно дешево.

Индукционная, или электромагнитная, сушка основана на передаче тепла материалу от ферромагнитных элементов (сеток из стали), уложенных в штабеля между рядами досок. Штабель вместе с этими элементами находится в переменном электромагнитном поле промышленной частоты (50 Гц), образованном соленоидом, смонтированным внутри сушильной камеры. Стальные элементы (сетки) нагреваются в электромагнитном поле, передавая тепло древесине и воздуху. При этом происходит комбинированная передача тепла материалу: кондуктивным путем от контакта нагретых сеток с древесиной и конвекцией от циркулирующего воздуха, нагреваемого также сетками. Хотя при этом способе достигается некоторая интенсификация сушки, распространения он не получил из-за следующих основных недостатков: высокой себестоимости сушки по сравнению с себестоимостью обычной камерной, неудовлетворительного качества сушки (неравномерность просыхания материала, большие внутренние напряжения). Электромагнитные камеры по результатам межведомственных испытаний не рекомендованы для применения на лесопильных и деревообрабатывающих предприятиях Минлеспрома СССР.

ГЛАВА 4. КАМЕРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

4.1. НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАМЕРАМ

Камеры классифицируются по способу циркуляции и характеру применяемого сушильного агента, принципу действия, типу ограждений. Камера периодического действия загружается и разгружается полностью и весь материал в ней просушивается одновременно, а режим сушки изменяется во времени, оставаясь в данный момент одинаковым для всего объема камеры. Различают камеры с естественной и побудительной циркуляцией. Камеры с естественной циркуляцией являются устарелыми, малопроизводительными, режим сушки в них практически не управляем, равномерность просыхания материала неудовлетворительная. Для нового строительства такие камеры не рекомендуются, а действующие подлежат модернизации. Поэтому здесь камеры с естественной циркуляцией не рассматриваются.

По характеру сушильного агента различают камеры воздушные, газовые и работающие в среде перегретого пара (высокотемпературные). По типу ограждений камеры делятся на стационарные и сборные. Первые строятся непосредственно в цехах или в виде отдельных зданий из кирпича, железобетона. Вторые изготовляются серийно на машиностроительных предприятиях в комплекте с оборудованием и поставляются потребителю в разобранном виде. Сборка и монтаж осуществляются у потребителя на подготовленном фундаменте. По источнику теплоснабжения камеры могут быть с паровым или электрическим обогревом, а также с газовым (с топками, работающими на природном газе или сжигающими отходы древе-

сины). Преимущественное применение имеют камеры периодического действия с паровым теплоснабжением.

При проектировании и строительстве камер для данного предприятия необходимо учитывать следующее: объем высушиваемых пиломатериалов в год, спецификацию пиломатериалов по породам и толщине, назначение пиломатериалов и заготовок (требуемая категория качества сушки), наличие источников теплоснабжения.

Из источников теплоснабжения (пар, топочные газы, электроэнергия) наиболее экономичны по себестоимости сушки топочные газы. Однако существующие камеры периодического действия на топочных газах не обеспечивают необходимого качества сушки, поэтому широкое применение их нецелесообразно. Камеры с электрообогревом при существующих ценах на электроэнергию неэкономичны. Их можно применять только на предприятиях с небольшими объемами сушки и не имеющих технологического пара.

Камеры периодического действия рекомендуются при сушке пиломатериалов ответственного назначения, в которых не допускаются внутренние напряжения (сушка по I и II категориям качества), а также при небольшом объеме высушиваемых пиломатериалов и при разнообразной их спецификации.

Для высококачественной сушки в камерах периодического действия с одновременной интенсификацией процесса основным требованием является обеспечение равномерной циркуляции сушильного агента по штабелю или нескольким штабелям с необходимой скоростью сушильного агента по материалу.

В зависимости от интенсификации циркуляции агента сушки камеры периодического действия подразделяются следующим образом: с естественной циркуляцией; со слабой побудительной циркуляцией (средняя скорость воздуха по штабелю 0,5 м/с); с циркуляцией средней интенсивности (средняя скорость воздуха по штабелю 1 м/с); с мощной циркуляцией (средняя скорость воздуха по штабелю 2 м/с и более).

К камерам со слабой циркуляцией относятся, например, эжекционные, модернизированные по эжекционной схеме камеры Грум-Гржимайло (с мощностью вентиляторного привода менее 6 кВт на один штабель). Эти камеры не отвечают современным требованиям, не обеспечивают достаточной интенсивности и равномерности циркуляции сушильного агента, поэтому их рекомендуется модернизировать. Модернизированные Гипродревпромом эжекционные камеры имеют циркуляцию средней интенсивности.

При проектировании современных камер рекомендуют при сушке хвойных пиломатериалов и пиломатериалов других быстросохнущих пород с влажностью более 30 % скорость сушильного агента по штабелю выбирать в пределах 2—4 м/с, а при сушке от 30 % до конечной влажности — от 1,5 до 2,5 м/с. Эти скорости являются оптимальными для интенсивной сушки пиломатериалов с учетом энергетических затрат. Причем обязательным условием является обеспечение реверсивности потока по штабелю. Для пиломатериалов из твердых лиственных пород эти скорости могут быть уменьшены в 1,5—2 раза.

Так как камеры проектируются обычно универсальными, т. е. предназначенными для сушки пиломатериалов любых пород различными режи-

4.1. Допустимые максимальные отклонения скорости сушильного агента при сушке условных пиломатериалов

Средняя скорость, м/с	Максимальные отклонения скорости, м/с, при категории качества сушки			Средняя скорость, м/с	Максимальные отклонения скорости, м/с, при категории качества сушки		
	I	II	III		I	II	III
0,5	0,2	0,2	0,2	2,0	0,8	0,9	1,0
1,0	0,3	0,4	0,4	3,0	1,6	1,8	1,9
1,5	0,5	0,6	0,7	4,0	2,4	2,6	2,7

мами, их рационально снабжать вентиляторами с регулируемой частотой вращения.

Разброс конечной влажности в партии пиломатериалов во многом определяется равномерностью распределения сушильного агента по штабелю. Оценка влияния потока сушильного агента с неравномерным полем скоростей на разброс конечной влажности пиломатериалов приводится в работе [16], в которой на основе анализа уравнения продолжительности сушки и входящего в него коэффициента замедления сушки, зависящего от скорости сушильного агента, получена зависимость разброса конечной влажности от разброса скоростей сушильного агента, на основе которой дана таблица допустимых отклонений скорости сушильного агента при различных категориях качества сушки в условиях камер периодического действия (табл. 4.1).

Данные табл. 4.1 могут быть использованы при оценке циркуляционных систем действующих камер и проектировании новых.

Как уже отмечалось, современные лесосушильные камеры имеют принудительную циркуляцию сушильного агента, осуществляемую осевыми и центробежными вентиляторами. Побуждение может быть прямое, когда через вентилятор проходит весь циркулирующий в камере воздух, и косвенное (эжекционное), когда побудителем циркуляции внутри камеры служит энергия струй сушильного агента, выпускаемых с большими скоростями через сопла эжектора. Современные камеры выпускаются с прямым побуждением циркуляции.

В зависимости от применяемой схемы циркуляции камеры периодического действия делятся на две основные группы: с вертикально-поперечным кольцом циркуляции; с горизонтально-поперечным кольцом циркуляции. К первым относятся камеры: с осевыми вентиляторами на поперечных валах; с осевыми вентиляторами на продольном валу; с центробежными вентиляторами; с вентиляторами, расположенными в боковых рециркуляционных каналах. В число вторых входят камеры: с вентиляторами, расположенными в боковом рециркуляционном канале; с вентиляторами, расположенными в торце камеры.

Камеры с осевыми вентиляторами на поперечных валах наиболее распространены. В частности, к ним относятся следующие отечественные камеры: СПВ-62; СПВ-62М; УЛ-2; ЛТА-Гипродрев; ВИАМ-40 и др. Аналогичные камеры выпускаются за рубежом, например финской фирмой «Valmet», западногерманской фирмой «Hildebrand». К камерам с осевыми вентиляторами на продольном валу относятся отечественные стационарные ВИАМ-2 и

ЦНИИМОД-23. Эти камеры эксплуатируются на ряде предприятий, но вновь не строятся (отсутствуют типовые проекты). За рубежом такого типа камеры выпускает фирма «Moor». Схемы лесосушильных камер с центробежными вентиляторами и с вентиляторами, расположенными в боковых циркуляционных каналах, распространены за рубежом. К камерам с горизонтально-поперечным кольцом циркуляции относятся отечественные СКД (выпускаются Грибановским машиностроительным заводом), ЛатНИИЛХПа, СПМ-2К, УРАЛ-72 (с аэродинамическим нагревом), а также зарубежные камеры фирмы «Sateko», «Hildebrand» (типа НД-76) и др. Высокотемпературные камеры СКД характеризуются неудовлетворительными техническими данными. Эти камеры не обеспечивают высокого качества сушки; применение их на предприятиях Минлеспрома СССР признано нецелесообразным, поэтому далее они не рассматриваются.

4.2. КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КАМЕР

Технические характеристики современных лесосушильных камер, применяемых или рекомендованных к применению, строительству или выпуску (в сборном варианте), приведены в табл. 4.2. Принцип действия, конструкция некоторых камер описываются ниже. Камеры устаревших конструкций, не удовлетворяющие современным технологическим требованиям, в справочнике не рассматриваются.

4.2.1. Модернизированная эжекционная двухштабельная камера

На многих деревообрабатывающих предприятиях, особенно мебельных, применяются эжекционные лесосушильные камеры. Некоторые из них характеризуются недостаточной скоростью циркуляции сушильного агента, неравномерным распределением его по штабелю, что приводит к неравномерному просыханию досок, уменьшает производительность камер.

Гипродревпромом разработан типовой проект (ТП № 411-2-46) модернизированной эжекционной камеры периодического действия в стационарном исполнении (рис. 4.1). Камера предназначена для сушки пиломатериалов хвойных и твердолиственных пород нормальными и форсированными режимами в паровоздушной среде. Она должна примыкать к отапливаемым помещениям. Камера двухштабельная. Ее внутренние размеры, м: длина — 14; ширина — 3,1; высота от головки рельса до потолка — 4,45. Внутренняя ширина коридора управления — 3,5 м.

Для обеспечения циркуляции воздуха через штабель в коридоре управления камеры устанавливается центробежный вентилятор Ц4-70 № 12 с электродвигателем мощностью 22 кВт. Всасывающий патрубок вентилятора соединяется непосредственно с камерой, а выходное отверстие направлено вверх. По ходу движения воздуха в воздуховодах вентиляторной установки между кожухом вентилятора и переходными нагнетательными патрубками устанавливается переключательная коробка с шибером для того, чтобы воздух направлять попеременно то к правому, то к левому воздухонагнетательному каналу камеры для обеспечения реверса сушильного агента по штабелю. Переключение шибера предусмотрено автоматическое. Два воздухонагнета-

4.2. Технические показатели паровых камер и сушилок периодического действия

Показатели	Эжекционно-реверсивная (типовой проект № 411-2-46)	СПЛК-2 (типовой проект № 411-2-127)	СПВ-62
Габаритные размеры штабеля, мм:			
длина	6500	6500	6500
ширина	1800	1800	1800
высота	2600	2600	2600
Число штабелей, загружаемых в камеру (сушилку)	2	2	1
Емкость камеры в условном пиломатериале, $м^3$	28,8	28,8	14,4
Годовая производительность, $м^3$:			
при высокотемпературном режиме	—	—	2400
при форсированном режиме	2860	2860	—
при нормальном режиме	2200	2200	—
при мягком режиме	—	—	—
Побудитель циркуляции агента сушки	Центробежный вентилятор типа Ц4-70 № 12	Осевой реверсивный № 12,5	Осевой реверсивный № 10
Число вентиляторов	1	2	4
Характеристика вентилятора:			
производительность, тыс. $м^3/ч$	46	23—45	25
давление, мм вод. ст.	До 100	До 40	До 28
частота вращения, $мин^{-1}$	818	970; 640; 480	1100
Характеристика электродвигателя для привода вентилятора:			
тип	АО2-71-4	Трехскоростной АО2-71-8/6/4	АО2-41-4
мощность, кВт	22	10,5; 8,3; 7,1	4
частота вращения, $мин^{-1}$	1460	1460; 965; 730	1460
число, шт.	1	2	4
Установленная мощность электродвигателей, кВт	22	21; 16,6; 14,2	16
Скорость циркуляции агента сушки через штабель, м/с	1—2	1,5—3	2,5
Средний часовой расход электроэнергии, кВт, при режиме:			
высокотемпературном	—	—	12,3
форсированном	15,2	14,7	—

СПВ-62м	СПМ-1К	СПМ-2К	Гипродрев-ЛТА	УРАЛ-72	УЛ-2
6500	6500	6500	6500	6500	6600
1800	1800	1800	1800	1800	1800
3000	3000	3000	2600	2600	2600
1	2	4	4	1	2
16,7	33,3	66,5	57,6	14,7	28,8
2800	5600	11 100	—	—	4800
1650	3300	6 600	6000	2000	2960
1250	2500	5 000	4400	1500	2200
—	1400	2 800	—	—	—
	вентилятор серии У-12				
№ 12,5	№ 12,5	№ 12,5	№ 10	Центробежный вентилятор специальной конструкции № 10	Осевой реверсивный вентилятор серии У-12 № 12,5
3	2	4	6	1	6
26—38	26—48	26—48	35	45	—
До 38	До 40	До 40	30	—	—
830/560	970; 640; 480	970; 640; 480	1450	1450; 960	960
Двухскоростной	Трехскоростной			Четырехскоростной	
АО2-52-6/4	АО2-71/8/6/4	АО2-71/8/6/4	АО2-51-4	АО102-12-12/8/6/4	4А112МИ
6,3; 4,2	10,5; 8,3; 7,1	10,5; 8,3;7,1	7,5	55/75	5,5
1450; 960	1460; 965; 730	1460; 965; 730	1450	1450; 960	1500
3	2	4	6	1	6
18,9; 12,6	21; 16,6; 14,2	42; 33,2; 28,4	45	55/75	33
1,5—3	1,5—3,0 (регулируемая)	1,5—3,0	1,7—2,9 (в зависимости от толщины материала)	2; 4—3,3 (регулируемая)	4,5
11,7	10,2	20,4	—	—	—
14,8	14,4	28,8	36,4	39	28

Показатели	Эжекционно-реверсивная (типовой проект № 411-2-46)	СПЛК-2 (типовой проект № 411-2-127)	СПВ-62
нормальном	18,5	16,6	—
мягком	—	—	—
Характеристика теплового оборудования:			
тип	Чугунные ребристые трубы $l = 2$		Пластинчатые калориферы КФС-5
число, шт.	120	73	16
поверхность нагрева, м²	480	292	327
Давление пара при вводе в камеру, МПа	0,4—0,5	0,3—0,5	0,5—0,6
Максимальный расход пара, кг/ч, при режиме:			
высокотемпературном	—	—	500
форсированном	450	420	—
нормальном	400	350	—
мягком	—	—	—
Средний расход пара, кг/ч, при режиме:			
высокотемпературном	—	—	360
форсированном	400	360	—
нормальном	340	300	—
мягком	—	—	—
Габаритные размеры, мм:			
длина	17 450	9820	7250
ширина	4 200	6500	3365
высота	4 800	4460	5300
Масса, кг	—	—	13 720
Капитальные затраты, тыс. р.	12,82	19,25	30,0
В том числе:			
оборудование	6,57	12,42	29,4
строительно-монтажные работы	6,25	6,83	0,6

* Для камер с увлажнительным устройством.

тельных канала камеры, по длине которых через 0,5 м устанавливаются сопла, составляют эжекционный узел. Выходное отверстие сопла прямоугольное, размером 300×55 мм. Камера смещения образуется между нижней плоскостью воздухонагревательных каналов и экраном. Высота камеры 0,6 м.

Калориферы из ребристых чугунных труб размещаются на продольных стенках камеры. На каждой из них смонтировано по 10 ниток ребристых труб. Таким образом, в камере размещено 20 ниток труб (120 труб) с общей поверхностью нагрева 480 м². По длине камеры ребристые трубы укладываются с уклоном 0,01 в сторону движения пара. В нижней части камеры устанавливаются две пропарочные трубы.

СПВ-62м	СПМ-1К	СПМ-2К	Гипродрев-ЛТА	Урал-72	УЛ-2
16,6	16,2	32,4	40,0	—	33
—	18,0	36,0	—	—	—
Специальные биметаллические калориферы	Специальные стальные трубчатые калориферы		Пластинчатые КФБ-11П и ребристые трубы	—	КВБ-11
4	8	16	12+68	—	—
200	425	850	1147+272 (1419)	—	550—650
0; 4—0,5	0,3—0,6	0,3—0,6	0,3—0,5	—	—
400	600	1200	—	—	1000
200	450	900	540	—	—
180	400	800	443	—	—
—	300	600	—	—	—
355	475	950	—	—	—
180	350	700	450	14 *	—
160	300	600	369	—	210
—	225	450	—	—	—
7100	9000	12 000	14 440	12 800	13 830
3200	5980	16 580	6 200	3 200	3 000
5500	5100	5 100	5 210	4 350	4 400
8700	23 400	48 000	—	17 000	20 050
26,6	34,2	96,6	43,13	—	—
26,0	32,0	70,0	13,80	20,0	—
0,6	2,2	26,6	29,33	—	—

Штабеля экранизируются по всему периметру металлическими вертикальными экранами, устанавливаемыми с обоих торцов камеры, а также шторами, выполненными из термостойкой резины и прикрепленными с обеих сторон к верхнему экрану по всей длине камеры. Кроме того, в нижней части камеры тоже по всей ее длине предусматриваются бетонные экраны.

Параметры среды регулируются автоматически системой, разработанной по рекомендациям ЦНИИМОДа [4; 21]. Для определения текущей и конечной влажности предусматривается механический закладчик образцов в торцовой стенке камеры со стороны коридора управления.

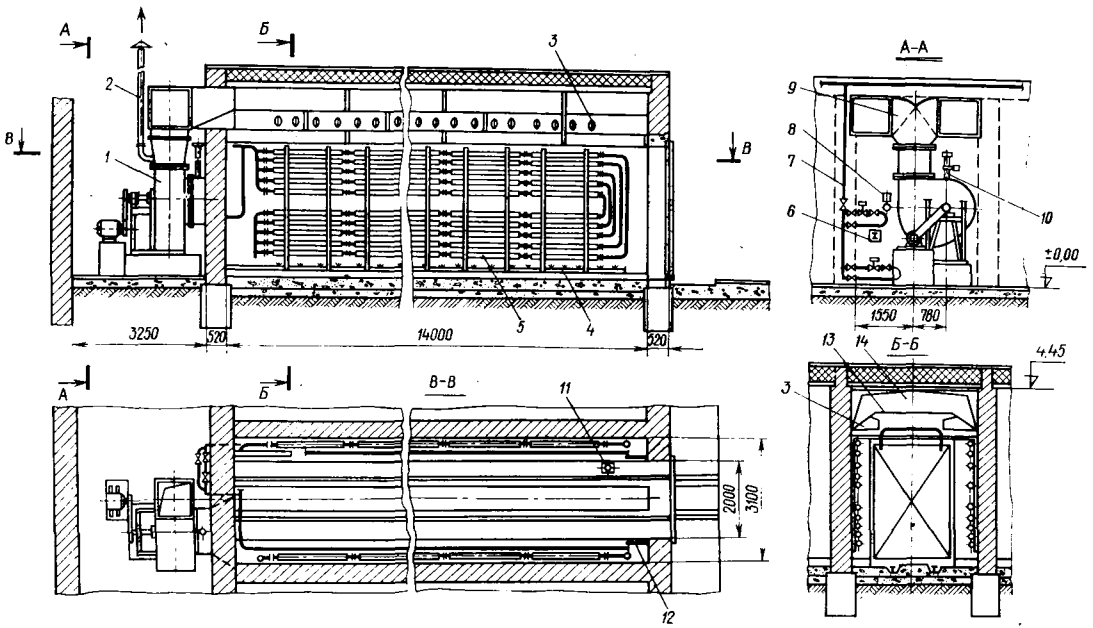


Рис. 4.1. Эжекционно-реверсивная камера (ТП № 411-2-46):

1 — центробежный вентилятор Ц4-70 № 12 с электроприводом; *2* — труба вытяжная; *3* — сопло; *4* — труба увлажнительная; *5* — трубы чугунные ребристые; *6* — устройство для закладки образцов; *7* — паровая раздаточная гребенка с исполнительными механизмами; *8* — психрометрическое устройство; *9* — короб с шибером; *10* — труба приточная; *11* — блок оборотный; *12* — экраны торцовые; *13* — экран камеры; *14* — канал воздухонагнетательный

Загрузка и выгрузка штабелей механизируются без захода в глубину камеры с помощью лебедки, установленной на траверсной тележке, и трособлочной системы. Для этого в лесосушильной камере со стороны дверного проема устанавливается оборотный блок. Этот блок служит для загрузки штабелей, а при выгрузке пользуются тросом от лебедки.

4.2.2. Высокотемпературная камера СПВ-62

С 1971 г. на Петрозаводском заводе «Тяжбуммаш» организовано серийное производство высокотемпературной металлической одноштабельной лесосушильной камеры СПВ-62. Проект камеры разработан Гипродревпромом по

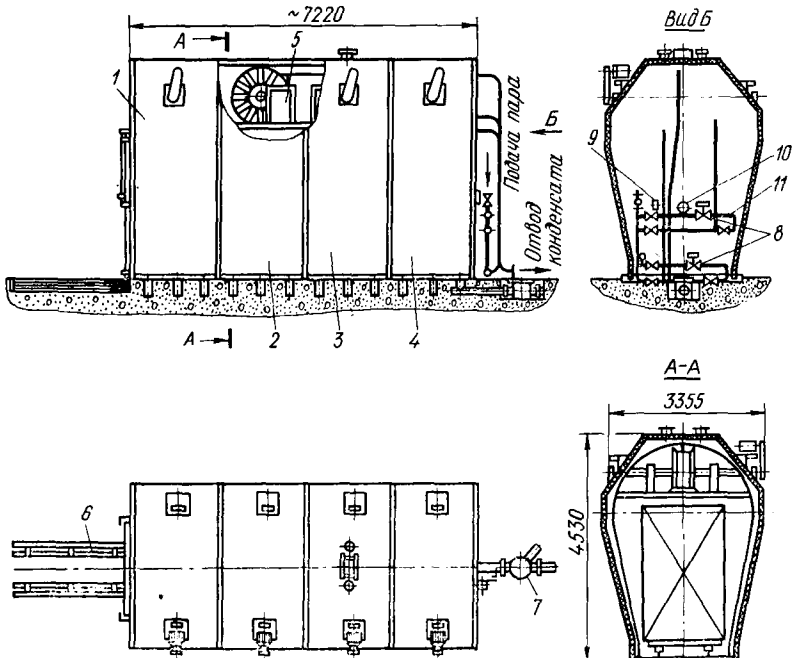


Рис. 4.2. Высокотемпературная камера СПВ-62:

1 — секция передняя с дверью; *2* — секция средняя; *3* — секция средняя с приточно-вытяжными трубами; *4* — секция задняя торцовая; *5* — калорифер; *6* — откидные участки рельсов; *7* — гидравлический затвор; *8* — клапан регулирующий с исполнительным механизмом; *9* — бачок для подачи воды в психрометр; *10* — психрометрическое устройство; *11* — паровая раздаточная гребенка

техническому предложению ВНИИДМАШа. Камера предназначена для сушки пиломатериалов хвойных и мягких лиственных пород при высокотемпературном режиме в среде перегретого пара атмосферного давления и рекомендуется для применения на деревообрабатывающих предприятиях с объемом переработки древесины не более 15 тыс. м³ условных пиломатериалов в год.

Как видно из рис. 4.2, сушильная камера представляет собой сборную конструкцию и состоит из четырех секций — сварных стальных каркасов, обшитых изнутри алюминиевыми листами. Дверь камеры и ее торцы

с обеих сторон обшиты также алюминиевыми листами. Наружная обшивка боковых поверхностей и верха камеры выполнена из стального листа, окрашенного антикоррозийной краской. Между обшивками уложена теплоизоляция из стекловолокнистых матов толщиной 100 мм. Внутренняя оболочка камеры изготовлена герметично на сварке и прикреплена к каркасу специальными кронштейнами и винтами. Между каркасом, внутренней и внешней обшивками проложен поронит, обеспечивающий разрыв теплового моста и уменьшение теплопотерь.

В каждой секции смонтирована вентиляторная установка, состоящая из осевого реверсивного вентилятора серии У-12 № 10, укрепленного на валу с помощью втулки. Вал вентилятора размещается перпендикулярно оси камеры и опирается на два подшипника, установленных на специальных кронштейнах, находящихся снаружи камеры. Привод вентилятора осуществляется электродвигателем через клиноременную передачу. В камере установлено четыре вентилятора, которые одновременно включаются в работу. Реверсирование вентиляторов предусмотрено автоматическое с помощью прибора КЭП-12У, смонтированного в щите управления.

Для обогрева в верхней зоне камеры по обе стороны вентилятора установлены пластинчатые калориферы КФС-5: в каждой секции по четыре, а всего 16 с общей поверхностью нагрева 327 м². Секции размещаются на бетонном фундаменте и соединяются между собой болтами с установкой уплотняющих резиновых прокладок в стыках секций. Срок монтажа камеры по техническим условиям составляет не более 15 дней.

Камера снабжена по всей длине двумя перфорированными трубами для подачи пара при пропарке пиломатериалов. Одна из средних секций имеет две приточно-вытяжные трубы, соединяющие полость камеры с атмосферой. Эти трубы установлены по обе стороны вентилятора и снабжены поворотными заслонками. Приточно-вытяжные трубы предназначены для охлаждения камеры и пиломатериалов после высокотемпературной сушки.

На задней торцовой стене камеры размещена паровая гребенка с вентилями и исполнительными механизмами, психрометрическое устройство с бачком для воды и патрубок для подключения конденсатной трубы. В этом месте в полу есть гидравлический затвор и вытяжная труба, соединенные с камерой патрубком, заложенным в фундаменте. Гидравлический затвор необходим для поддержания в камере атмосферного давления и герметизации, а вытяжная труба для удаления влаги, испаряемой из древесины.

Камера СПВ-62 с первого года освоения комплектуется системой автоматического регулирования сушки, разработанной и рекомендованной к применению ЦПИИМОДом. Эта камера считается одной из лучших отечественных конструкций и пользуется большим спросом. В промышленности эксплуатируется несколько сот таких камер.

Серийное производство камеры СПВ-62 организовано на производственном объединении «Петрозаводскмаш» и на Верхнеднепровском заводе бумагоделательного оборудования Минхиммаша СССР. На базе СПВ-62 по техническому предложению ВНИИДМАШа ПО «Петрозаводскмаш» разработало универсальную двухштабельную лесосушильную установку УЛ-2, которая обеспечивает сушку пиломатериалов низкотемпературными и высокотемпературными режимами в среде перегретого пара (см. табл. 4.2).

4.2.3. Одноштабельная камера СПВ-62М

Проект камеры разработан Гипродревпромом и ЦНИИбуммашем для повышения технического уровня СПВ-62. В проекте улучшены следующие технические показатели:

расширена область применения камеры, так как в ней предусматривается высушивать пиломатериалы любых древесных пород и толщин с применением нормальных, форсированных или высокотемпературных режимов;

увеличена производительность камеры за счет высоты штабеля (до 3 м);

установлены три осевых реверсивных вентилятора № 12,5 вместо четырех № 10, причем в качестве приводов вентиляторов применены двухскоростные электродвигатели, что обеспечивает значительное снижение удельного расхода электроэнергии на сушку 1 м^3 условных пиломатериалов;

улучшена приточно-вытяжная система, обеспечивающая равномерный подсос свежего воздуха и выброс отработанного агента сушки по длине штабеля, что позволяет улучшить качество сушки и сокращает ее продолжительность;

улучшена конструкция экранов по периметру штабеля, что позволяет свести к минимуму утечку агента сушки мимо штабеля;

улучшена конструкция каркаса и изменен принцип сборки камеры, в результате чего достигнуто снижение металлоемкости и потребности в подвижном железнодорожном транспорте (для камеры СПВ-62 требуется две железнодорожные платформы, а для модернизированной камеры — одна, масса камеры снижена с 13720 до 8700 кг);

унифицированы вентиляторы, тепловое оборудование, психрометрические устройства, двери, оборотные блоки и другие детали из расчета взаимозаменяемости и применения их в двухштабельной камере СПМ-1К.

Для повышения точности поддержания заданных параметров агента сушки камера оснащена системой автоматики, основанной на принципе регулирования температуры и психрометрической разницы.

Камера СПВ-62М (рис. 4.3) состоит из верхней секции; передней торцовой секции с дверью; задней торцовой секции; двух боковых щитов; системы трубопроводов; теплового оборудования; системы регулирования; щитов управления электродвигателями. Все секции и щиты выполнены из металлического стального каркаса, обшитого с обеих сторон алюминиевым листом. Между обшивками уложен теплоизоляционный материал — маты из стекловолокна. Предусмотрены специальные меры для обеспечения компенсации температурных расширений внутренней обшивки и наименьших теплопотерь через ограждающие конструкции.

Секции и щиты соединяются при помощи болтов, спрятанных в специальные карманы, закрывающиеся алюминиевыми планками. Между стыкующими частями проложена термостойкая резиновая прокладка, обеспечивающая хорошую герметизацию камеры. Основным ее узлом является верхняя секция, в которой устанавливаются осевые реверсивные вентиляторы и двухскоростные электродвигатели. Рациональная конструкция каркаса этой секции позволила уменьшить длину валов вентиляторов. В продольном разрезе камера имеет несколько необычную форму, способствующую улучшению аэродинамики, уменьшению массы, а также получению оптимальных габаритных размеров секций и щитов.

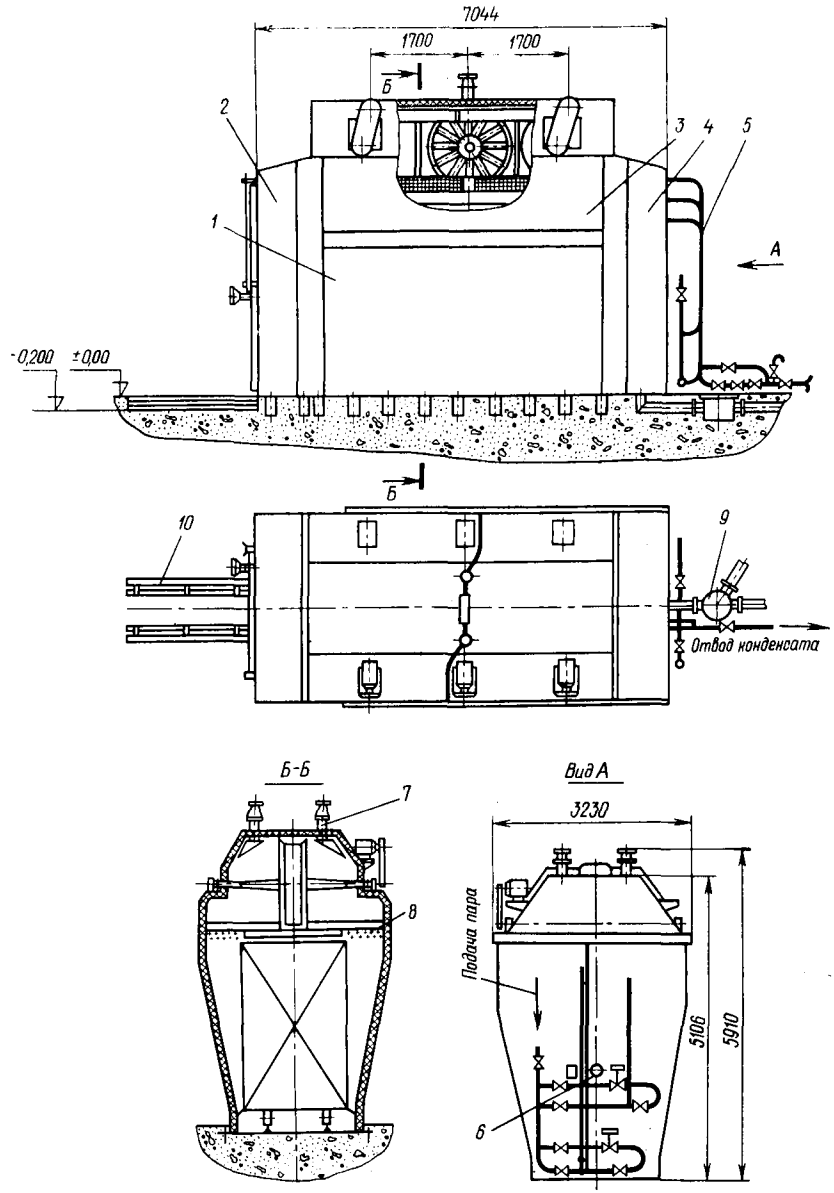


Рис. 4.3. Камера СПВ-62М:

1 — щиты боковые; *2* — секция передняя с дверью; *3* — секция верхняя; *4* — секция торцовая задняя; *5* — паровая раздаточная гребенка с исполнительными механизмами; *6* — психрометрическое устройство; *7* — приточно-вытяжные трубы с распределительными воздуховодами; *8* — калориферы биметаллические; *9* — гидравлический затвор; *10* — откидные участки рельсов

Среди отечественных сушилок камера СПВ-62М впервые комплектуется специальным тепловым оборудованием, разработанным авторами проекта по предложению Архангельского лесотехнического института и ЦНИИМОДа применительно к требованиям и условиям эксплуатации лесосушильных установок. Специальный калорифер состоит из двух рядов оребренных биметаллических труб, приваренных с определенным шагом к двум коллекторам. В верхней зоне одного коллектора и в нижней зоне противоположного приварены два фланца. С помощью этих фланцев калорифер подключается к системе раздачи пара и отвода конденсата.

Оребренная биметаллическая труба изготовляется на специальном станке путем выдавливания ребер из массива толстостенной алюминиевой трубы, напрессованной на стальную трубу. Биметаллические калориферы размещаются горизонтально в нагнетательных каналах вдоль стен по всей рабочей длине камеры. В каждом канале устанавливается по два калорифера, а в камере — четыре с общей поверхностью 200 м^2. О преимуществе биметаллических калориферов перед пластинчатыми, применяемыми в камере СПВ-62, свидетельствуют такие показатели: поверхность нагрева калорифера в камере СПВ-62М уменьшена с 327 до 200 м^2, масса калориферов снижена с 1520 до 680 кг, а срок их службы продлен в несколько раз.

По технико-экономическим показателям и конструктивному исполнению СПВ-62М неоспоримо превосходит СПВ-62. Модернизированная камера может быть рекомендована для применения на деревообрабатывающих предприятиях с объемом переработки древесины не более 15 тыс. м^3 условных пиломатериалов в год. Ее серийное производство намечено с 1981 г. на Верхнеднепровском заводе бумагоделательного оборудования.

4.2.4. Камера СПЛК-2

Гипродревпром разработал типовой проект стационарной паровой лесосушильной камеры периодического действия СПЛК-2 (рис. 4.4) по техническому предложению ВНИИДрева. Этот проект предназначен для строительства лесосушильных камер на деревообрабатывающих предприятиях, продукция которых потребляет сухие пиломатериалы хвойных и твердых лиственных пород. В частности, камеры могут быть применены на предприятиях по производству мебели, лыж, музыкальных инструментов, паркета, столярных изделий, специальной тары и т. д.

Сушка пиломатериалов в лесосушильных камерах СПЛК-2 предусматривается в паровоздушной среде с применением нормальных или форсированных режимов при температуре агента сушки до 108 °С. Технические решения, заложенные в проекте камеры, и применяемые режимы обеспечивают высушивание пиломатериалов по I и II категориям качества сушки.

Типовым проектом предусматривается строительство и размещение лесосушильных камер СПЛК-2 внутри отапливаемого производственного помещения или как отдельно стоящее сооружение. На базе типового проекта имеется возможность разрабатывать проекты лесосушильных хозяйств и цехов различной мощности. Для обеспечения минимальных трудозатрат при проектировании указанных цехов в типовом проекте разработана конструкция средней и крайних камер, а также представлены варианты возможных

технологических планировок лесосушильных хозяйств, оснащенных лесосушильными камерами СПЛК-2.

Стационарная лесосушильная камера представляет собой строительную коробку, выполненную из кирпича и железобетона. По длине она разделена металлической перегородкой на две части: сушильное пространство и вентиляторное помещение. В сушильном пространстве размещены высушиваемый пиломатериал, тепловое оборудование, направляющие экраны и оборот-

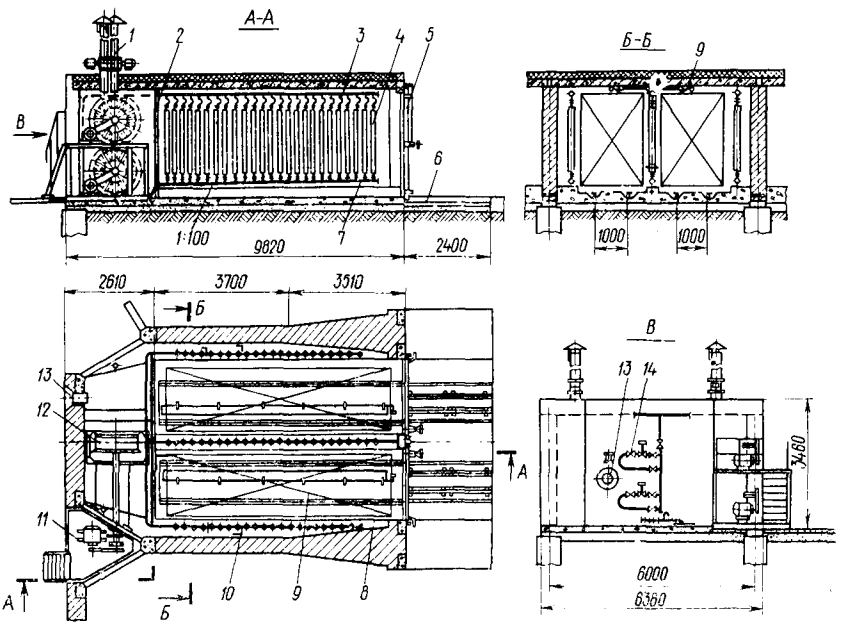


Рис. 4.4. Стационарная камера СПЛК-2:

1 — приточно-вытяжные трубы; *2* — разделительная металлическая перегородка; *3* — коллектор верхний; *4* — трубы чугунные ребристые; *5* — дверь автоклавная; *6* — откидные участки рельсов; *7* — коллектор нижний; *8* — экран торцовый; *9* — экран-шторка поворотная; *10* — экраны направляющие; *11* — площадка моторная; *12* — вентилятор осевой реверсивный серии У № 12,5 с электроприводом; *13* — психрометрическое устройство; *14* — паровая раздаточная гребенка с исполнительными механизмами

ные блоки. Объем сушильного пространства рассчитан на два штабеля, которые загружаются и выгружаются по рельсовым путям, расположенным параллельно. В вентиляторном помещении размещены вентиляторная установка, устройство для установки датчиков, приточно-вытяжные, увлажнительные, паровые и конденсатные трубы. Для обеспечения доступа в вентиляторное помещение в металлической перегородке установлены две дверцы.

Для создания мощной циркуляции агента сушки по высушиваемому пиломатериалу в торцовой части камеры по ее оси на удлиненных поперечных валах установлены два осевых реверсивных вентилятора ЦАГИ серии У-12 № 12,5. Они расположены друг над другом, заполняя внутренний габаритный размер по высоте. Для привода вентиляторов использованы трехско-

ростные электродвигатели, с помощью которых можно изменять объем циркулирующего агента сушки на различных этапах. Удачно выбранные месторасположение и конструкция привода вентиляторов позволяют устанавливать лесосушильные камеры в едином блоке без разрывов между ними.

Конструкция вентиляторов, дающая возможность изменять попеременно направление воздушного потока, и их компоновка внутри камеры гарантируют равномерное распределение агента сушки по ширине и высоте штабелей. Равномерное распределение агента сушки по длине штабелей обеспечивается за счет циркуляционных каналов переменного сечения и направляющих экранов, установленных в начале этих каналов. Переменное сечение циркуляционных каналов образовано продольными кирпичными стенами определенной конфигурации.

Для обеспечения в камере необходимых температурно-влажностных параметров агента сушки в сушильном пространстве устанавливается калорифер с увлажнительной системой. Он состоит из трех рядов чугунных двухметровых ребристых труб, установленных вертикально. Два ряда труб расположены вдоль продольных стен сушильной камеры, а третий — в промежутке между штабелями. Подача пара в калорифер и возврат конденсата осуществляются через раздаточную паровую гребенку и конденсатную систему, установленные на торцовой стене и на полу со стороны коридора управления. Увлажнительная система состоит из двух пар перфорируемых труб, размещенных вертикально на вводах в главные нагнетательные каналы. Пар в увлажнительные трубы подается через раздаточную паровую гребенку.

Для минимальной утечки агента сушки через торцы сушильных штабелей и под штабелями использованы стационарные металлические и бетонные экраны, а высота основных циркуляционных каналов перед штабелями принята на отметке 300 мм. Для полной ликвидации утечки агента сушки через зазор, образующийся между потолочным перекрытием и верхом штабелей в период их усадки, установлены поворотные шторки с устройством для их управления. Перед загрузкой и выгрузкой штабелей шторка поднимается к потолочному перекрытию с помощью тросика и блочной системы. После установки штабелей ручка тросика снимается с фиксаторного штырька, а шторка ложится на верх штабелей и под действием собственного веса перекрывает сечение по всей длине камеры между потолочным перекрытием и верхом штабелей. Для герметизации дверных проемов применены металлические автоклавные одностворчатые двери и откидные участки рельсов.

В типовой лесосушильной камере предусмотрено автоматическое регулирование параметров сушильного агента (температуры и психрометрической разности) с помощью многоканальной регулирующей установки А306-14, серийно изготовляемой Харьковским заводом КИП. Многоканальная установка А306-14 обеспечивает автоматическое регулирование четырех лесосушильных камер. Автоматическое управление вентиляторами происходит со специального щита с помощью прибора КЭП-12.

Типовая лесосушильная камера СПЛК-2 отвечает современным требованиям к лесосушильной технике и обладает следующими преимуществами:

хорошей аэродинамической схемой, которая обеспечивает равномерное распределение агента сушки по объему штабелей;

возможностью максимально использовать производительность вентиляторной установки и предотвращать пересушку досок торцовой части штабелей путем установки направляющих экранов по их периметру;

возможностью изменять объем циркулирующего агента сушки и устанавливать оптимальные скорости воздуха по высушиваемому пиломатериалу от 1,5 до 3 м/с;

возможностью вписываться в соответствующие сетки строительных колонн без разрывов между камерами;

теплоизолированными и герметизированными ограждающими конструкциями;

наименьшими эксплуатационными затратами на электроэнергию благодаря применению многоскоростных электродвигателей и экранизации штабелей.

В зависимости от характеристики высушиваемого пиломатериала вентиляторная установка должна вращаться на определенных скоростях. Скоростной режим работы привода вентилятора на различных этапах сушки назначается по табл. 4.3.

4.3. Режим работы вентилятора

Технологические операции процесса сушки	Частота вращения привода, мин$^{-1}$			
	при высушивании пиломатериала хвойных и мягких лиственных пород		при высушивании пиломатериала твердых лиственных пород	
	толщиной, мм			
	до 50	свыше 50	до 32	свыше 32
Прогрев	965	730	965	730
Сушка от $W_н$ до $W = 20$ % (I этап)	1460	965	1460	965
Промежуточная влаготеплообработка	965	730	965	730
Сушка от $W_н = 20$ % до заданной влажности (II этап)	965	730	965	730
Конечная влаготеплообработка и кондиционирование	965	730	965	730

Необходимо поддерживать в исправном состоянии ограждающие конструкции и технологическое оборудование сушильной камеры. Внутренние поверхности кирпичных стен не должны иметь трещин, местных повреждений или отслоения штукатурного слоя, а также разрушения низкомолекулярного полиэтиленового покрытия. Хорошо промазанные низкомолекулярным полиэтиленом стены имеют маслянистый оттенок. При появлении на стенах и потолке светлых (сухих) участков необходимо восстановить покрытия этих мест низкомолекулярным полиэтиленом. Раз в год следует возобновлять покрытие внутренних поверхностей стен и потолочное перекрытие камеры.

Все детали сушильной камеры, изготовленные из черных металлов, должны быть хорошо окрашены антикоррозийной краской. Появление небольших очагов ржавчины следует немедленно устранять. Для окраски металлических деталей может быть применена краска БТ-177 (ГОСТ 5631—79),

выпускаемая готовой к употреблению, или же приготовленная на месте путем смешения 80—85 вес. ч. битумного лака БТ-577 (ГОСТ 5631—79) с 15—20 вес. ч. алюминиевой пудры (ГОСТ 5494—71).

Надежность и долговечность вентиляторной установки во многом зависит от состояния смазки подшипников и сальниковых уплотнений подшипниковых узлов. Корпуса подшипников всегда должны быть заполнены смазкой ЦИАТИМ-221 (ГОСТ 9433—60), а сальниковые уплотнения — асбестовой набивкой (ГОСТ 5152—77).

4.2.5. Сушилка паровая металлическая двухкамерная СПМ-2К

По технической документации, разработанной Гипродревпромом, на Ижевском экспериментальном механическом заводе в 1979 г. начато серийное производство паровой металлической двухкамерной сушилки СПМ-2К, по принципу действия и назначению аналогичной камере СПЛК-2. Сушилка представляет собой отдельное здание, рассчитанное для размещения на открытой площадке, и состоит из двух камер периодического действия, отапливаемых коридора управления и лаборатории (рис. 4.5).

Лесосушильные камеры, входящие в состав сушилки СПМ-2К, относятся к паровым периодического действия емкостью на два штабеля с горизонтальной циркуляцией агента сушки (см. параграф 4.2.6). Ограждающие конструкции коридора управления и лаборатории решены в виде несущих стеновых и кровельных панелей, запроектированных трехслойными с каркасом из холодногнутых профилей и утеплителем из полужестких минераловатных плит. С внутренней стороны панели обшиваются плоскими алюминиевыми листами, с внешней стеновые панели — гофрированными алюминиевыми листами, а панели покрытия — плоскими стальными листами.

Кровля сушилки — рулонная из четырех слоев рубероида на битумной мастике с уклоном в сторону коридора управления. Рулонный ковер располагается по настилу из досок, которые укладываются по деревянным брусьям.

Отопление коридора управления — воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией, а лаборатории — отопительным прибором. Система отопления и вентиляции состоит из следующих основных узлов:

вентиляционной камеры из утепленных панелей;

калориферов КФСО-4 с паровыми трубами и запорной арматурой;

оребренной трубы для установки ее в лаборатории;

вентилятора Ц4-70 № 4 с электродвигателем АОЛ2-12-4 (P=0,8 кВт, n=1360 мин$^{-1}$);

воздуховодов, соединяющих вентиляционную камеру с коридором управления и лабораторией;

вентилятора КЦ4-90 № 4.

Системой отопления и вентиляцией управляют со щита, установленного в лаборатории.

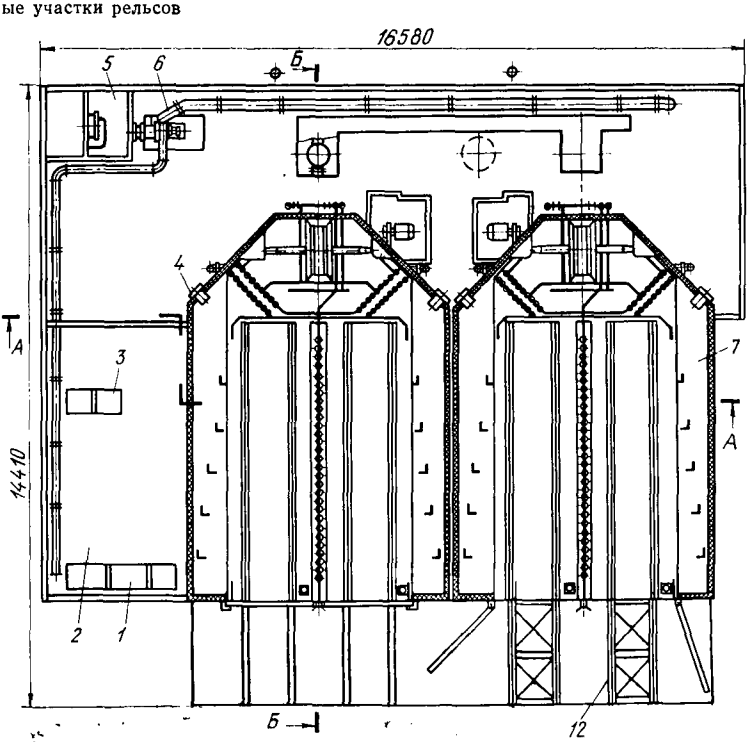
При разработке проекта и освоении производства сушилок СПМ-2К предусматривается 100 %-ная заводская готовность всех узлов и деталей, изготовляемых из металла, и комплектация необходимыми приборами, оборудованием и материалами. На месте установки сушилки необходимо под-

готовить фундамент, осуществить монтаж, возвести кровлю, подключить сушилку к наружным коммуникациям и выполнить определенные строительные работы. Материалы для возведения кровли, строительных и отделочных работ в комплект заводской поставки не входят. По желанию заказчика завод-изготовитель за отдельную плату может поставить совместно с сушилкой 12 подштабельных тележек (см. рис. 6.10) для формирования сушильного штабеля с укладкой вручную, с помощью лифта или полупакетов с помощью автопогрузчика.

Решение о необходимости серийного производства сушилок указанного типа принято после ведомственных испытаний опытно-промышленного образца СПМ-2К, установленного на экспериментально-производственном заводе «Красный Октябрь» ЦНИИМОДа. При испытании и приемке СПМ-2К проведены опытные сушки, в результате которых установлено, что фактическая производительность сушилки соответствует проектной, а качество сушки — I—II категориям. По результатам испытаний ведомственная комиссия отметила, что сушилка СПМ-2К по конструкции, технологичности и

Рис. 4.5. Сушилка СПМ-2К:

1 — щиты управления вентиляторами; *2* — лаборатория-операторская; *3* — щиты авторегулятора; *4* — психрометрические устройства; *5* — венткамера; *6* — система отопления и вентиляции; *7* — камера периодического действия типа СПМ-1К; *8* — вытяжные трубы для удаления испаряемой влаги при сушке пиломатериалов в среде перегретого пара; *9* — крышный вентилятор; *10* — приточно-вытяжные трубы для воздухообмена камеры при сушке пиломатериалов в паровоздушной среде; *11* — гидравлический затвор; *12* — съемные участки рельсов



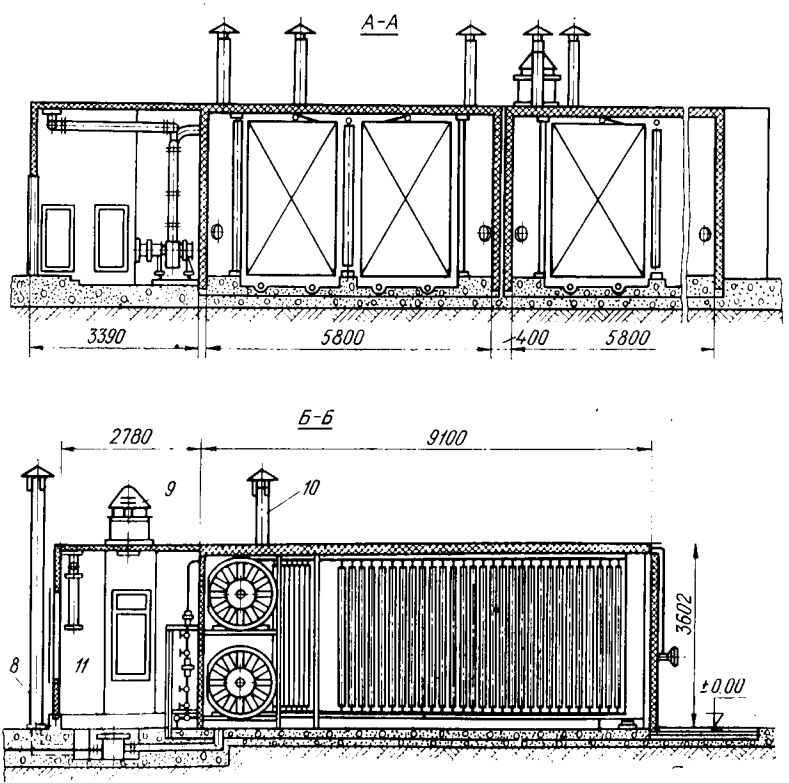
эксплуатационным качествам соответствует лучшим современным образцам. Она обеспечивает высококачественную сушку пиломатериалов при всех режимах сушки с наименьшими эксплуатационными затратами.

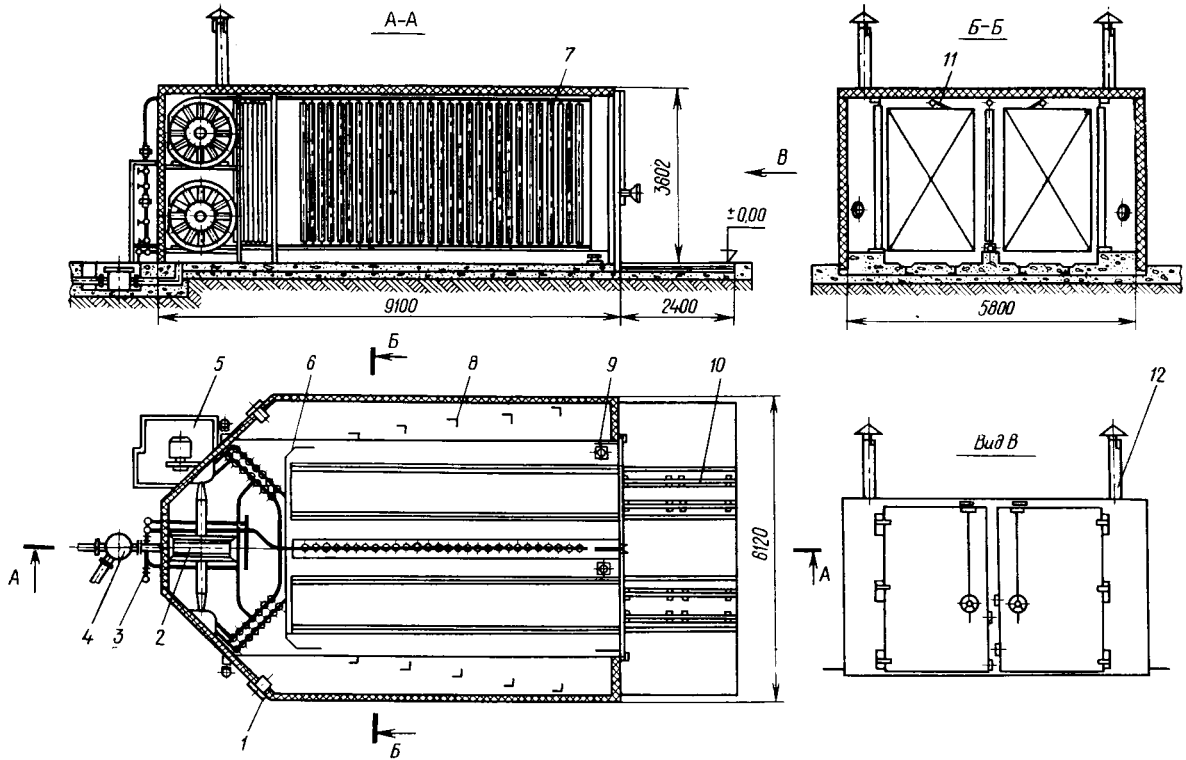
С освоением производства сушилок СПМ-2К на Ижевском экспериментальном механическом заводе предусматривается их дальнейшая унификация. В частности, по требованию заказчика завод будет изготовлять и комплектовать лесосушильные блоки с одним пунктом управления (с одной лабораторией) на базе двух, трех или четырех сушилок СПМ-2К.

На многих предприятиях деревообрабатывающей промышленности по требованию технологии производства сушильные хозяйства целесообразно размещать в отапливаемом производственном здании. Для реализации указанного требования двухштабельная камера, входящая в состав сушилки СПМ-2К, будет изготовляться как самостоятельная единица, укомплектованная необходимыми приборами и системой автоматики. Этой камере присвоена марка СПМ-1К.

4.2.6. Двухштабельная камера СПМ-1К

Камера состоит из пяти цельносборных металлических секций. Передняя представляет сварную конструкцию прямоугольной формы, закрытую с одного из торцов дверями. Каркас секции состоит из швеллерного и уголкового




А-А
7
3602
В
±0,00
9100
2400
Б-Б
11
5800
Б
5
6
8
9
10
6120
А
4
3
2
1
Б
Вид В
12
А

проката, закрытого изнутри стальным листом, защищенным антикоррозийным покрытием. Снаружи стены обшиты алюминиевым листом. Пространство между обшивками заполнено теплоизоляционным материалом — минеральной ватой. Секция имеет две одностворчатые автоклавные двери. Для герметичного уплотнения дверей применяется полосовая термостойкая резина, которая закладывается в специально загнутый листовой профиль, приваренный к каркасу секции. Двери закрываются с помощью двух штурвалов и штанги. В зоне дверного проема установлены два конечных выключателя, блокирующих работу вентиляторов при открытых дверях. В секции имеются два оборотных блока и трубчатый стальной калорифер.

Средняя секция конструктивно выполнена аналогично передней, но без дверей и оборотных блоков. Камера имеет две средние секции. Промежуточная секция выполнена аналогично средней, но дополнительно имеет разделительную перегородку и отверстия для установки датчиков.

Вентиляторная секция — наиболее ответственный узел камеры. Корпус секции в плане представляет равнобокую трапецию. В секции установлены два осевых реверсивных вентилятора, расположенных друг над другом на поперечных валах. Подшипниковые узлы вынесены за пределы внутреннего пространства и располагаются в специальных карманах. На наружном торце смонтирована паровая гребенка, включающая клапаны с исполнительными механизмами, вентили и манометры. Места прохода вентиляторных валов и паровых труб имеют специальное сальниковое уплотнение. На скошенных боковых стенах установлены приточно-вытяжные трубы, имеющие в верхней части перекрывающие заслонки с исполнительным механизмом.

Сочленение секций и герметичность внутренней оболочки камеры обеспечиваются с помощью сварки. С внешней стороны камеры промежутки между секциями закрываются алюминиевыми накладками и крепятся винтами. Эти промежутки предварительно заполняются стекловатой.

Лесосушильная камера в собранном виде — это металлический короб, разделенный по длине на две части: сушильное пространство и вентиляторное помещение (рис. 4.6). В сушильном пространстве размещается высушиваемый материал, тепловое оборудование, направляющие экраны и оборотные блоки. Объем этого пространства рассчитан на загрузку двух штабелей. В вентиляторном помещении находятся вентиляторная установка, тепловое оборудование с разводкой трубопроводов, устройства для датчиков.

Для создания мощной циркуляции агента сушки по материалу используются два осевых реверсивных вентилятора ЦАГИ серии У-12 № 12,5, располагаемые друг над другом на поперечных валах с вынесенными из горячей зоны подшипниками. В качестве привода вентиляторов применены трехско-

---

Рис. 4.6. Камера СПМ-1К:

1 — психрометрическое устройство; *2* — осевой реверсивный вентилятор серии У № 12,5 с электроприводом; *3* — паровая раздаточная гребенка; *4* — гидравлический затвор для сброса влаги, испаряемой из древесины при сушке пиломатериалов в среде перегретого пара; *5* — моторная площадка; *6* — разделительная перегородка с торцовыми экранами; *7* — калорифер стальной трубчатый; *8* — направляющие экраны; *9* — блок оборотный; *10* — откидные участки рельсов; *11* — экран-шторка поворотная; *12* — трубы приточно-вытяжные для воздухообмена камеры при сушке пиломатериалов в паровоздушной среде

ростные электродвигатели АО2-71-8/6/4, соединяемые с вентиляторами через шкивы и клиноременную передачу.

В камере устанавливаются специальные стальные трубчатые калориферы. Общая поверхность нагрева составляет 470,5 м². Для обеспечения равномерного температурного поля 55 % поверхности нагрева трубчатого калорифера устанавливается в вентиляторном помещении, а 45 % — в сушильном пространстве: в промежутке между штабелями. Камера оснащена увлажнительной системой и приточно-вытяжными трубами.

Увлажнительная система состоит из двух пар труб, установленных вертикально на выходе из вентиляторного помещения в сушильное пространство. Эти трубы по всей длине имеют отверстия, через которые пар подается непосредственно в камеру.

Для удаления отработанного воздуха в торцовой части камеры со стороны коридора управления предусмотрены две приточно-вытяжные трубы с регулирующими заслонками. Эти трубы соединены с вентиляторным помещением специальными патрубками, равномерно распределенными по высоте камеры.

Устройства для датчиков размещены в торцовой части (на входах в главные нагнетательные каналы). В работающей камере, в зависимости от направления воздушного потока, один из них автоматически отключается.

Влага, испаряемая из древесины при высокотемпературном процессе сушки, удаляется только через гидравлический затвор, с помощью которого в камере поддерживается атмосферное давление. В конструкции гидравлического затвора и месте его установки предусматривается система для сбора образующегося конденсата.

Для уменьшения утечки агента сушки мимо сушильных штабелей в камере устанавливаются стационарные и поворотные экраны. Стационарные экраны загораживают торцы штабелей, а поворотные — ликвидируют утечку агента сушки через зазор, образующийся между потолочным перекрытием и верхом штабелей в период их усадки.

Для механизации загрузки штабелей в камере со стороны дверных проемов есть поворотные блоки. Выгружать штабеля из камеры можно траверсной тележкой, автопогрузчиком или специальной лебедкой.

Для регулирования параметров агента сушки камера оснащена регулятором «Роса», разработанным СвердНИИПДревом, с помощью которого поддерживаются заданные режимные параметры по температуре и психрометрической разности.

Работа электродвигателей вентиляторов в автоматическом режиме осуществляется командным электропневматическим прибором КЭП-12У, меняющим направление вращения вентиляторов через каждый час с промежутком между их отключением и включением в другом направлении, равным 90—120 с.

Камера СПМ-1К предназначается для установки внутри отапливаемого производственного помещения и рекомендуется к применению на любых деревообрабатывающих предприятиях с объемом переработки не более 30—60 тыс. м³ условных пиломатериалов в год.

4.2.7. Камера Гипродрев-ЛТА

Схема лесосушильной камеры Гипродрев-ЛТА приведена на рис. 4.7. Опытные образцы этой камеры эксплуатируются на деревообрабатывающем заводе имени С. Халтурина в Ленинграде. Гипродрев разработал типовой проект на блок из шести камер. Каждая камера вмещает четыре штабеля (два по ее длине и два по ширине). Размеры штабеля (длина×ширина×высота) равны 6,5×1,8×2,6 м.

Для нагревания агента сушки в камере применяются пластинчатые калориферы КФС-11, расположенные в верхнем рециркуляционном канале, и чугунные ребристые трубы, размещаемые между штабелями. Производитель-

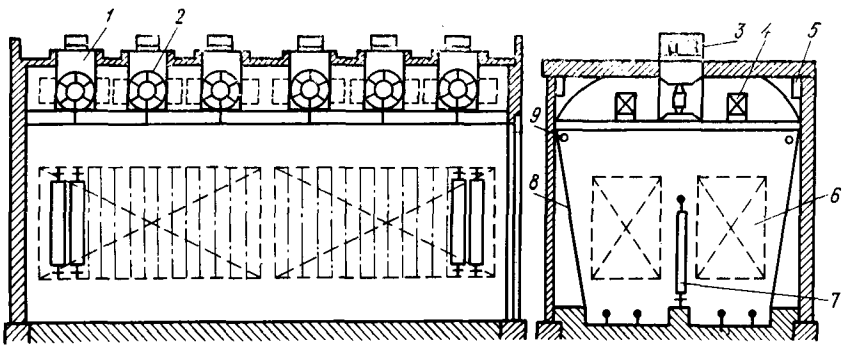


Рис. 4.7. Камера Гипродрев-ЛТА:
1 — вентиляторный блок; *2* — вентилятор; *3* — электродвигатель; *4* — калорифер; *5* — приточно-вытяжные каналы; *6* — штабель; *7* — калорифер промежуточный; *8* — боковой экран; *9* — увлажнительные трубы

ность камеры при форсированных режимах составляет 6000 м³ условного материала в год.

Циркуляция агента сушки осуществляется при помощи шести реверсивных вентиляторов У-12 № 10. По сравнению с камерой СПВ-62 аэродинамические характеристики данной камеры несколько хуже: камера СПВ-62 имеет четыре вентилятора на один штабель, а в камере Гипродрев-ЛТА только три вентилятора такого же типа. При этом агент сушки от этих трех вентиляторов циркулирует через два штабеля, расположенных по ширине камеры, что повышает сопротивление движению агента сушки. По данным межведомственных испытаний, средняя скорость агента сушки через штабель равна 1,7 м/с. Хотя в камере установлены наклонные боковые экраны, скорость агента сушки по высоте штабеля распределяется неравномерно: внизу она в среднем на 0,6 м/с меньше, чем вверху (скорость замерялась на выходе из второго штабеля). Коэффициент использования потока составляет 60 %. Это говорит о неудовлетворительном экранировании разрывов между штабелями, а также между штабелями и ограждениями.

Отличительной особенностью камеры является конструкция вентиляторного узла, представляющего собой съемный вентиляторный блок. Привод вентилятора осуществляется от электродвигателя посредством цепной пере-

дачи. Хотя вентиляторный узел легко может быть заменен, привод посредством цепной передачи необходимо отнести к конструктивным недостаткам данной камеры, так как цепные передачи при больших скоростях, особенно в условиях лесосушильных камер, работают неудовлетворительно. Кроме того, такие вентиляторные блоки промышленностью не производятся. К недостаткам Гипродрев-ЛТА можно также отнести малую ширину (550 мм) бокового циркуляционного канала между штабелем и боковой стеной камеры, что приводит к неравномерности распределения агента сушки по высоте штабеля.

5.2.8. Камера «УРАЛ-72»

В деревообрабатывающей промышленности для сушки пиломатериалов небольших объемов нашли некоторое применение камеры периодического действия с аэродинамическим подогревом сушильного агрегата. В таких камерах тепло для нагревания материала и сушки создается за счет аэродинамических потерь в циркуляционной системе камеры, где циркулирует с боль-

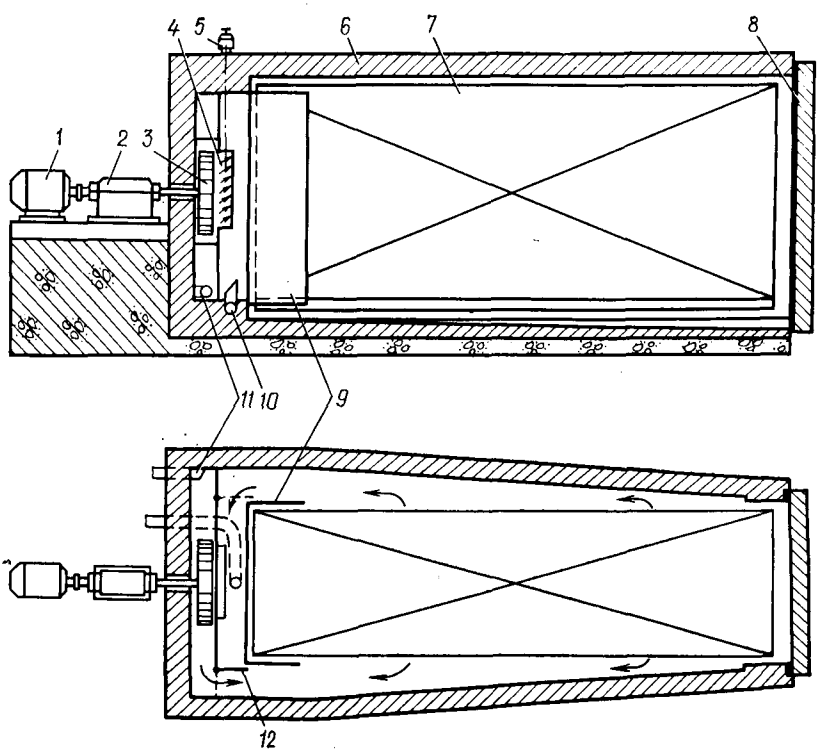


Рис. 4.8. Камера «УРАЛ-72»:
1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — вентилятор; *4* — жалюзийная заслонка; *5* — исполнительный механизм; *6* — ограждение; *7* — штабель; *8* — дверь; *9* — приторцовый экран; *10* — приточная вентиляция; *11* — вытяжная вентиляция; *12* — шибер

шой скоростью поток сушильного агента, создаваемый центробежным вентилятором, ротор которого установлен в камере.

СвердНИИПДрев разработал камеру с аэродинамическим подогревом сушильного агента — «Урал-72», которая серийно выпускается Ижевским экспериментальным механическим заводом. Камера предназначена для сушки по II—III категориям качества пиломатериалов, идущих на изготовление столярно-строительных изделий. Устройство камеры поясняется схемой на рис. 4.8. Центробежный вентилятор специальной конструкции нагнетает воздух в циркуляционный контур, где за счет аэродинамических потерь в роторе вентилятора и потерь на преодоление гидравлического сопротивления кинетическая энергия сушильного агента превращается в тепловую.

Схема камеры «УРАЛ-72» принципиально отличается от схемы ПАП-32. В ней улучшены аэродинамические и технико-экономические показатели (улучшено распределение сушильного агента по объему штабеля путем установки специальных экранов, обеспечен реверс сушильного агента с помощью специальных шиберов в циркуляционном канале). Характеристика камеры приведена в табл. 4.2. Испытания камеры показали, что она обеспечивает удовлетворительное качество сушки, если в процессе нагрева и сушки подается пар на увлажнение. Поэтому предложено оснастить выпускаемые камеры специальным увлажнительным устройством, так как на ряде предприятий, где они применяются, отсутствует технологический пар. Камера «УРАЛ-72» рекомендована к применению на предприятиях с небольшим объемом деревообработки, например в леспромхозах.

4.3. СХЕМЫ НЕКОТОРЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ КАМЕР

Одной из первых была применена в СССР высокотемпературная металлическая камера периодического действия финской фирмы «Valmet». Ее аналог — рассмотренная выше камера СПВ-62. Однако зарубежная камера выполнена без наклонных боковых экранов, поэтому в ней более неравномерно распределяется скорость агента сушки по высоте штабеля. Технические показатели камеры «Valmet» (табл. 4.4) уступают показателям камеры СПВ-62М.

Фирма «Valmet» выпускает одноштабельные металлические высокотемпературные камеры (рис. 4.9, табл. 4.4). Принцип действия и конструкция этих камер аналогичны рассмотренным отечественным СПЛК-2, СПМ-1К.

Западногерманской фирмой «Hildebrand» разработаны камеры периодического действия с осевыми вентиляторами на поперечных валах. На рис. 4.10 представлена схема лесосушильной камеры НД-78К, которая служит модулем для построения нескольких типоразмеров камеры. Циркуляция агента сушки осуществляется от осевого вентилятора № 10, который насажен непосредственно на вал электродвигателя. Электродвигатель имеет специальное исполнение и может эксплуатироваться при температуре до 110 °С. Мощность электродвигателя 5,5 кВт, частота вращения 750 $мин^{-1}$. На один штабель длиной 7 м устанавливаются три вентилятора.

Для формирования штабелей фирмой «Hildebrand» предусматривается пакетный способ. Размер поперечного сечения пакета 1,5×1,5 м. Штабель формируется из двух пакетов по высоте. При размещении двух штабелей (шириной 1,5 м) по ширине камеры реверсирование движения агента сушки

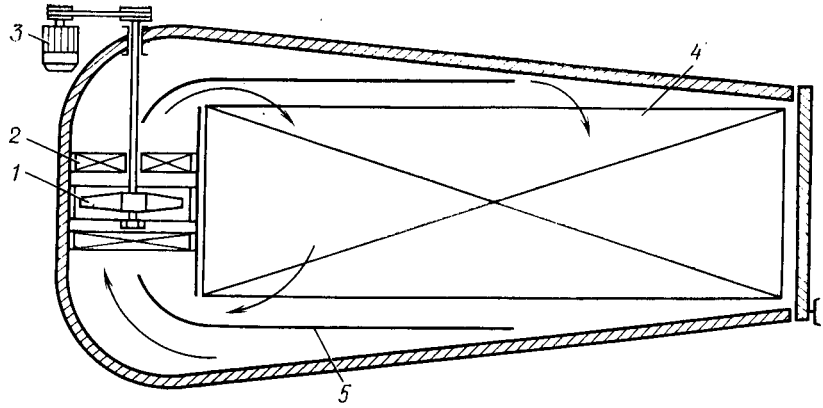


Рис. 4.9. Камера фирмы «Sateko»:
1 — вентилятор; *2* — калорифер; *3* — электродвигатель; *4* — штабель; *5* — экран

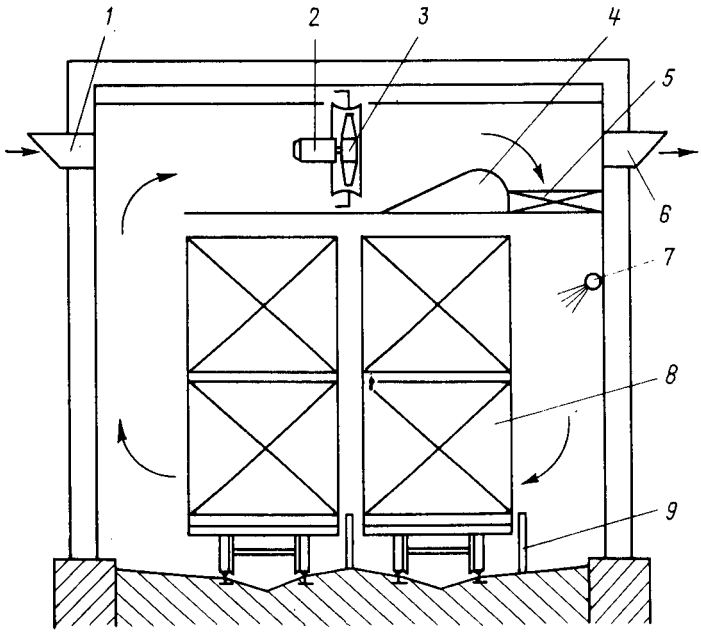


Рис. 4.10. Камера НД-78К фирмы «Hildebrand»:
1 — канал притока свежего воздуха; *2* — электродвигатель; *3* — вентилятор; *4* — обтекатель; *5* — калорифер; *6* — канал выброса отработанного воздуха; *7* — увлажнительная труба; *8* — штабель; *9* — экран

4.4. Характеристика некоторых зарубежных камер периодического действия

Показатели	«Moor»	«Valmet» (высокотемпературная)	«Hildebrand» с осевым вентилятором НД-78К (1 секция)	«Sateko» («Valmet»)	«Hildebrand» с центробежным вентилятором НД-78	«Schilde» SH-11	«Bollmann» HT-70MKB-S
Внутренние размеры (длина × ширина × высота), м	27×8,5×6,3	6,25×1,7×3,25	7,2×4,6×4,8	7,5×3,8×2,8	13,5×8,2×5,6 (наружные)	19×6,5×4,5	12,5×4,4×3,35
Высота (ширина) вентиляционного помещения, м	2	0,9	1	—	—	—	—
Объем камеры, м³	1509,6	43	159	79,8	620	555	184
Размеры загружаемых штабелей (длина × ширина × высота), м	6,5×2,4×3	6×1,2×2,08	7×1,2×3	6,5×2×2	6×1,4×2,8	6×1,6×2,4	6×1,4×2,8
Число штабелей	8	1	2	1	6	6	4
Габаритный объем штабеля, м³	46,8	15,8	25,2	26	23,5	23	23,4
Емкость в условном пиломатериале, м³	177,4	7,1	23,8	12,3	66,8	66,4	44,5
Расчетная годовая производительность в условном пиломатериале, м³	12 000	1500	3000 *	2000	9500 *	10 000 *	3000
Тип калорифера	Ребристые трубы	Пластинчатые	Биметаллические трубы	Пластинчатые	Биметаллические трубы		
Поверхность нагрева, м²	590	180	—	180	—	—	—
Вентиляторы:							
число, шт.	11	5	3	1	6	9	6
тип	Осевой		Осевой		Радиальный (центробежный)		Осевой
Установленная мощность электродвигателей, кВт	30	7,5	16,5	7,5	33	45	9,0

* При сушке форсированными режимами.

не предусматривается, что является недостатком аэродинамической схемы. В данной и в других камерах этой фирмы при верхнем расположении вентиляторов делаются обтекатели ложного потолка для плавного поворота агента сушки. В качестве нагревательных устройств применяются калориферы из биметаллических ребристых труб. Камеры по этой схеме изготовляются длиной от 4,6 до 27,9 м. Предусмотрен также вариант проходной камеры. В табл. 4.4 дана техническая характеристика двухпутной шестиштабельной камеры НД-78К.

Канадская фирма «Moor» считает оптимальной конструкцией камеру периодического действия с осевыми вентиляторами на продольном валу, расположенными в верхнем циркуляционном канале вдоль оси камеры. На рис. 4.11 представлена схема проходной двухпутной камеры периодического действия. Камера имеет 11 реверсивных вентиляторов № 18, которые насажены на общий продольный вал. Частота вращения вентилятора — 340 мин$^{-1}$. Мощность электродвигателя его привода 30 кВт. Системой экранов поток агента сушки направляется поперек штабеля. Ширина бокового циркуляционного канала между штабелем и боковой стеной камеры составляет 40 % высоты штабеля, что предопределяет равномерное распределение агента сушки по нему. По данным ЦНИИМОДа, при средней скорости циркуляции агента сушки по штабелю $\omega_{ср}=1{,}34$ м/с и среднем квадратическом отклонении $\sigma=0{,}33$ м/с вариационный коэффициент составляет $v=24{,}6$ %. Отечественная камера ЦНИИМОД-23 имеет аналогичную схему циркуляции. Однако ширина бокового циркуляционного канала между штабелем и боковой стеной камеры составляет только 20 % высоты штабеля, что явно недостаточно для равномерного распределения скорости воздуха по его высоте.

В камере фирмы «Moor» нагревательная система, размещенная по обеим сторонам вентиляторов, состоит из продольных рядов ребристых труб. Между штабелями расположена нагревательная система в виде продольных гладких труб. Общая площадь нагрева калориферов 590 м^2. Данная камера вмещает восемь штабелей размером (длина×ширина×высота) 6,5×2,4×3 м и имеет производительность 12 000 м^3 условных материалов в год. Фирмой «Moor» разработан вариант проходной камеры повышенной емкости. Схема такой камеры аналогична схеме, представленной на рис. 4.11, но исключены калориферы между штабелями. Число вентиляторов оставлено прежним. Число штабелей доведено до десяти. Размеры штабеля составляют (длина×ширина×высота) 6,5×2,85×4,27 м. Мощность привода увеличена до 55 кВт. Двери камеры откатные со смотровым окном. Передвижение дверей механизировано. В такой камере наряду с сушкой экспортных пиломатериалов можно осуществлять высококачественную сушку до эксплуатационной влажности пиломатериалов, идущих на внутреннюю переработку. Применение проходных камер обеспечивает технологичность потоков в сушильных цехах, перерабатывающих пиломатериалы значительных объемов. В таких камерах можно также высушивать лиственничные пиломатериалы. Поэтому начаты работы для создания отечественных высокопроизводительных проходных камер периодического действия.

За рубежом все большее распространение получают камеры периодического действия с центробежными вентиляторами. Такие камеры производятся в Югославии, Чехословакии, ФРГ. На рис. 4.12 представлена схема двухпут-

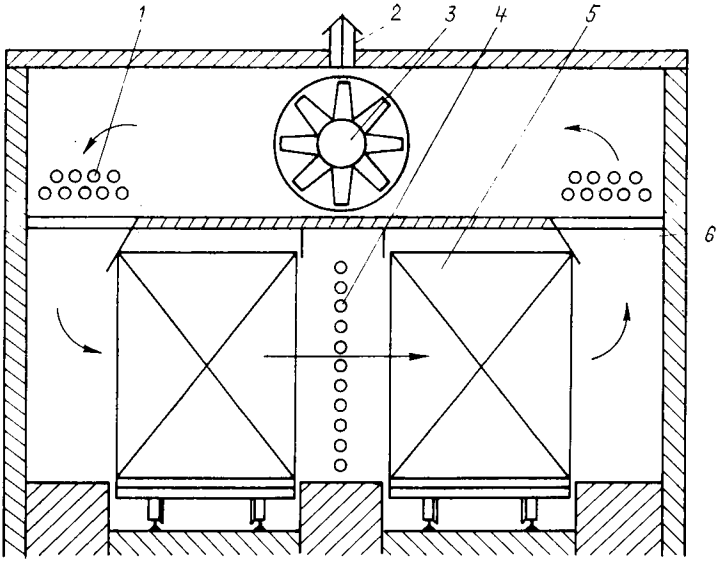


Рис. 4.11. Камера фирмы «Моог»:
1 — калорифер; *2* — приточно-вытяжная вентиляция; *3* — вентилятор; *4* — калорифер промежуточный; *5* — штабель; *6* — экран

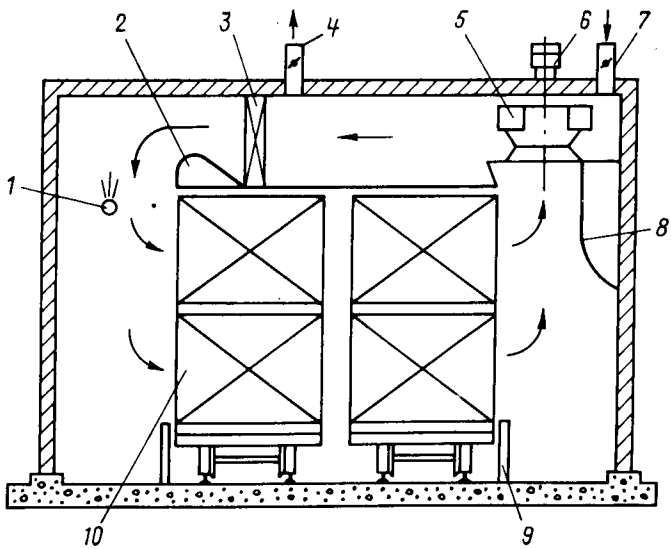


Рис. 4.12. Камера SH-11 фирмы «Schilde»:
1 — увлажнительная труба; *2*, *8* — обтекатели; *3* — калорифер; *4* — канал выброса отработанного воздуха; *5* — вентилятор; *6* — электродвигатель; *7* — канал притока свежего воздуха; *9* — экран; *10* — штабель

ной камеры периодического действия SH-11 с центробежным вентилятором, разработанная фирмой «Schilde». Камера вмещает шесть штабелей: три по длине и две по ширине. Размеры штабеля (длина×ширина×высота) 6×1,6×2,4 м.

На рис. 4.13 представлена схема трехпутной камеры фирмы «Hildebrand». Отличительной особенностью этой камеры является наличие промежуточного калорифера между вторым и третьим штабелями (по ходу агента сушки). Эта камера вмещает шесть штабелей: два по длине и три по ширине. Раз-

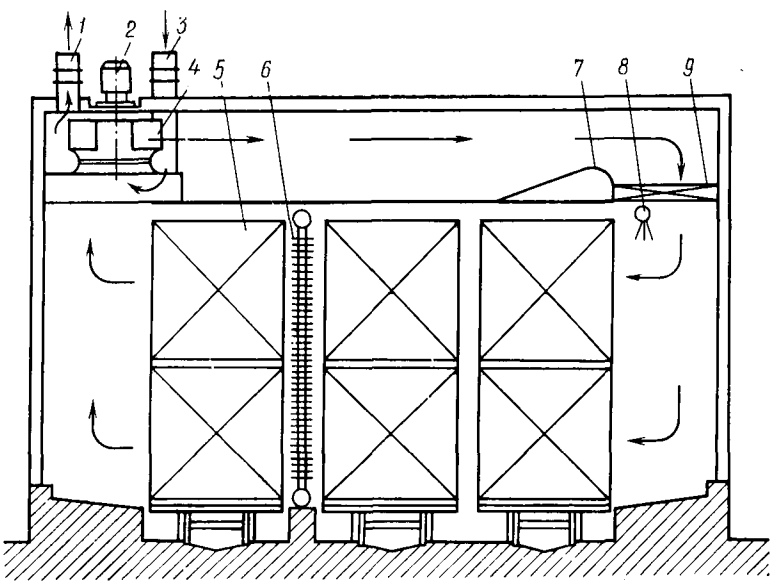


Рис. 4.13. Камера с центробежным вентилятором фирмы «Hildebrand»:
1 — канал выброса отработанного воздуха; *2* — электродвигатель; *3* — канал притока свежего воздуха; *4* — вентилятор; *5* — штабель; *6* — промежуточный калорифер; *7* — обтекатель; *8* — увлажнительная труба; *9* — калорифер

меры штабеля (длина×ширина×высота) 6×1,4×3,45 м. Как правило, в камерах такого вида на один штабель по длине устанавливаются три вентилятора. Для плавного поворота агента сушки на ложном потолке делается обтекатель. Камеры данного вида могут быть проходными. По аналогичной схеме фирма «Hildebrand» разработала камеру непрерывного действия НД-78КП33/35 с позонной циркуляцией. При правильных соотношениях геометрических размеров в данной камере можно получить довольно равномерное распределение скорости агента сушки по высоте штабеля. К достоинствам камер такого вида относятся простота конструкции привода и хорошие условия его эксплуатации. К недостаткам — отсутствие реверса направления циркуляции агента сушки и малый коэффициент полезного действия вентилятора.

За рубежом находят также распространение камеры с вентиляторами, расположенными в боковых рециркуляционных каналах. На рис. 4.14 пред-

ставлена схема камеры НТ-70МКВ-S фирмы «Bollmann». Такие камеры эксплуатируются на некоторых заводах СССР. Они двухпутные (ширина колеи 800 мм), четырехштабельные. Штабель формируется из двух пакетов размером 1,4×1,4×6 м. Для нагревания агента сушки используются 12 секций биметаллических калориферов (промышленный стандарт ФРГ 2631), в качестве теплоносителя — пар давлением до 0,5 МПа. На каждую секцию калориферов устанавливается индивидуальный конденсатоотводчик, расположен-

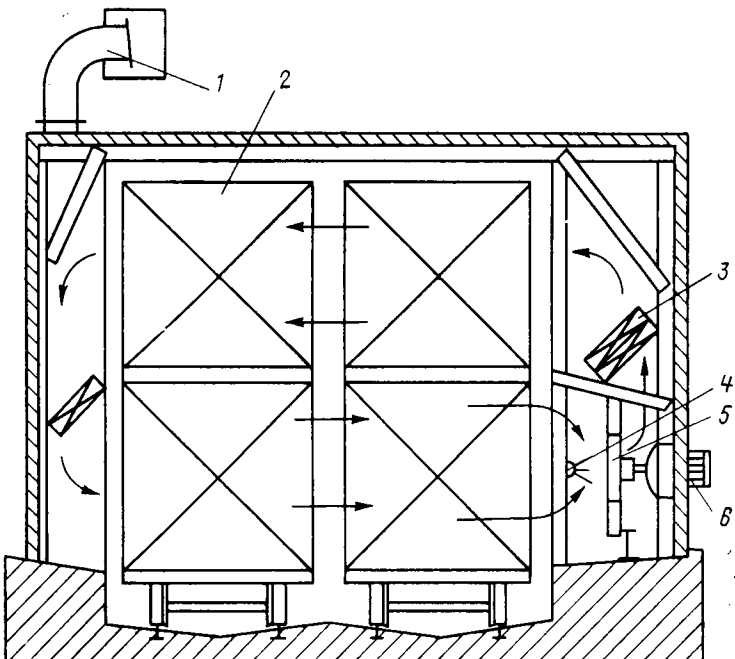
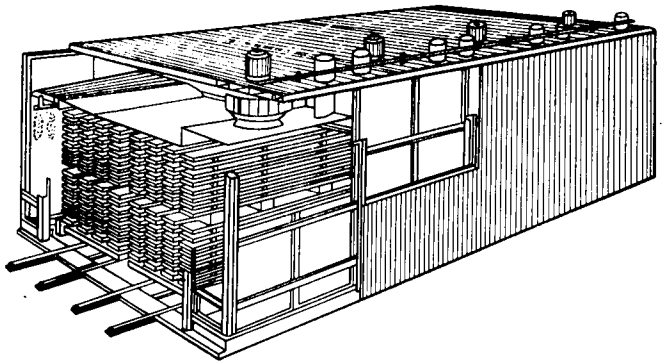


Рис. 4.14. Камера НТ-70МКВ-S фирмы «Bollmann»:
1 — канал выброса отработанного воздуха; *2* — штабель; *3* — калорифер; *4* — увлажнительная труба; *5* — вентилятор; *6* — электродвигатель

ный непосредственно в сушильном пространстве. Сушильный агент увлажняется при помощи впрыскивания холодной воды. Вода насосом (под давлением 0,4—0,6 МПа) подается в распределительный трубопровод и распыляется через форсунки, установленные напротив каждого вентилятора.

Свежий воздух в камеру подается через четыре канала диаметром 200 мм, закрывающиеся заслонками при помощи исполнительного механизма. Отработанный воздух выбрасывается через три канала сечением 400×200 мм, не имеющих заслонок. Температура и влажность воздуха регулируются при помощи электронного регулятора «ТРОМАТИК УШ-Д-1». Температура агента сушки контролируется при помощи ртутных термометров, установленных в одном блоке с термометрами для регулирования.



а

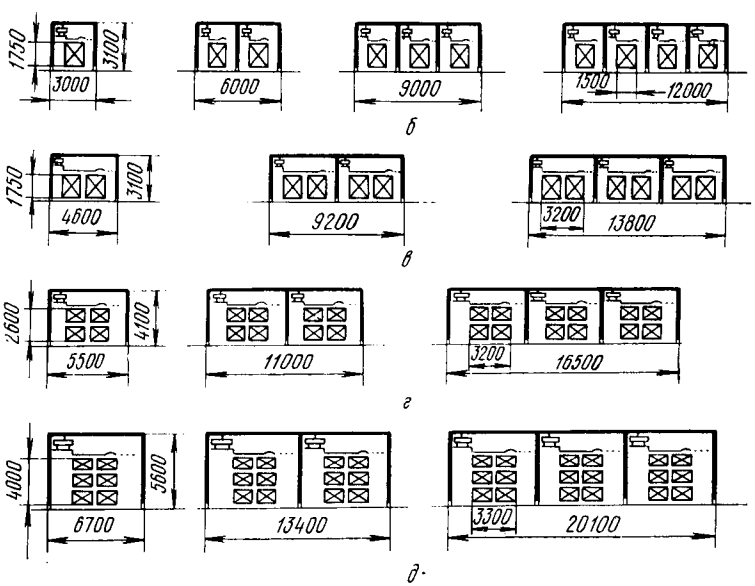


Рис. 4.15. Камеры ЧССР:

а — общий вид; *б* и *в* — поперечные разрезы малоемкостных камер KWB11 и KWB12; *г* — поперечные разрезы среднеемкостных камер KWC12; *д* — поперечные разрезы крупноемкостных камер KWД12

Воздух циркулирует при помощи шести осевых вентиляторов № 10 (с семью лопастями, диаметр ступицы 400 мм), которые установлены около нижней половины штабеля. Привод вентиляторов — от фланцевых электродвигателей ($P=1{,}5$ кВт, $n=720$ мин$^{-1}$), установленных на боковой стене камеры. Ступицы непосредственно насажены на валы электродвигателей. Вентиляторы засасывают агент сушки из нижней половины штабелей и нагнетают его через калорифер в верхнюю половину штабеля. При выходе из нее агент сушки проходит через калориферы, установленные у противоположной стенки камеры, и вновь попадает в нижнюю половину штабеля.

Во всех камерах данного вида в штабеле создаются два взаимно противоположных потока агента сушки. Это ухудшает равномерность распределения его скорости по высоте штабеля и является причиной наличия в штабеле зон, в которых циркуляция агента сушки отсутствует. Еще одним недостатком камер этого вида является отсутствие реверса агента сушки в результате отсутствия симметрии циркуляционного кольца. Устройство реверса привело бы к созданию различного поля скоростей при правом и левом вращениях вентилятора.

В Чехословакии выпускается серия камер с центробежными вентиляторами, аналогичных по конструкции камерам фирмы «Hildebrand». На рис. 4.15 представлены схемы компоновок камер различной емкости. Камеры различаются числом путей по ширине, высотой штабеля и числом штабелей по длине. За модуль в этих схемах приняты одно- или двухштабельные камеры по ширине. При этом на каждый штабель по длине устанавливаются три центробежных вентилятора. Представленные на рис. 4.15 схемы позволяют получить камеры с емкостью штабелей, размещенных внутри, от 7 до 135 м^3 и с годовой производительностью от 500 до 12 000 тыс. м^3. Камеры выпускаются в алюминиевом исполнении и оснащены системой автоматического управления.

По данным ЧССР, удельный расход пара в камерах KWC составляет 1,9 кг/кг, а в камерах KWД — 1,91 кг/кг испаряемой влаги. Удельный расход электроэнергии в камерах KWC равен 0,243 кВт·ч/кг, в KWД — 0,121 кВт·ч/кг испаряемой влаги.

ГЛАВА 5. КАМЕРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

5.1. НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Как правило, при массовой сушке товарных пиломатериалов до транспортной влажности на лесопильных предприятиях применяют камеры непрерывного действия. Они могут также использоваться для сушки пиломатериалов, идущих на столярно-строительные изделия неответственного назначения (III категория качества сушки).

В камерах непрерывного действия, загруженных постоянно, материал перемещается по мере высушивания от загрузочного к разгрузочному концу. Процесс сушки в них протекает непрерывно. Если в камерах периодического действия режим сушки изменяется во времени, оставаясь в данный момент одинаковым для всего объема камеры, то в камерах непрерывного действия состояние воздуха изменяется по их длине, оставаясь в каждой зоне постоянным во времени.

Характерной особенностью лесосушильных камер непрерывного действия является наличие нескольких зон, по которым перемещают штабеля пиломатериалов в процессе сушки и в которых поддерживаются различные для разных зон и не изменяющиеся по времени параметры сушильного агента. Схемы циркуляции сушильного агента в камерах непрерывного действия условно можно разделить на три группы.

В первую, наиболее распространенную группу входят камеры с противоточной схемой циркуляции. Принцип их работы поясняется схемой на рис. 5.1. Камеры представляют собой туннель, разделенный горизонтальным экраном на две части: сушильное пространство и циркуляционный канал, в котором установлены вентиляторы и калориферы. Вентилятор, приводимый в движение двигателем, направляет воздух через калориферы в разгрузочный конец камеры. При такой схеме сушильный агент, подготовленный в тепловентиляторном оборудовании, последовательно проходя один за другим все штабеля в направлении, противоположном направлению перемещения штабелей, постепенно увлажняется и охлаждается. Таким образом создаются определенные параметры сушильного агента в разных зонах.

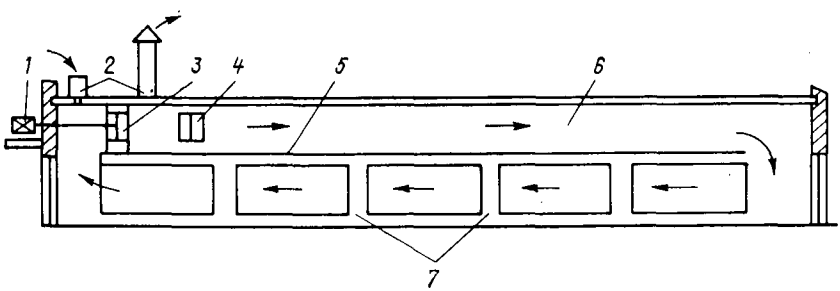


Рис. 5.1. Противоточная камера непрерывного действия:
2 — приточно-вытяжные каналы; *3* — осевой вентилятор с электродвигателем *1*; *4* — калорифер; *5* — горизонтальный экран; *6* — циркуляционный канал; *7* — сушильное пространство

Во вторую группу можно отнести камеры с многократной подготовкой сушильного агента в тепловентиляторном оборудовании. При такой схеме перед поступлением в любую из зон сушильный агент обязательно проходит тепловентиляторное оборудование, которым определяется режим сушки в каждой зоне.

В третью группу входят камеры со схемой циркуляции сушильного агента, содержащей элементы схем первой и второй групп. В камерах третьей группы сливаются несколько потоков сушильного агента в один и разделяется один поток на несколько перед поступлением в определенные сушильные зоны. Эти камеры имеют схемы циркуляции, при которых изменение параметров сушильного агента, подаваемого в определенные сушильные зоны, определяется и режимом работы тепловентиляторного оборудования, и тепломассообменом в штабелях.

Из камер с противоточной схемой наиболее часто встречаются камеры с вертикальным кольцом циркуляции сушильного агента и поперечным перемещением штабелей в камере. В Советском Союзе с такой схемой используются отечественные камеры НБ-1, НБ-2, ЦНИИМОД-49, ЦНИИМОД-56, СП-5КМ и несколько камер фирмы «Valmet». За рубежом известны камеры с такой схемой циркуляции фирм «Sateko» и «Hildebrand».

В камерах с противоточной циркуляцией равномерность распределения потока по штабелю, находящемуся в разгрузочной зоне, на разброс конеч-

5.1. Допустимые нормы средних отклонений скорости сушильного агента от средней в камерах непрерывного действия

Средняя скорость v, м/с	Относительное среднее отклонение скорости $\Delta\overline{v}/\overline{v}$	Среднее отклонение скорости $\Delta\overline{v}$, м/с	Средняя скорость v, м/с	Относительное среднее отклонение скорости $\Delta\overline{v}/\overline{v}$	Среднее отклонение скорости $\Delta\overline{v}$, м/с
1,5	0,20	±0,3	3,0	0,31	±0,9
2,0	0,25	±0,5	4,0	0,35	±1,4
2,5	0,28	±0,7	—	—	—

ной влажности не оказывает заметного влияния, так как в этой зоне пиломатериал уже имеет достаточно низкую влажность, при которой не ощущается заметного влияния скорости сушильного агента на интенсивность сушки.

В загрузочной зоне камер, где размещаются штабеля пиломатериалов с высокой влажностью, неравномерность распределения потока по высоте штабеля может способствовать пересыханию досок, расположенных в верхней части штабеля, относительно досок, расположенных в нижней части штабеля, и тем самым увеличить разброс конечной влажности, который является одним из основных показателей качества сушки. Поэтому при проектировании камер особое внимание уделяется созданию условий, обеспечивающих равномерность распределения потока сушильного агента по высоте штабеля в загрузочном конце камеры. ЦНИИМОДом на основе экспериментальных исследований определены допустимые средние отклонения скорости сушильного агента для камер непрерывного действия при сушке пиломатериалов до транспортной влажности мягкими режимами (табл. 5.1).

Кроме камер с вертикальным кольцом циркуляции сушильного агента, известны камеры с горизонтальным кольцом циркуляции. В них рециркуляционный канал с тепловентиляционным оборудованием расположен вдоль боковых стен. В некоторых камерах имеется два рециркуляционных канала, расположенных по бокам сушильной зоны. К преимуществам таких камер нередко относят равномерное распределение потока по высоте штабеля, забывая при этом, что в местах поворотов потока создается неравномерное поле скоростей сушильного агента по длине штабеля, особенно при наличии только одного рециркуляционного канала.

Основным недостатком камер с горизонтальным кольцом циркуляции сушильного агента по сравнению с камерами, имеющими вертикальное кольцо циркуляции, является значительное (до 1,5 раза) увеличение производственных площадей на единицу объема высушиваемого материала. Поэтому камеры с противоточной горизонтальной циркуляцией сушильного агента могут быть в основном применены при реконструкции устаревших камер, не обеспечивающих необходимых производительности и качества сушки.

Из схем с противоточно-горизонтальной циркуляцией сушильного агента представляет интерес конструкция, предложенная МЛТИ (И. М. Меркушевым, авт. свид. № 446725). Камера (рис. 5.2) имеет два вертикальных экрана в виде штор из эластичного материала. При подаче вентиляторами воздуха в рециркуляционные каналы экраны прижимаются к торцам штабелей, лик-

5.2. Аэродинамические показатели некоторых камер непрерывного действия

Камера	Средняя скорость в штабеле при сушке пиломатериала толщиной 50 мм на прокладках толщиной 25 мм, м/с	Среднее квадратическое отклонение скорости, м/ч	Вариационный коэффициент, %	Коэффициент полезного использования потока, %
ЦНИИМОД-49	1,2	0,52	43	0,30
НБ-1 (НБ-2)	1,4	0,37	27	0,40
СП-5КМ	2,3	0,47	20	0,39
«Valmet»	1,9	0,49	26	0,38
«Valmet» (пиломатериал толщиной 22 мм)	1,6	0,59	37	0,42

видируя околоторцовые зазоры и защищая торцы досок от растрескивания. Камера снабжена также поперечными надштабельными экранами. Коэффициент использования воздушного потока в такой камере значительно выше, чем при общепринятой вертикальной схеме циркуляции (см. рис. 5.1).

По схеме МЛТИ на Амурском ЛДК сделана экспериментальная камера (на базе камеры непрерывного действия ЛатНИИЛХП). Испытания ее показали, что обеспечивается высокая скорость циркуляции сушильного агента (3—4 м/с) при удовлетворительной равномерности (v=14 %). На первых порах такая схема может быть рекомендована для реконструкции камер ЛатНИИЛХПа, а после отработки конструкции, опытной эксплуатации, получения сравнительных технико-экономических показателей следует решить вопрос об областях применения и перспективности таких камер.

Для циркуляции сушильного агента через штабеля в противоточных камерах непрерывного действия используются осевые вентиляторы. При мягких режимах сушки электродвигатель размещается прямо в рециркуляционном канале на одном валу с вентилятором. При нормальных или форсированных режимах привод вентиляторов выносится за пределы рециркуляционного канала, например, как в камерах ЦНИИМОД-49, ЦНИИМОД-56, НБ-1 и НБ-2. Кроме того, при таких режимах удобно использовать центробежные вентиляторы, устанавливая их в местах поворота потока из сушильной зоны в рециркуляционные каналы. Такое техническое решение принято, например, в камерах фирмы «Hildebrand» с вертикальным кольцом циркуляции и в ряде камер с горизонтальным кольцом циркуляции.

Параметры сушильного агента в разгрузочном конце камеры поддерживаются путем регулирования подачи теплоносителя в калорифер и интенсивности воздухообмена. Заданная степень насыщенности в загрузочном конце камеры должна поддерживаться путем регулирования количества воздуха, циркулирующего по штабелям, что достигается изменением частоты вращения приводов вентиляторов или аэродинамического сопротивления циркуляционного контура. В новых противоточных камерах фирмы «Valmet» и в проекте отечественных камер СМ-4К для регулирования расхода воздуха предусмотрена заслонка, которая размещена перед центральным из трех установленных вентиляторов.

Одним из недостатков действующих противоточных камер является низкий коэффициент полезного использования воздушного потока (табл. 5.2).

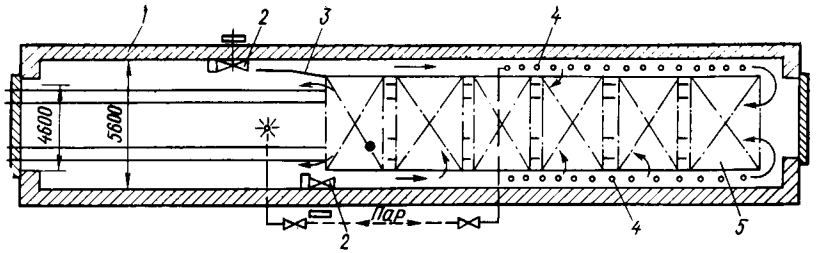


Рис. 5.2. Камера МЛТИ:
1 — ограждения; *2* — вентиляторы; *3* — экраны, отделяющие зону сушки от рециркуляционных каналов; *4* — калориферы; *5* — штабеля пиломатериалов

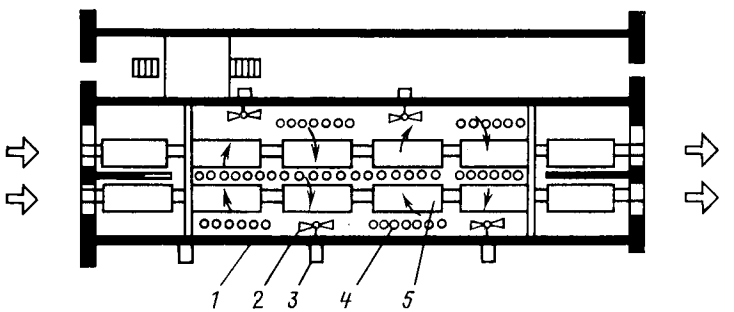


Рис. 5.3. Камера ЛатНИИЛХПа (горизонтальный разрез):
1 — ограждение; *2* — вентилятор; *3* — электродвигатель; *4* — калорифер; *5* — штабель

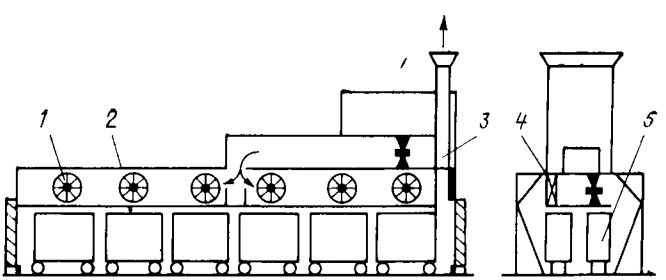


Рис. 5.4. Многозонная камера с вертикальными кольцами циркуляции сушильного агента:
1 — вентилятор; *2* — ограждение; *3* — теплорекуператор; *4* — калорифер; *5* — штабель

Низкий коэффициент использования потока объясняется наличием «паразитного» расхода сушильного агента в зазорах между ограждениями и штабелями. Необходимо уменьшать эти зазоры и надежно экранировать, для чего надо уменьшать шаг установки стационарных экранов, особенно в загрузочной части, применять специальные приторцовые экраны (см. рис. 7.7), которые позволяют увеличить интенсивность сушки за счет сокращения расхода воздуха в зазорах, уменьшить пересыхание торцов штабеля относительно его середины.

В отличие от камер с противоточной циркуляцией сушильного агента и поперечной загрузкой штабелей камеры с многократной подготовкой сушильного агента в тепловентиляционном оборудовании (с позонной циркуляцией) распространены значительно меньше. Из этой группы в Советском Союзе находят некоторое применение камеры с горизонтальной позонной циркуляцией, например конструкции ЛатНИИЛХПа (рис. 5.3). В них установлено четыре центробежных вентилятора, которые создают по длине камеры два кольца циркуляции сушильного агента. При перемещении штабеля на очередное место направление движения сушильного агента меняется на обратное. За время сушки это направление меняется четыре раза. Таким образом обеспечивается реверсивность циркуляции, основное назначение которой — снизить перепад конечной влажности по ширине штабеля.

При проектировании камер предполагалось, что два кольца циркуляции сушильного агента будут автономны и в каждом из них будет поддерживаться свое состояние сушильного агента, причем отсутствие больших скоростей в приторцовых зонах штабеля приведет к снижению пересыхания торцов и уменьшению брака от растрескивания. Однако испытания показали, что автономность потоков не сохраняется, в результате чего режим сушки не соблюдается и камера дает много брака. Кроме того, наблюдается большая неравномерность сушки, вызванная неравномерностью циркуляции. Вариационный коэффициент скорости достигает 100 %.

Построенные камеры требуют модернизации для обеспечения постоянных по всему штабелю температурно-влажностных и скоростных параметров сушильного агента. Рекомендуется их эксплуатировать как камеры периодического действия, поддерживая постоянным состояние сушильного агента по длине камеры и регулируя его во времени. За рубежом камеры с подобной схемой циркуляции сушильного агента, но с применением осевых вентиляторов, имеются в ФРГ.

Ряд зарубежных фирм применяют многозонные камеры с продольным перемещением штабелей и вертикальными кольцами циркуляции сушильного агента. В таких камерах (рис. 5.4) вентиляторы и калориферы размещаются в рециркуляционном канале, расположенном над сушильной зоной. Каждый вентилятор обслуживает определенную зону по длине камеры, в которой путем регулирования притоков свежего воздуха и подачи теплоносителя в калориферы автоматически поддерживается заданный режим сушки. Отработавший сушильный агент отсасывается только в загрузочном конце камеры. Поэтому циркуляция сушильного агента не является строго вертикальной, а имеет вертикально-винтовой характер. Для уменьшения разброса конечной влажности по ширине штабеля в камерах фирмы «Sateko», шведской фирмы «Fläktfabriken» и фирмы «Hildebrand» используются реверсивные осевые вентиляторы, периодически изменяющие направление движения сушильного агента на противоположное.

Основное преимущество камер непрерывного действия с многократной подготовкой сушильного агента перед противоточными состоит в возможности создания оптимального режима сушки с прогревом пиломатериала после загрузки в камеру, а также с кондиционированием и охлаждением его перед выгрузкой из камеры. При этом становится реальным обеспечение рациональных скоростей сушильного агента в штабеле (уменьшающихся в про-

цессе сушки). Вторым преимуществом является возможность обеспечения реверсивной циркуляции сушильного агента для снижения разброса конечной влажности по ширине штабеля.

Недостатками камер по сравнению с противоточными являются: необходимость установки большого количества тепловентиляторного оборудования, рассредоточенного по всей длине камеры; значительно бóльшая длина камеры; бóльшее аэродинамическое сопротивление циркуляционного контура из-за большого числа поворотов, сужений и расширений, прохождений калориферов; значительно меньшая относительная полезная площадь, занятая штабелями, из-за больших площадей, отведенных на поворотные (распределительные) каналы; значительно бóльшая длина воздуховодов, обеспечивающих подвод отработавшего агента сушки и отвод нагретого свежего воздуха от теплорекуперационного аппарата; более сложная система регулирования температурно-влажностных параметров сушильного агента.

К третьей крупной группе камер непрерывного действия относятся камеры, в которых поток сушильного агента разделяется или несколько потоков сливаются в один. В таких камерах можно обеспечить рациональный режим сушки, в частности оптимальные скорости сушильного агента. Одной из первых камер этой группы является камера с зигзагообразной циркуляцией сушильного агента ЦНИИМОД-32 (рис. 5.5), которая содержит сушильную зону с зигзагообразными боковыми стенками и расположенный над ней рециркуляционный канал, связанный с сушильной зоной несколькими окнами, разнесенными по длине камеры. В такой камере по мере высыхания пиломатериала при перемещении штабеля из одной зоны в другую температура сушильного агента возрастает, а его влажность и скорость уменьшаются. Кроме того, направление сушильного агента в штабеле после каждого перемещения из зоны в зону меняется на противоположное. Такая схема циркуляции создает условия для интенсивной высококачественной сушки пиломатериалов. Однако аэродинамические испытания вскрыли и недостатки камеры ЦНИИМОД-32.

Основной недостаток действующих камер — низкая средняя скорость сушильного агента (0,7 м/с), обусловленная небольшой мощностью привода вентилятора (7 кВт) и значительными утечками сушильного агента в зазорах между штабелями и ограждениями (коэффициент полезного использования потока равен 0,48). Из-за большого числа поворотов даже при таких низких скоростях вариационный коэффициент скорости, характеризующий неравномерность распределения скоростей по штабелю, равен 34 %. Кроме того, отсутствие смесительного устройства в районе дополнительного подвода сушильного агента препятствует перемешиванию сливающихся потоков: прошедшего два штабеля и поступающего из рециркуляционного канала. Это создает условия для пересыхания верха штабеля относительно низа, так как сушильный агент, поступающий из рециркуляционного канала в верхнюю часть штабеля, имеет более высокую температуру и более низкую влажность, чем сушильный агент, прошедший уже два штабеля и поступающий в нижнюю часть следующего штабеля.

Но даже при устранении отмеченных недостатков аэродинамики камеры с зигзагообразной циркуляцией сушильного агента будут хуже противоточных по двум показателям: аэродинамическому сопротивлению циркуляцион-

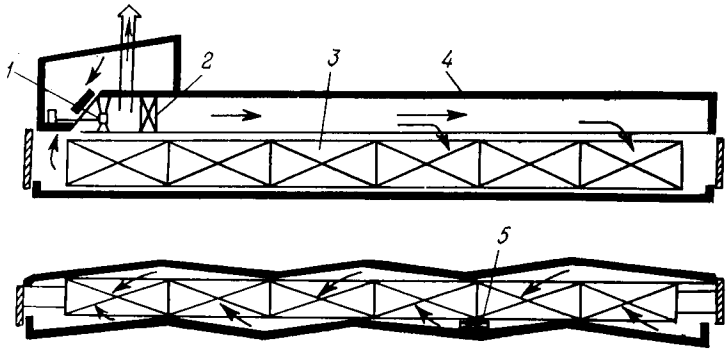


Рис. 5.5. Камера ЦНИИМОД-32:
1 — вентилятор; *2* — калорифер; *3* — штабель; *4* — ограждение; *5* — окно дополнительного подвода сушильного агента

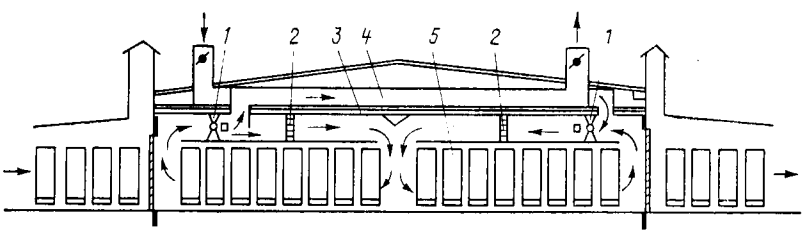


Рис. 5.6. Камера с противоточно-прямоточной циркуляцией сушильного агента фирмы „Fläktfabriken":
1 — вентилятор; *2* — калорифер; *3* — ограждение; *4* — теплорекуператор; *5* — штабель

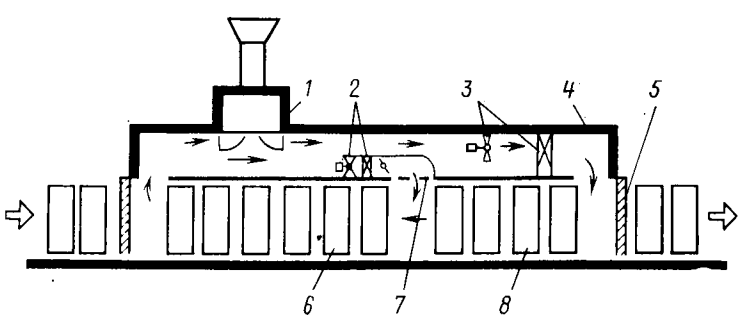


Рис. 5.7. Двухзонная камера с противоточной циркуляцией сушильного агента:
1 — теплорекуператор; *2* — дополнительный тепловентиляционный узел; *3* — основной тепловентиляционный узел; *4* — ограждение; *5* — двери; *6* — штабеля пиломатериалов с влажностью >30 %; *7* — щелевые сопла с регулируемым расходом сушильного агента; *8* — штабеля пиломатериалов с влажностью <30 %

ного контура (из-за большого числа поворотов) и полезному заполнению производственных площадей штабелями.

В 1966 г. фирма «Fläktfabriken» запатентовала камеру с противоточно-прямоточной циркуляцией сушильного агента (рис. 5.6). Как указывает фирма, основное преимущество этих камер заключается в возможности автоматического регулирования температурно-влажностных параметров сушильного агента в зависимости от скорости сушки во второй зоне. Направление движения сушильного агента в штабеле при перемещении его из одной зоны в другую меняется на противоположное, что способствует снижению разброса конечной влажности по ширине штабеля.

Снижению разброса конечной влажности способствует также повышенная по сравнению с противоточными камерами влажность сушильного агента в конце сушки.

К недостаткам камер относятся значительно увеличенная (по сравнению с противоточными) их длина, а также отсутствие регулирования расхода сушильного агента в зонах, что затрудняет поддержание его оптимальных параметров в загрузочном и разгрузочном концах камеры.

Общим недостатком камер с противоточно-прямоточной циркуляцией является невозможность использования оптимальных режимов сушки, т. е. режимов с постоянно повышающейся в процессе сушки жесткостью. Схема двухзонной камеры с поперечной загрузкой штабелей при использовании режимов с повышающейся в процессе жесткостью предложена ЦНИИМОДом (А. с. № 595606). В такой камере (рис. 5.7) в рециркуляционном канале установлены два тепловентиляторных узла, создающих два кольца циркуляции сушильного агента. Вентилятор, установленный перед окном, соединяющим рециркуляционный канал с центром камеры, обеспечивает движение сушильного агента только по зоне, где расположены пиломатериалы с высокой влажностью, а второй вентилятор продувает сушильный агент по всем штабелям.

Созданный между зонами разрыв и установка в районе подвода дополнительного сушильного агента специальных средств формирования потока, например щелевых сопел, должны обеспечивать перемешивание сливающихся потоков для создания равномерного температурно-влажностного поля сушильного агента по высоте штабеля. Таким образом, при постоянно увеличивающейся жесткости режима в процессе сушки скорости сушильного агента в штабеле будут рациональными, т. е. при высокой влажности пиломатериала будут бóльшими, нежели при низкой. Кроме того, путем изменения расхода сушильного агента через центральное окно создается возможность регулирования температурно-влажностных параметров сушильного агента не только на загрузочном и выгрузочном концах, но и в центре камеры.

Общим недостатком двухзонных камер является усложнение конструкции относительно однозонных противоточных за счет создания разрыва между зонами и обеспечения перемешивания сливающихся потоков.

В промышленности используются в основном противоточные камеры непрерывного действия (табл. 5.3). Схемы и конструкции некоторых отечественных и зарубежных камер, применяемых в СССР, рассматриваются в следующем разделе.

5.2.1. Стационарные камеры с противоточной циркуляцией

Камеры непрерывного действия с поперечной штабелевкой являются наиболее распространенными вследствие их сравнительной простоты, рациональной схемы циркуляции и большой производительности. Основной конструктивный вариант таких камер в стационарном исполнении — ЦНИИМОД-49 (рис. 5.8). Камера имеет туннель сравнительно небольшой длины (24 м), в котором размещаются 10—11 штабелей поперек оси камеры. Циркуляция воздуха обеспечивается тремя осевыми вентиляторами, работающими параллельно и расположенными в верхнем рециркуляционном канале (электродвигатели находятся в коридоре управления). Воздух нагревается пластинчатыми калориферами. Он циркулирует по материалу от разгрузочного конца

5.3. Технические характеристики камер непрерывного действия

Показатели	ЦНИИМОД-32* (ТП 411-2-34-71)	Газовая на древесном топливе**	ЦНИИМОД-49**
Внутренние размеры (длина×ширина×высота), м	—	36,7×2,6××5,6	24×6,85××5,08
Объем камеры, м³	591,6	—	978
Размеры загружаемых штабелей (длина × ширина × высота), м	6,5×1,8××2,6	6,5×1,8××2,6	6,5×1,8××2,6
Число штабелей	7	5	11
Габаритный объем всех штабелей, м³	182,4	152	334,4
Емкость камеры в условных пиломатериалах, м³	100	72	158,5
Калориферы:			
тип	Пластинчатый КФБ-8	—	Пластин КФБ-8
поверхность нагрева, м²	411,3	—	640
Вентиляторы:			
число	1	1	3
тип	Осевой ЦАГИ № 12	Ц-9-57 № 16	В № 12
Установленная мощность электродвигателей, кВт	—	75	54
Расчетная производительность вентилятора, м³/ч	—	—	40 000
Годовая производительность камеры в условных пиломатериалах, м³	8800	5200	14 200

* Типовой проект ТП 411-2-34-71 включает пять камер непрерывного шильного отделения при этом равна 46,6 тыс. м³ условных пиломатериалов в год.

** Для указанных камер типовые проекты отсутствуют.

*** Из них по два штабеля в аванкамерах.

камеры к загрузочному прямолинейно вдоль прокладок в штабеле. Режимы сушки — мягкие, нормальные и форсированные. Недостатки камеры следующие: неравномерное просыхание досок по длине штабеля (торцы пересыхают); неравномерное распределение воздуха по высоте штабеля; количество воздуха, проходящего по материалу, не регулируется в зависимости от его характеристики.

По схеме камеры ЦНИИМОД-49 спроектированы и другие варианты стационарных камер, например камера ЦНИИМОД-56, отличающаяся некоторыми конструктивными деталями (например, типом вентилятора, механизацией передвижения штабелей). В камере ЦНИИМОД-56 возможно применение форсированных режимов сушки. В некоторых вариантах для перемещения штабелей используются роликовые шины в камерах и на траверсных тележках. Гипролеспром спроектировал по этой схеме камеры НБ-1 и НБ-2. Они имеют более длинный туннель (36 м), в котором размещаются 18

ЦНИИМОД-56**	СП-5КМ	ЛатНИИЛХП	«Valmet»	«Valmet» с повышенной высотой штабелей	СМ-4К
26,6×6,85×5	31,0×7,2×5,35	42×5,85×3	22×7,2×5	32×7,0×8,1	33,1×7×8
1008	1274,9	935	860	1814	—
6,5×1,8×3	7×1,8×3	6,5×1,8×2,6	7×1,8×2,8	6,8×2,05×5	6,8×2×5
12	14 ***	12	10	12	12
421,2	529,2	365	352,8	836,4	816
199,6	232,8	173	155,2	—	142
чатый	КМС-10	Ребристые трубы	Оребренные трубы		—
319,8	382	1032	562	—	—
3	3	4	3	3	—
У № 12	ВО-11А	Собственного изготовления	Осевой		—
42	66	80	39	66	—
40 000	60 000	75 000	65 000	66 000	—
10 800	7500	—	8300	15 000	15 750

действия ЦНИИМОД-32 и две камеры СПВ-62. Общая производительность су-

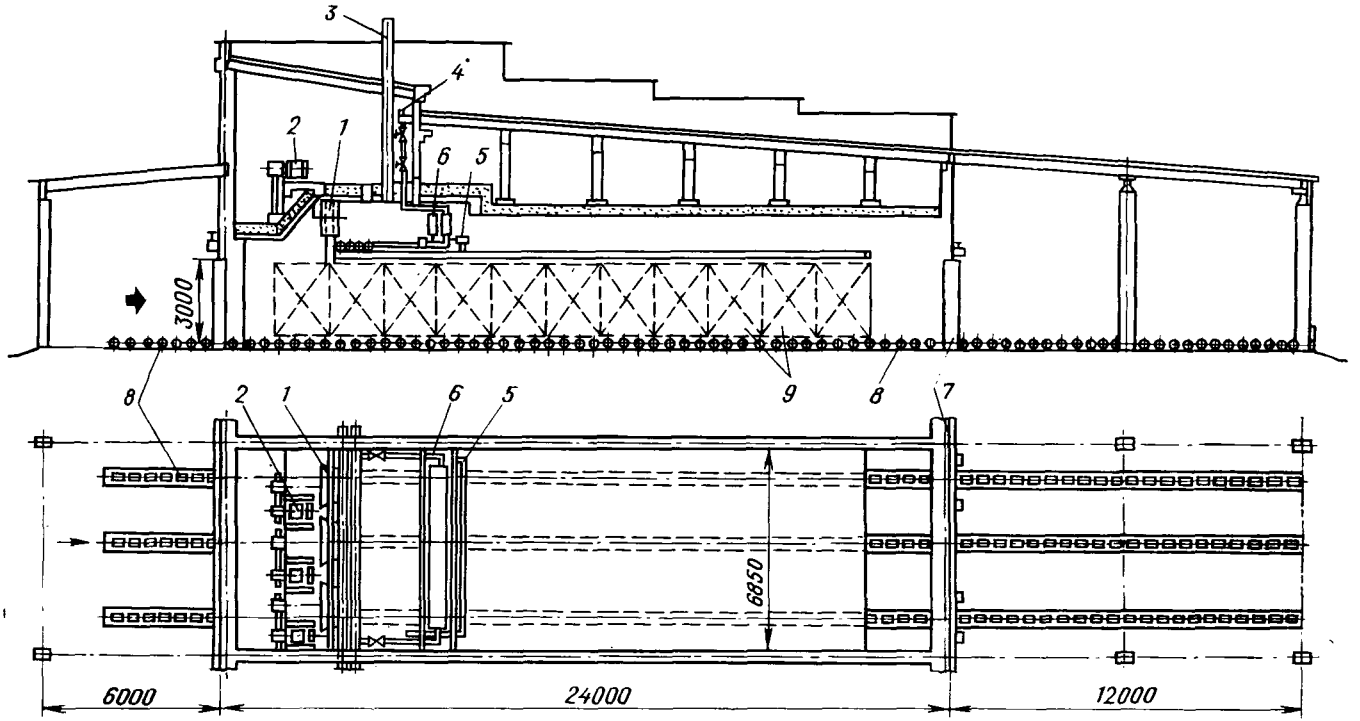


Рис. 5.8. Камера ЦНИИМОД-49:

1 — вентилятор; *2* — привод вентилятора; *3* — вытяжной канал; *4* — паропровод; *5* — увлажнительная труба; *6* — калорифер; *7* — дверное полотно; *8* — роликовый конвейер; *9* — штабеля

штабелей (НБ-1). В рециркуляционном канале располагаются четыре осевых вентилятора № 12.

Камеры НБ-1 и НБ-2 эксплуатируются на ряде предприятий страны. Однако широкого распространения они не получили в основном из-за неудовлетворительного качества сушки. Испытания камер показали, что при такой длине туннеля не обеспечивается поддержание необходимых параметров режима; воздуха, циркулирующего по штабелям, недостаточно, а его распределение — неравномерно.

5.2.2. Сборно-металлические камеры

Большое распространение на лесопильных заводах получили сборно-металлические камеры. Установка на предприятиях транспортабельных камер заводского изготовления позволяет значительно сократить сроки строитель-

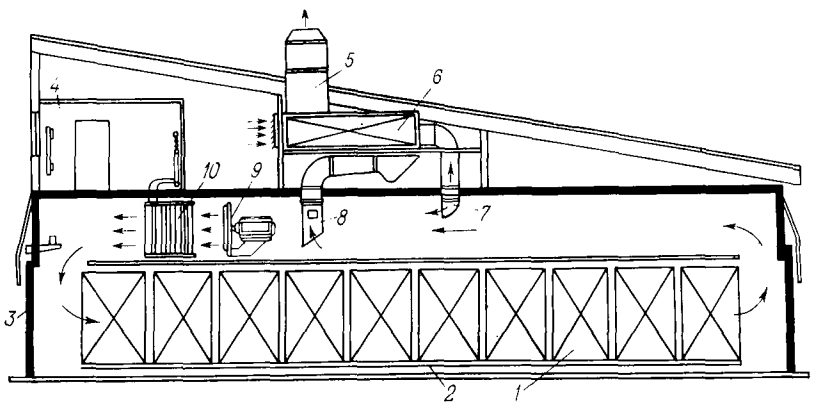


Рис. 5.9. Камера фирмы «Valmet» с вертикальными дверями:
1 — штабель; *2* — роликовый конвейер; *3* — двери; *4* — коридор управления; *5* — скруббер; *6* — теплорекуператор; *7* — канал свежего воздуха; *8* — канал отработавшего воздуха; *9* — вентилятор; *10* — калорифер

ства, монтажа и наладки. Важное преимущество металлических камер — полная комплектация оборудованием на заводе-изготовителе. У потребителя необходимо выполнить строительные работы для подготовки площадки и фундамента, а также осуществить сборку и наладку.

Финские камеры «Valmet-1». По принципу работы, схеме и основным конструктивным признакам аналогичны камерам ЦНИИМОД-49. Выпускаются и поставляются в СССР блоками из шести камер для сушки мягкими режимами хвойных пиломатериалов (главным образом экспортных) до транспортной влажности. В камере размещаются 10 штабелей (рис. 5.9) размерами (длина × ширина × высота) 7 × 1,8 × 3 м, перемещающиеся на шинах по роликам. Воздух тремя осевыми вентиляторами, расположенными вместе с электродвигателями в верхнем циркуляционном канале, проходя пластинчатые калориферы, направляется в разгрузочный конец камеры, проходит через все штабеля и возвращается по циркуляционному каналу к вентиляторам.

Воздухообмен (приток свежего и выброс отработавшего воздуха) осуществляется через специальный теплообменный аппарат — рекуператор. Свежий воздух засасывается за счет разрежения, создаваемого основными циркуляционными вентиляторами, проходит через теплообменные трубки, через которые отсасывается теплый отработавший воздух вспомогательным вентилятором, и поступает в камеру через приточную трубу. При невысокой температуре сушильного агента, когда требуется интенсивный воздухообмен между камерой и атмосферой, подогрев свежего воздуха в рекуператоре позволяет экономить 10—15 % тепловой энергии на сушку.

Камеры «Valmet-1» имеют вариант конструкции, в котором вместо вертикальных применены наклонные подъемные двери. Однако этот вариант не

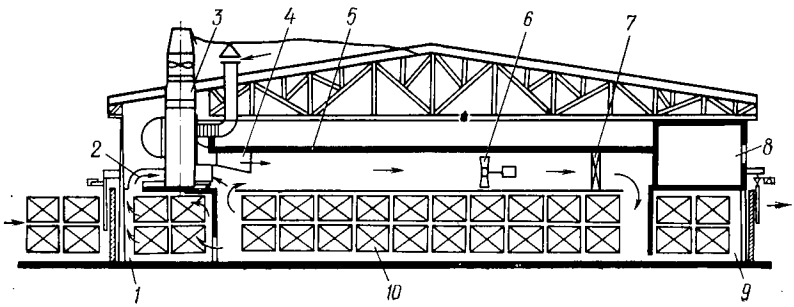


Рис. 5.10. Камера СП-5КМ:

1 — аванкамера в загрузочном конце; *2* — вытяжной канал; *3* — теплорекуператор; *4* — приточный канал; *5* — ограждение; *6* — вентилятор; *7* — калорифер; *8* — коридор управления; *9* — аванкамера в разгрузочной части; *10* — штабеля

нашел широкого распространения, так как аэродинамическое сопротивление поворота в нем снижается несущественно, а вертикальные двери проще открывать и закрывать. Кроме того, длина камер с такими дверями меньше.

В камерах «Valmet-1» обеспечивается качественная сушка товарных пиломатериалов до транспортной влажности, при надлежащей организации технологии сушки повышается эффективность работы. На некоторых предприятиях достигнута производительность 70 тыс. м³ в год высушенных до транспортной влажности пиломатериалов (по паспорту камеры 50 тыс. м³ в год).

Камеры СП-5КМ непрерывного действия с противоточной циркуляцией агента сушки и поперечной загрузкой штабелей. Сборно-металлический блок из пяти таких камер выпускается заводом Ижтяжбуммаш по техническому проекту Гипродрева. Они предназначены для сушки мягкими режимами до транспортной влажности хвойных экспортных пиломатериалов. Камеры СП-5КМ по основным характеристикам аналогичны камерам «Valmet». Здание сушильного блока монтируется из металлических панелей, устанавливаемых на чугунные шины по бетонным фундаментам. Внутренние поверхности панелей покрываются антикоррозионной краской; наружная обшивка стеновых панелей, откатных ворот и кровля выполняются из листового алюминия гофрированного профиля. Наружные стеновые и потолочные панели утепляются минераловатными матами.

Особенностью камеры является наличие аванкамер для предварительного прогрева штабелей пиломатериалов со стороны загрузки, а также для кондиционирования и частичного остывания высушиваемых пиломатериалов со стороны выгрузки. Аванкамеры отделены от сушильной зоны подъемными шторными воротами, что позволяет закатывать и выкатывать штабеля при опущенных шторах без нарушения режима сушки. Штабель формируется из двух пакетов, уложенных друг на друга на подштабельных балках. Он перемещается вдоль камер по роликовому конвейеру из пяти рядов роликовых шин, установленных с уклоном по ходу движения, цепно-штанговым механизмом, позволяющим сохранять промежутки между штабелями в местах установки штор и дверей.

Циркуляция сушильного агента осуществляется тремя осевыми вентиляторами, расположенными вместе с электродвигателями в рециркуляционном канале. Для нагревания сушильного агента установлены восемь калориферов КСМ-10, теплоносителем в которых служит перегретая вода, подаваемая насосной установкой. Она подогревается паром в теплообменнике. Режимные параметры сушильного агента в разгрузочной части камеры поддерживаются на заданном уровне автоматическими регуляторами. Для использования тепла отработавшего воздуха камеры оборудованы рекуперационными установками.

Конструкция СП-5КМ не лишена недостатков. Отсутствие тепловентиляторного оборудования в отсеке кондиционирования (в разгрузочном конце) не позволяет проводить конечную термовлагообработку и обеспечивает лишь медленное охлаждение высушенных штабелей. В аванкамере со стороны загрузки отработавший сушильный агент перед поступлением в теплорекуперагорную установку сначала проходит два штабеля, установленных в зоне нагрева пиломатериала. Такое техническое решение не совсем удачно, так как, во-первых, камеры СП-5КМ предназначены для использования мягких режимов сушки и поэтому в зоне нагрева сушильный агент имеет низкую температуру при высокой влажности, что способствует поражению пиломатериала древесными грибами; во-вторых, проходя штабеля, отработавший сушильный агент охлаждается, поэтому в теплорекуперагорной установке отдает свежему воздуху значительно меньшее коли-

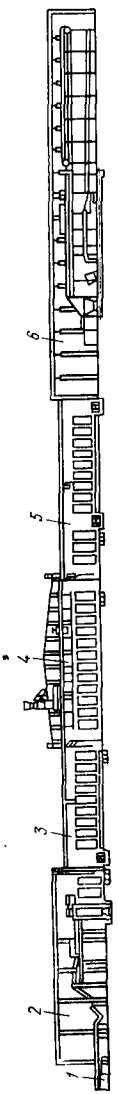


Рис. 5.11. Линия сушки «Valmet»:
1 — открытый склад промежуточного хранения пиломатериалов; *2* — отделение формирования штабелей на пакетирующей машине фирмы «Valmet»; *3* — склад промежуточного хранения штабелей сырых пиломатериалов; *4* — лесосушильные камеры фирмы «Valmet»; *5* — склад промежуточного хранения штабелей сухих пиломатериалов; *6* — линия сортировки и пакетирования пиломатериалов фирмы «Plan-Sell»

б

чество тепла (из-за уменьшения перепада температур), в результате чего эффективность использования нагревательных поверхностей снижается.

В процессе эксплуатации камеры СП-5КМ выявились и другие недостатки (неудачные конструкции механизмов закатки и выкатки штабелей, шторных дверей и т. п.), поэтому Гипродрев совместно с ижевским заводом Тяжбуммаш проводит работы по улучшению конструкции.

Камеры «Valmet-3» для штабелей повышенной высоты. Эти камеры входят в состав линий сушки, поставляемых комплектно (рис. 5.11). Открытый склад емкостью 1500 м³ служит для промежуточного хранения пакетов сырых пиломатериалов, сортированных по сечениям. На нем предусмотрено одновременное хранение десяти партий пиломатериалов различных сечений. Емкость партии одного сечения соответствует полусменной производительности пакетоформирующей машины. Склад обслуживается автопогрузчиком. В отделении формирования штабелей установлена пакетоформирующая машина (ПФМ) фирмы «Valmet».

На складе промежуточного хранения сырых пиломатериалов на рельсовых путях перед каждой камерой устанавливаются по восемь-десять штабелей, что примерно соответствует семисменной производительности сушильных камер. Такой запас компенсирует разницу в режимах работы отделения формирования штабелей (250 дней в году) и сушильного (335 дней в году). Сушильное отделение в зависимости от мощности включает пять, десять или пятнадцать сушильных камер фирмы «Valmet».

На складе промежуточного хранения сухих пиломатериалов на рельсовых путях за каждой камерой размещается по двенадцать штабелей. Здесь остывают пиломатериалы и накапливаются партии пиломатериалов одного сечения для работы линии сортировки и пакетирования. Кроме того, в состав линии входят: тепло- и гидроцентр, электропомещения и лаборатория, отделение возврата тележек и прокладок, служебно-бытовые и вспомогательные помещения.

Сборно-металлические лесосушильные камеры (рис. 5.12) поставляются фирмой «Valmet» блоками по пять, десять или пятнадцать штук. В блоке из пяти камер две специализируются на сушке досок толщиной до 32 мм включительно. В этих камерах устанавливаются более мощные калориферы и вентиляторы. В трех других камерах сушатся пиломатериалы толщиной более 32 мм (сушить тонкие доски не рекомендуется). Калориферы и вентиляторные установки этих камер имеют меньшую мощность.

Все стены здания собираются на болтах из стальных элементов размерами приблизительно 2,9×7,7 м, толщиной 200 мм. Герметичность достигается с помощью специального уплотнителя, прижимаемого к лентам резины болтами. Элементы не имеют теплоизоляции. В местах, где стена граничит с наружным воздухом, выполняется теплоизоляция из листов минеральной

Рис. 5.12. Камеры фирмы «Valmet»:

а — продольный разрез; *б* — поперечный разрез:
1 — штабель; *2* — теплорекуперационная установка; *3* — вентиляторная установка; *4* — система циркуляции горячей воды; *5* — калориферы; *6* — устройство для установки датчиков; *7* — устройство для пожаротушения; *8* — подштабельная тележка; *9* — гидравлическое остановочное устройство; *10* — рельсовый путь; *11* — дверь; *12* — подъемно-перемещающее устройство; *13* — регулирующая заслонка

ваты путем укладки их на наружной поверхности элементов. Наружная поверхность обшивается профильной листовой сталью, которая прикрепляется к горизонтальным металлическим балкам. Последние в свою очередь прикрепляются болтами к стальным опорам-угольникам, прикрепленным к наружной поверхности элементов. Элементы стен укладываются на стальную опорную конструкцию, прикрепленную анкерными болтами к фундаменту. Часть опорной конструкции остается в бетоне фундамента.

Верхний потолок собирается из элементов, ширина которых равна ширине стеновых элементов, и прикрепляется болтами. Потолочные элементы обшиваются листовой сталью только со стороны камеры. Промежуточный потолок, отделяющий сушильную зону от рециркуляционного канала, монтируется из гнутых профильных балок и стягивается болтами. Стропила кровли в месте соединения потолочных и стеновых элементов опираются на колонны, находящиеся в каждой стене. На стропилах закрепляются профильные стальные листы.

Каждая камера имеет с разгрузочного и загрузочного концов каркасные двери. Сварная рама изготовляется из профильного алюминия. Снаружи двери обшиваются пропитанными под давлением сосновыми пиломатериалами толщиной 20 мм, а с внутренней покрываются алюминиевыми листами. Дверь собирается из двух секций и крепится болтами. Внутри она теплоизолируется щитами из стекловаты толщиной 100 мм. Дверь прижимается к дверному каркасу. По периметру притвора она уплотняется разрезанным вдоль резиновым шлангом, прикрепленным к косяку болтами, что значительно облегчает замену его при ремонте. Дверь снабжается подъемно-передвижным устройством с электрогидравлическим приводом, которое перемещается по швеллерам, расположенным над дверью.

Тепловое оборудование лесосушильной камеры состоит из системы подачи пара к теплообменнику и отвода конденсата от него, теплообменника, системы циркуляции горячей воды через калориферы и калориферов. Насыщенный пар избыточным давлением 0,3 МПа подается по паропроводу в теплообменник для нагрева воды, который состоит из трубной и корпусной частей. В трубной части циркулирует вода, нагреваемая паром, который подается в корпусную часть. Максимальное количество подаваемого пара — 7,7 т/ч. Во избежание перегрева трубной части нельзя подавать пар, предварительно не заполнив систему водой; насосы при этом должны работать. Для циркуляции воды в системе устанавливается насос с приводом от электродвигателя мощностью 22 кВт. Вода от насоса через теплообменник подается в распределительный трубопровод, а из него через патрубок, на котором установлены запорный и трехходовой регулирующий клапаны, поступает в калориферы каждой камеры. Из калориферов вода отводится в коллекторный трубопровод, и цикл повторяется. Часть охлажденной воды через трехходовые клапаны возвращается в калориферы.

Калориферы представляют собой замкнутую систему сообщающихся медных трубок с алюминиевыми ребрами, которая снаружи омывается циркулирующим сушильным агентом, а внутри обогревается водой с температурой на входе 115 и выходе 85 °С. В каждой камере устанавливаются по две секции калориферов. Для сушки толстых пиломатериалов их тепловая мощность составляет 1,16 МВт, для сушки тонких — 1,57 МВт.

Для циркуляции воздуха через штабеля пиломатериалов в каждой камере перед калориферами в рециркуляционном канале установлено по три осевых вентилятора, смонтированных на общей раме. Вентиляторы должны обеспечивать скорость движения агента сушки по штабелю 4 м/с. Общая производительность трех вентиляторов в камере для сушки тонких пиломатериалов составляет 270 тыс. м³/ч, для сушки толстых пиломатериалов — 210 тыс. м³/ч. Общая установленная мощность электродвигателей привода вентиляторов в камерах для сушки тонких и толстых пиломатериалов составляет 90 и 66 кВт. Количество воздуха, циркулирующего по штабелю, регулируется автоматически заслонкой, которая устанавливается перед центральным вентилятором.

Агент сушки, нагнетаемый вентиляторами через калориферы, поступает в камеру с разгрузочного конца, проходит через штабеля пиломатериалов, постепенно охлаждается и увлажняется за счет испарения влаги из материала. Увлажненный агент сушки поступает в рециркуляционный канал, где часть его удаляется вытяжным вентилятором через теплорекуперационный агрегат и скруббер в атмосферу. В рециркуляционный канал поступает свежий воздух. На входе и выходе агента сушки установлены датчики температуры. По сигналам этих датчиков режим сушки регулируется в разгрузочном конце в соответствии с температурами по сухому и смоченному термометрам. Количество циркулирующего в камере агента сушки регулируется по показаниям датчика температуры загрузочного конца.

После прохождения всех загруженных в камеру штабелей агент сушки возвращается к вентиляторной установке. Если его температура в загрузочном конце камеры превышает заданную по режиму, регулирующая заслонка центрального вентилятора постепенно перекрывается (количество воздуха в камере уменьшается) до тех пор, пока температура по сухому термометру на загрузочном конце камеры будет отличаться от заданных значений. Перед моментом полного закрытия заслонки электродвигатель центрального вентилятора останавливается. После его остановки регулирующая заслонка постепенно открывается, возникает «паразитный» поток воздуха через вентилятор, и в камере по штабелям пиломатериалов циркулирует минимальное количество воздуха. При температуре по сухому термометру загрузочного конца камеры ниже заданной заслонка сначала почти полностью закрывается, затем запускается двигатель вентилятора, и заслонка начинает открываться. В результате количество циркулирующего в камере воздуха начинает увеличиваться. Таким образом, в камере все время поддерживается количество воздуха, обеспечивающее заданное состояние степени насыщенности среды в загрузочной части.

Для улучшения аэродинамики в камерах имеются экраны, которые направляют циркулирующий агент сушки через штабеля, не допуская прохождения его в промежутках между ограждениями камеры и штабелями: шесть потолочных экранов размером 7000×220×3 мм, двенадцать боковых пристеночных экранов размером 5500×220×3 мм и шесть экранов для пола размером 7000×150×2 мм.

Потолочные и боковые экраны изготовлены из неопреновой резины и состоят из двух одинаковых половин, каждая из которых крепится болтами с помощью крепежной планки из нержавеющей стали к уплотнительной

планке стенного или потолочного элемента. Боковые и потолочные экраны размещаются вдоль камеры в шести местах. Металлические экраны для пола состоят из трех элементов. Средний элемент крепится обоими концами к рельсам, а крайние одним концом к рельсу, другим к полу сушильной камеры. Экраны, установленные на полу камеры под углом 45°, предотвращают циркуляцию воздуха под сушильными штабелями. Первый экран устанавливается в конце первого штабеля со стороны разгрузочного конца, последующие — в конце каждого второго штабеля.

Для повышения экономичности использования тепла каждая камера оборудована теплорекуперационной установкой, которая состоит из теплообменника, скруббера, вытяжного вентилятора, каналов приточного и отработавшего воздуха и бака для сбора воды. Удаляемый из камеры агент сушки, проходя по каналам теплообменника, подогревает поток приточного воздуха, который поступает из чердачного помещения или прямо из атмосферы за счет разрежения, создаваемого выхлопным вентилятором. Канал приточного воздуха оборудован жалюзийными заслонками, которые работают в блоке с вытяжным вентилятором. При остановке вентилятора заслонки закрываются, и доступ приточного воздуха через щели в рециркуляционный канал прекращается. Эффективность теплорекуперации повышается при использовании скруббера, в котором подогревается распыляемая вода. Из скруббера агент сушки поступает в атмосферу. Количество удаляемого воздуха регулируется автоматически. С этой целью под вытяжным вентилятором установлена регулирующая заслонка, приводимая в действие от электродвигателя мощностью 0,15 кВт. Когда температура смоченного термометра в разгрузочном конце камеры превышает заданную по режиму, постепенно автоматически открывается регулирующая заслонка. До тех пор, пока заслонка открывается до 15°, вытяжной вентилятор работает на малых частотах (1000 мин$^{-1}$). Когда заслонка открывается на 30°, вытяжной вентилятор включается на повышенные частоты (1500 мин$^{-1}$), и количество удаляемого из камеры агента сушки увеличивается. Если температура смоченного термометра в разгрузочном конце камеры ниже заданной, заслонка начинает закрываться, и количество воздуха, удаляемого из камеры, уменьшается. Когда заслонка закрывается полностью, вытяжной вентилятор останавливается.

Сушильные штабеля перемещаются на подштабельной тележке по наклонным рельсовым путям (уклон 1 : 230) вдоль линии сушки. Тележка представляет собой металлическую раму с четырьмя ходовыми колесами. Грузоподъемность тележки 37 т.

Для перемещения сушильных штабелей в направлении фронта камер используются электрогидравлические траверсные тележки. Рельсовые пути для них расположены в начале промежуточного склада, в начале и в конце остывочного помещения. Такая схема позволяет перемешать сушильные штабеля к любой камере блока и складировать высушенные пиломатериалы в определенные группы в зависимости от дальнейшей обработки.

Камеры снабжены устройствами для остановки штабелей, включающими гидравлический агрегат, гидроцилиндры с рычагами, электрические и ручные органы управления. По направлению движения сушильных штабелей эти устройства расположены в конце пакетоформирующей машины, перед тра-

версными путями промежуточного склада, в конце промежуточного склада, в конце лесосушильной камеры, перед траверсными путями в начале и в конце остывочного помещения.

Режим сушки в камере регулируется по трем параметрам:

$t_с$ со стороны выгрузки — трехходовым клапаном (количеством воды, поступающей в калорифер),

$t_м$ со стороны выгрузки — количеством удаляемого воздуха (заслонкой вытяжного воздуха теплорекуператора),

$t_с$ со стороны загрузки — заслонкой перед центральным вентилятором вентиляторного блока (количеством циркулирующего воздуха).

Температура $t_м$ со стороны загрузки только контролируется, но не регулируется.

Показания всех датчиков температуры регистрируются на самописцах, расположенных на щите управления. Здесь же есть сигнализатор о превышении температуры (в любой из камер) 70 °С.

Гипродревом разработан технический проект камеры СМ-4К, аналогичный по конструкции и характеристикам камере «Valmet» для штабелей с повышенной высотой. Выпуск камеры намечен на Ижевском заводе Тяжбуммаш.

ГЛАВА 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХОВ, МЕХАНИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ И ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ, ОБОРУДОВАНИЕ КАМЕР

6.1. ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Сушильные цеха лесопильных и деревообрабатывающих предприятий включают технологические и транспортные участки, устройства и механизмы, расположенные в смежных помещениях различного назначения. Кроме лесосушильных камер, к этим участкам относятся площадки для формирования и разборки штабелей, склады сырых и сухих пиломатериалов, транспортные пути (траверсный коридор и т. п.), коридор управления и лаборатория сушильного цеха, служебно-бытовые помещения. Варианты планировок этих участков зависят от объемов сушки, типов камер, средств механизации.

Схемой на рис. 6.1 предусматривается пакетный способ формирования сушильных штабелей при объемах до 100 тыс. м³ пиломатериалов в год в камерах непрерывного действия СП-5МК. Пакеты высотой 1,45 м укладываются на пакетоформирующей машине ПФМ-10. Готовый пакет забирается автопогрузчиком, при помощи которого формируется штабель перед сушильными камерами на подштабельных швеллерных балках. Штабель подается в камеру автопогрузчиком. Штабеля перемещаются в камере и выгружаются из нее при помощи подающих механизмов по роликовым шинам, входящим в комплект камеры.

Высушенные штабеля разбираются автопогрузчиком, и пакеты укладываются на участках накопления сухих пиломатериалов по сечениям. По мере

необходимости пиломатериалы одного сечения подаются автопогрузчиком на окончательную обработку и формирование транспортного пакета.

Схемой на рис. 6,2 предусматривается технологический процесс на базе беспакетных штабелей при объемах сушки более 100 тыс. м³ пиломатериалов

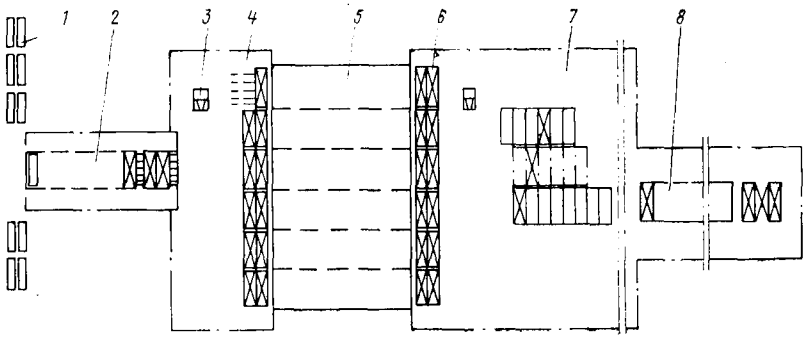


Рис. 6.1. Технологический процесс для камер непрерывного действия (вариант 1):

1 — участок накопления пакетов сырых пиломатериалов; *2* — ПФМ для укладки пиломатериалов; *3* — автопогрузчик; *4* — участок укладки сушильных штабелей; *5* — сушильные камеры; *6* — участок выгрузки сухих штабелей; *7* — участок накопления сухих пиломатериалов в пакетах; *8* — сортировочно-пакетирующая установка

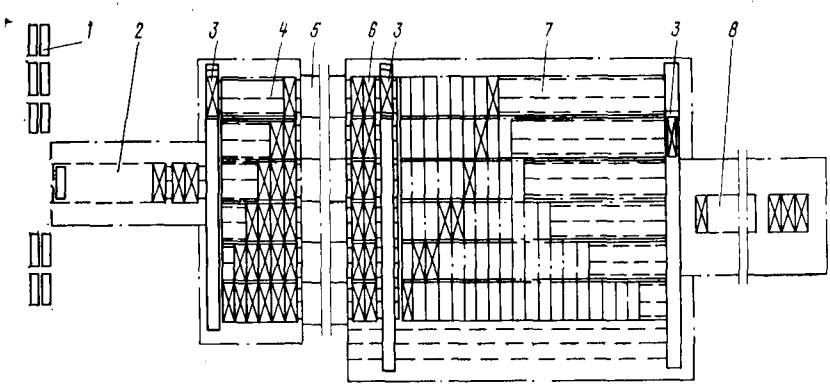


Рис. 6.2. Технологический процесс для камер непрерывного действия (вариант 2):

1 — участок накопления пакетов сырых пиломатериалов; *2* — ПФМ для укладки беспакетных штабелей; *3* — траверсная тележка; *4* — участок накопления сырых пиломатериалов в сушильных штабелях; *5* — сушильные камеры; *6* — участок выгрузки сухих пиломатериалов; *7* — участок накопления сухих пиломатериалов в штабелях; *8* — сортировочно-пакетирующая установка

в год и использовании блоков лесосушильных камер непрерывного действия для штабелей повышенной высоты СМ-4К или «Valmet». Пакетирующая машина формирует полногабаритный сушильный штабель высотой до 5 м на подштабельных тележках. Готовый сушильный штабель поступает на траверсную тележку и подается на рельсовые пути соответствующей камеры.

Штабеля перемещаются в камере и выгружаются из нее при помощи подающих механизмов, входящих в комплект камеры. На остальных участках штабеля перемещаются гравитационно с установкой тормозных механизмов. Выгруженные из камер штабеля подаются траверсной тележкой на соответствующие пути участка накопления сухих пиломатериалов. После накопления на участке определенного объема пиломатериалов одного сечения

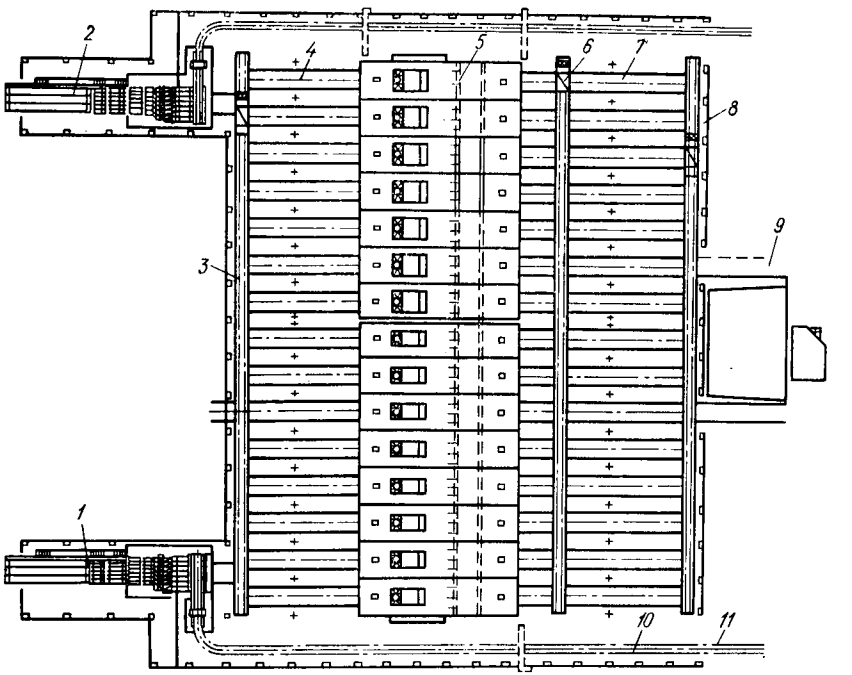


Рис. 6.3. Линия сушки:
1 — ПФМ фирмы «Valmet» (подача прокладок справа); *2* — ПФМ фирмы «Valmet» (подача прокладок слева); *3* — траверсный путь; *4* — склад промежуточного хранения штабелей сырых пиломатериалов; *5* — лесосушильные камеры; *6* — траверсная тележка; *7* — склад промежуточного хранения штабелей сухих пиломатериалов; *8* — подача сухих пиломатериалов на сортировку и пакетирование; *9* — две линии сортировки и пакетирования фирмы «Plan-Sell»; *10* — конвейер возврата тележек «Plan-Sell»; *11* — конвейер возврата прокладок

они подаются траверсной тележкой на окончательную обработку и формирование транспортного пакета.

На рис. 6.3 представлена линия сушки, состоящая из двух пакетоформирующих машин и пятнадцати лесосушильных камер «Valmet» для штабелей повышенной высоты. Сырые пиломатериалы поступают на одну из двух пакетоформирующих машин фирмы «Valmet». Сформированные штабеля поступают на склад промежуточного хранения, а из него — в лесосушильные камеры. Производительность цеха по сушке составляет 300 тыс. м³ пиломатериалов в год. Сухие пиломатериалы поступают из камер на склад, где их выдерживают в течение 1—6 суток в зависимости от сечения пиломатериа-

лов. Со склада пиломатериалы с помощью траверсной тележки подаются в отделение сортировки и пакетирования. Сформированные там плотные пакеты выносятся из цеха конвейером. Подштабельные тележки и прокладки

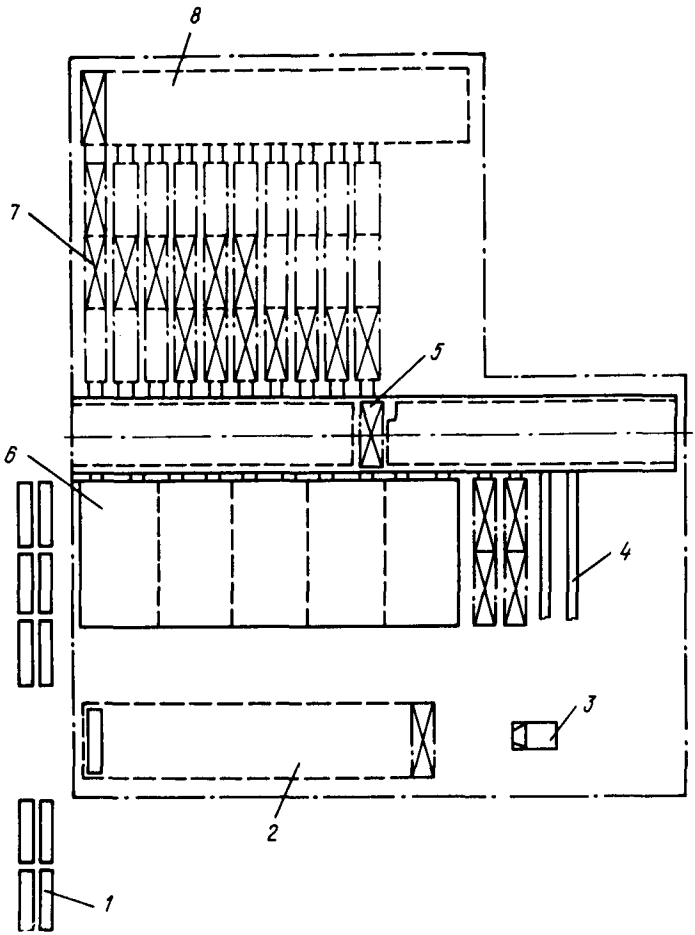


Рис. 6.4. Технологический процесс для камер периодического действия:
1 — пакеты сырых пиломатериалов; *2* — ПФМ; *3* — автопогрузчик; *4* — место формирования штабеля; *5* — траверсная тележка; *6* — камеры; *7* — участок накопления сухих пиломатериалов; *8* — расформировочное устройство

возвращаются в отделение формирования штабелей специальными конвейерами.

Схемой на рис. 6.4 предусматривается технологический процесс для камер периодического действия. В этом случае при годовом объеме сушки пиломатериалов до 30—40 тыс. м^3 возможно применение для укладки пакетов

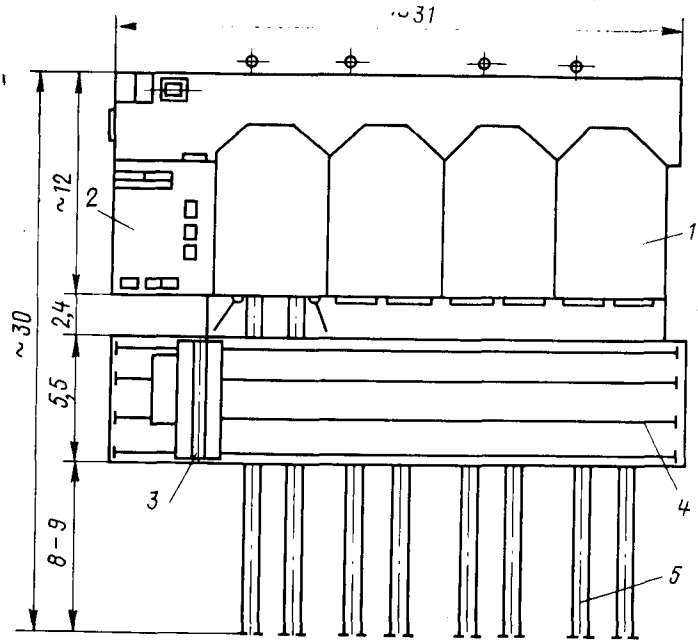


Рис. 6.5. Технологическая планировка лесосушильного блока на открытой площадке на базе двух сушилок СПМ-2К:

1 — камеры СПМ-1К; *2* — операторская-лаборатория; *3* — траверсная тележка; *4* — траверсный путь; *5* — площадка для формирования и разборки сушильных штабелей

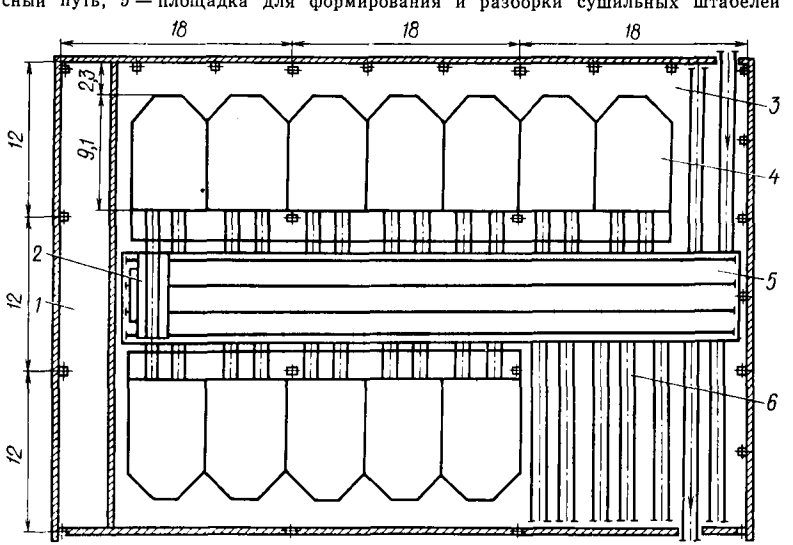


Рис. 6.6. Технологическая планировка лесосушильного отделения внутри производственного здания на базе камер СПМ-1К:

1 — площадка для размещения операторской-лаборатории и бытовых помещений; *2* — траверсная тележка; *3* — коридор управления; *4* — камеры СПМ-1К; *5* — траверсный путь; *6* — остывочное помещение

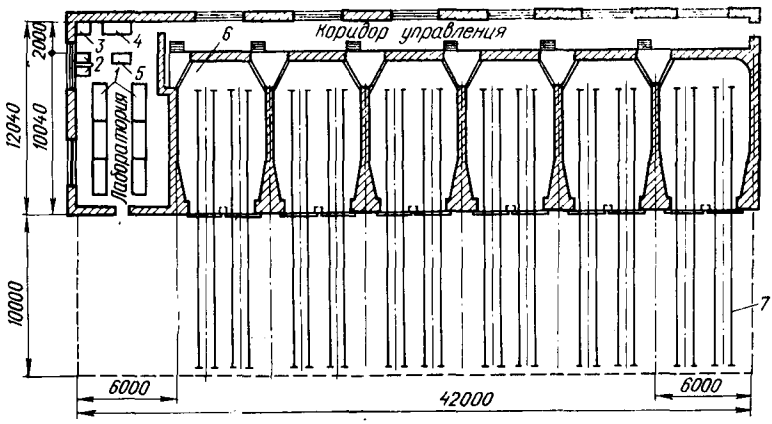


Рис. 6.7. Технологическая планировка сушильного отделения на базе шести камер СПЛК-2, размещаемого на открытой площадке:

1 — щит управления электродвигателями; *2* — многоканальная регулирующая установка А306-14; *3* — сушильный шкаф с терморегулятором; *4* — лабораторный стол; *5* — канцелярский шкаф; *6* — лесосушильная камера СПЛК-2; *7* — погрузочно-разгрузочная площадка

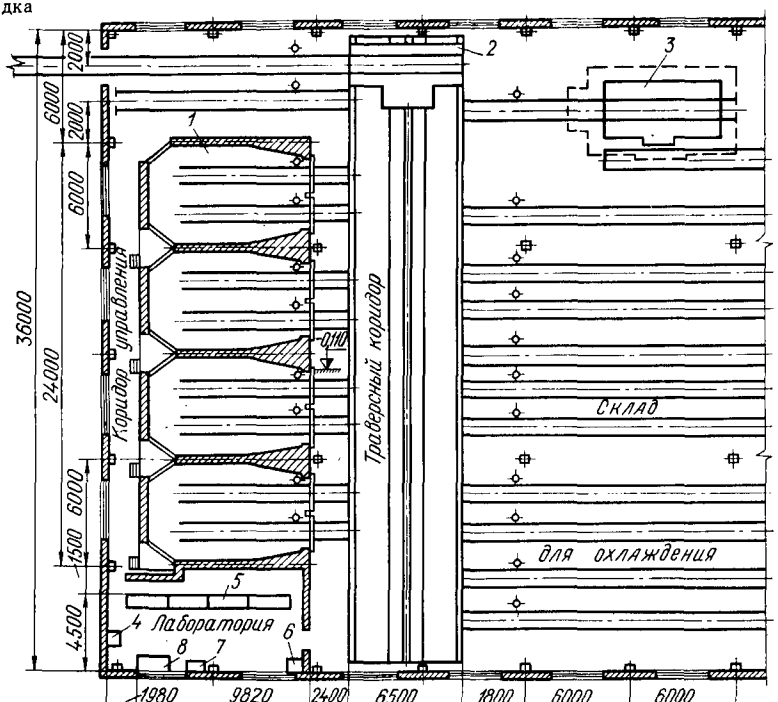


Рис. 6.8. Технологическая планировка сушильного отделения на базе четырех камер СПЛК-2 внутри производственного помещения:

1 — лесосушильная камера СПЛК-2; *2* — траверсная тележка ЭТ2-6,5; *3* — лифт Л-15; *4* — многоканальная регулирующая установка А306-14; *5* — щит управления электродвигателями; *6* — сушильный электрошкаф с терморегулятором; *7* — канцелярский шкаф; *8* — лабораторный стол

лифтов-подъемников. При бо́льших объемах используется пакетоформирующая машина для выкладки полного штабеля или пакетов.

Штабеля из двух пакетов формируются автопогрузчиком. Они закатываются в камеру и выкатываются из нее траверсной тележкой. После сушки штабеля поступают к месту выдержки. При небольших объемах они могут разбираться на отдельно стоящем лифте или на лифте, который применялся для укладки штабелей, после чего пиломатериалы направляются в деревообрабатывающий цех. При больших объемах сушки высушенные штабеля поступают на линию окончательной обработки пиломатериалов или на специальную расформировочную машину.

На рис. 6.5—6.6 даны примеры технологической планировки лесосушильных отделений и цехов с применением сушилок СПМ-2К и камер СПМ-1К, а на рис. 6.7—6.8 — с применением стационарной камеры СПЛК-2. В указанных планировках формирование штабелей, закатка и выкатка их из камер, а также доставка высушенных пиломатериалов к месту их дальнейшей переработки с применением единого сушильного пакета механизируются с помощью вилочного автопогрузчика (см. рис. 6.1) или лифта и траверсной тележки (рис. 6.9, 6.11).

6.2. СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ

Трудоемкие операции в лесосушильном цехе, связанные с формированием, транспортировкой и разборкой сушильных штабелей, с каждым годом все более механизируются. Для сокращения транспортных операций и улучшения качества сушки перспективно применение в лесосушильном цехе цельного беспакетного штабеля. Однако промышленность пока не располагает отечественными конструкциями таких машин, тем более для укладки штабелей высотой 4—5 м. Это вызывает необходимость применять более трудоемкий пакетный способ формирования штабелей. Наиболее приемлем пакет с размерами 1,8×1,45 м. Такой пакет формирует отечественная машина ПФМ-10, ранее выпускаемая серийно по заявкам предприятий. Сборка штабелей из пакетов может осуществляться кранами и автопогрузчиками, выпускаемыми также серийно. Наиболее рационально использование автопогрузчиков, так как с их помощью можно загружать и выгружать штабеля.

На небольших деревообрабатывающих и мебельных предприятиях для ручной укладки и разборки штабелей пиломатериалов можно рекомендовать лифт Л-6,5-15 (рис. 6.9), который выпускался Верхнеднепровским заводом бумагоделательного оборудования. В настоящее время подготавливается их выпуск на Канском заводе бумагоделательного оборудования.

Для формирования беспакетных штабелей высотой до 5 м необходима разработка новой пакетоформирующей машины. Вологодским Головным конструкторским бюро по проектированию деревообрабатывающего оборудования (ГКБД) начата разработка документации на такую машину.

Для обработки пиломатериалов больших объемов, не требующих специальной сортировки и подготовки пакетов пиломатериалов определенных длин, целесообразно разработать специальное расформировочное устройство для разборки высушенных штабелей и укладки сухих пиломатериалов в плотный пакет.

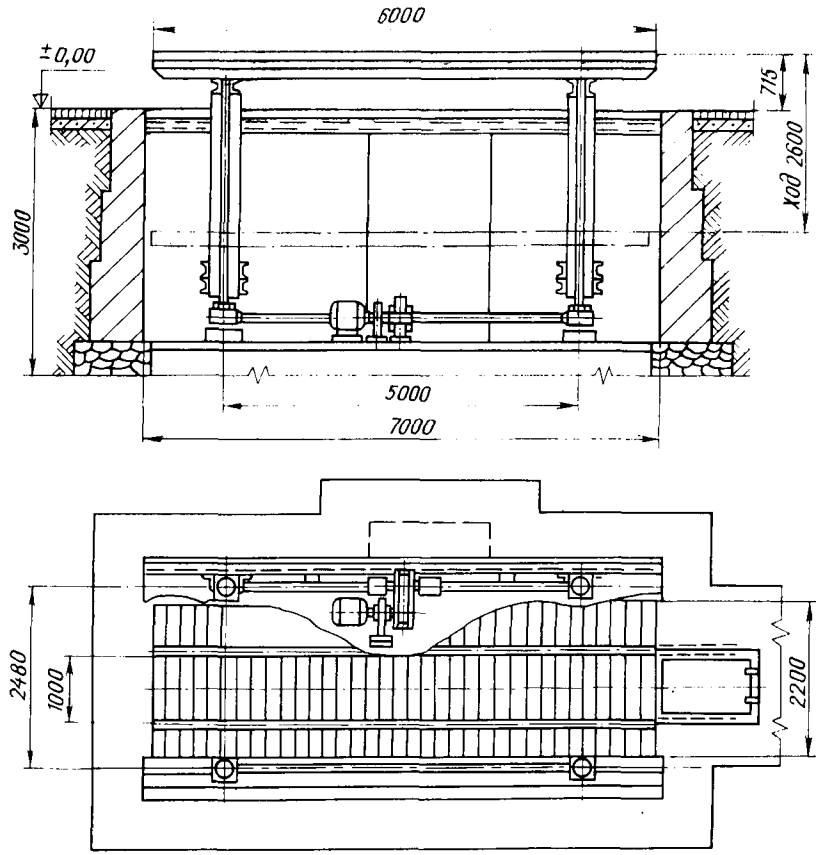


Рис. 6.9. Лифт Л-6, 5-15 для формирования сушильных штабелей

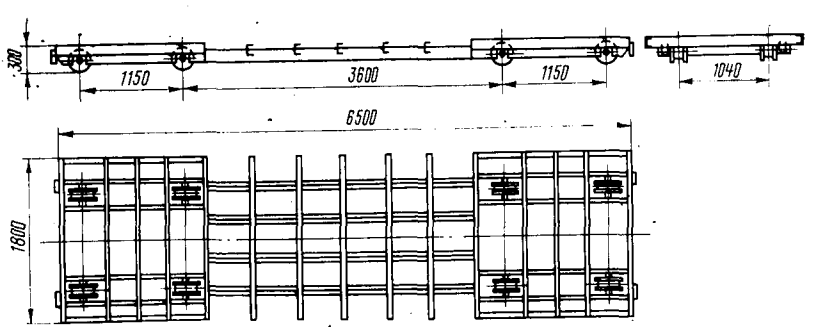


Рис. 6.10. Подштабельная тележка

Объединение ПФМ, сушильных камер и линий обработки пиломатериалов после сушки в единый технологический комплекс позволит решить вопрос максимальной механизации трудоемких операций в лесосушильных цехах. В этом комплексе наиболее слабое звено — механизация перемещения штабелей. В первую очередь необходимо создать промышленные образцы механизмов, входящих в комплект лесосушильных камер заводского изготовления. Перемещать штабеля можно и гравитационно (по уклону) с тормозными

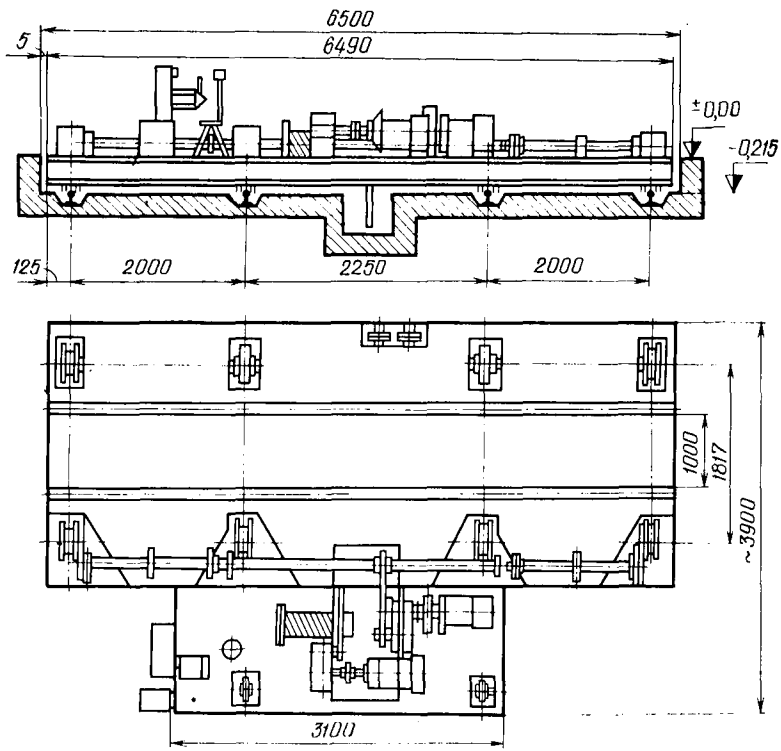


Рис. 6.11. Электрифицированная траверсная тележка ЭТ2-6,5

участками на пути движения. Для этого надо организовать серийный выпуск подштабельных тележек для камер с поперечной и продольной загрузкой штабелей, в том числе камер периодического действия. Выпуск тележек может быть налажен на заводах — изготовителях лесосушильных камер: Петрозаводском и Ижевском заводах тяжелых бумагоделательных машин, Ижевском экспериментально-механическом заводе. На рис. 6.10 показана подштабельная тележка для камер СПМ-1К, разработанных Гипродревпромом.

Канским заводом бумагоделательного оборудования выпускаются две модификации траверсных тележек для камер с продольной загрузкой: для штабеля нормальной длины и штабеля длиной 4,5 м (для мебельных предприятий при сушке заготовок). Конструкция тележек подлежит дальнейшему

совершенствованию. На рис. 6.11 и 6.12 даны траверсные тележки ЭТ2-6,5 и ЭТ-4,5. Налаживается выпуск электрифицированных траверсных тележек ЭТП-6,8-1,8 (в разработке Гипродрева) для камер с поперечной загрузкой на роликовых шинах. Необходимы также разработка и выпуск траверсных

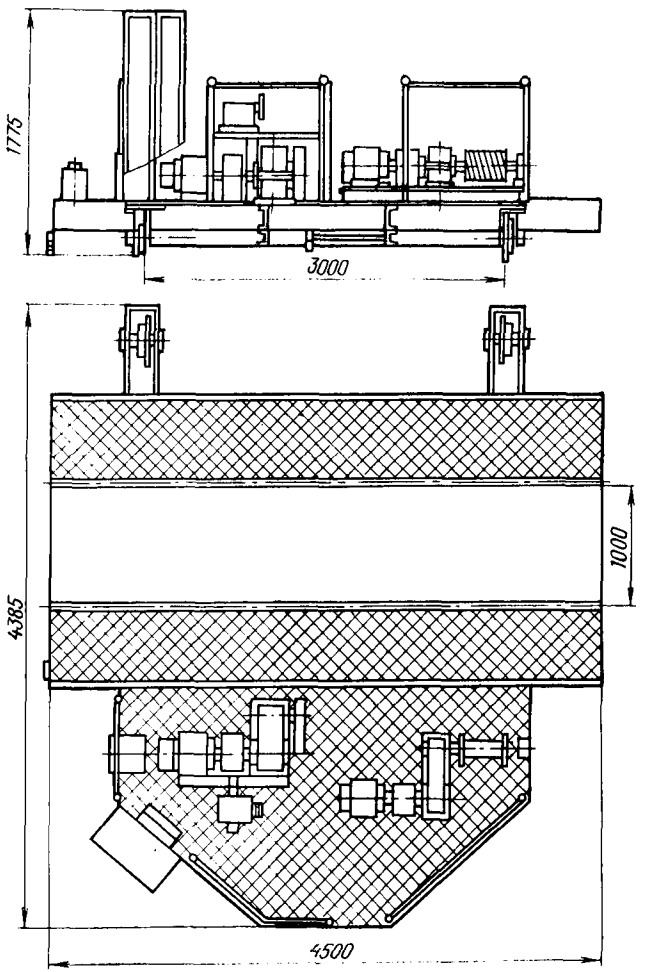


Рис. 6.12. Электрифицированная траверсная тележка ЭТ-4,5

тележек для камер непрерывного действия с поперечной загрузкой штабелей повышенной высоты с передвижением их на подштабельных тележках по рельсовым путям.

Рассмотренные варианты технологического процесса при сушке пиломатериалов охватывают все основные средства механизации, которые могут быть применены при любой организации работ. Таким образом, рекоменду-

6.1. Погрузочно-транспортные средства в лесосушильных цехах

Оборудование	Основные технические	
	габаритные размеры (длина × × ширина × высота), м	производительность
Линия формирования пакетов досок для сушки ПФМ-10	6,9×1,9×1,5 *	32—16 досок/мин
Линия формирования штабелей для сушки ПФЛ	6,9×1,9×5 **	40 досок/мин
Лифт Л-6,5-15	6,9×2,2×2,6 **	15 т ***
Подштабельная тележка для камер с продольной загрузкой	6,9×1,8×0,38	—
Подштабельная тележка для камер с поперечной загрузкой	6,8×1,9×0,35	—
Трек	1,8×0,22×0,16	—
Электрифицированная траверсная тележка ЭТ2-6,5М	6,5×3,9×1,65	15 т ***
Электрифицированная траверсная тележка ЭТ-4,5	4,5×4,38×1,8	8 т ***
Электрифицированная траверсная тележка ЭТП6,8-1,8	9,9×2,7×1,2	—
Автопогрузчик:		
4028		10 т ***
4008		10 т

* Размеры пакета.
** Размеры штабеля.
*** Грузоподъемность.

характеристики			Проектная организация, завод-изготовитель
скорость главного движения, м/мин	мощность, кВт	масса, т	
—	45,7	33	ГКБД, Вологодский завод «Северный коммунар» (до 1979 г.)
—	—	—	То же
0,35	10	3,7	Гипродревпром, Верхнеднепровский завод бумагоделательного оборудования
—	—	1,5	Гипродрев
—	—	1,5	Гипродрев
—	—	0,034	Гипродрев, Гайневский РМЗ
21,6/7,8	7,2	2,9	Гипродревпром, Канский завод бумажного оборудования
19,8/24	6,2	3,3	То же
—	—	—	Гипродрев, Канский завод бумажного оборудования
20 км/ч	150 л/с	10	Львовский завод автопогрузчиков
15 км/ч	104 л/с	10	

ются следующие погрузочно-транспортные средства в лесосушильных цехах (табл. 6.1):

линия формирования пакетов досок для камерной и комбинированной сушки ПФМ-10;

линия формирования штабелей высотой до 5 м для камерной сушки пиломатериалов;

лифт Л-6,5-15;

расформировочное устройство для сушильных штабелей;

подштабельная тележка для камер с продольной загрузкой;

подштабельная тележка для камер с поперечной загрузкой;

трек;

роликовые шины и подштабельные балки;

электрифицированная траверсная тележка ЭТ2-6,5М;

электрифицированная траверсная тележка ЭТ-4,5;

электрифицированная траверсная тележка ЭТП-6,8-1,8;

электрифицированная траверсная тележка для камер с поперечной загрузкой и рельсовыми путями;

автопогрузчик грузоподъемностью 10 т.

6.3. ТЕПЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ВЕНТИЛЯТОРЫ

6.3.1. Тепловое оборудование

Тепловое оборудование, предназначенное для обеспечения сушильных камер теплом на нагрев материала, испарение влаги и покрытие потерь через ограждения камер, включает калориферы, конденсатоотводчики, паропроводы, запорную и регулирующую арматуру. Специальных калориферов для лесосушильных камер промышленность серийно пока не выпускает. Применяются сборные калориферы, изготовляемые из ребристых или оребренных труб при выпуске или строительстве камер, а также пластинчатые калориферы, выпускаемые промышленностью различных моделей.

Калориферы стальные КВБ, К3ПП, К4ПП, КФСО, КФБО, К3ВП, К4ВП, КВС-П и КВБ-П предназначены для нагревания воздуха в системах вентиляции, воздушного отопления, кондиционирования воздуха и в сушильных установках. В зависимости от конструкции калориферы выпускают в одноходовом и многоходовом исполнении. При подборе следует уточнять номера выпускаемых калориферов.

Калориферы КВС-П и КВБ-П могут быть использованы при рабочем давлении теплоносителя до 1,2 МПа, остальные модели — до 0,8 МПа. В связи с тем, что калориферы КВБ универсальные, т. е. могут применяться с паром или горячей водой в качестве теплоносителя, ниже рассмотрены конструкция и характеристики этих калориферов. Калориферы стальные, пластинчатые, одноходовые модели КВБ выполнены с коридорно-смещенным расположением трубок на 0,5 диаметра. Конструкция калориферов с обозначениями определяющих размеров показана на рис. 6.13, а соответствующие конструктивные размеры в зависимости от модели приведены в табл. 6.2. Крышки калориферов — приварные, боковые щитки — съемные, что позволяет создавать необходимую поверхность нагрева.

Технические данные и коэффициенты теплопередачи калориферов КВБ приведены в табл. 6.3 и 6.4. Сопротивление проходу воздуха $H_в$ калориферов КВБ принимается в зависимости от массовой скорости воздуха $v\gamma$ в живом сечении:

$v\gamma$, кг/(м²·с)	4	6	8	10	12	14
$H_в$, Па	15,6	31	50	73,2	100	131

Конденсатоотводчики устанавливаются на конденсатопроводе после калориферов и служат для того, чтобы задерживать пар, не отработавший в теплообменнике, и пропускать только конденсат. Конденсатоотводчики с открытым поплавком 45ч4бр и КГ являются арматурой устаревшей конструкции, поэтому применяются только при отсутствии конденсатоотводчиков других типов.

Конденсатоотводчики устанавливаются с обводной линией для пропуска конденсата в момент ремонта конденсатоотводчика. Эта линия также может быть использована для пропуска конденсата в начальный период работы камеры, когда образуется большое количество попутного конденсата. В конденсатоотводчиках 45ч4бр обводная линия находится непосредственно в корпусе.

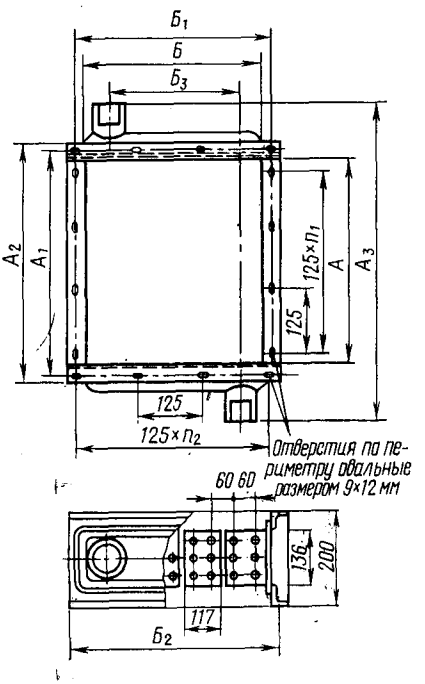


Рис. 6.13. Конструкция калориферов КВБ

После конденсатоотводчиков (за исключением 45ч4бр и КГ) при наличии противодавления или сбросе конденсата в сборный конденсатопровод устанавливается обратный клапан. Расчетный расход конденсата при подборе конденсатоотводчиков принимается в четыре раза больше среднего расхода конденсата в килограммах на час. Давление перед конденсатоотводчиками P_1 принимается равным: при отводе конденсата от теплообменника $P_1=0{,}25\,P$; при дренаже паропровода $P_1=P$; при установке конденсатоотводчиков на конце конденсатопровода $P_1=0{,}7\,P$ (здесь P — давление пара перед теплообменником).

Для лесосушильных камер рекомендуется применять термодинамические и термостатические конденсатоотводчики, а также конденсатоотводчики с опрокинутым поплавком (рис. 6.14). Последние работают следующим образом. При поступлении под поплавок смеси пара и конденсата поплавок всплывает. Соединенный с ним шаровой клапан закрывает выходное отверстие. Пар скапливается под поплавком, частично выходя через отверстие в днище диаметром 2 мм. При дальнейшем накапливании конденсата поплавок зали-

6.2. Конструктивные размеры калориферов КВБ, мм

Модель и номер калорифера	A	A_1	A_2	A_3	$Б$	$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	Трубная резьба штуцера, дюймы	n_1	n_2
КВБ-2	560	600	624	760	360	390	412	290	$1^1/_4$	3	4
КВБ-3	560	600	624	780	480	510	532	390	$1^1/_2$	4	4
КВБ-4	710	750	774	930	480	510	532	390	$1^1/_2$	4	5
КВБ-5	710	750	774	930	600	640	662	520	2	5	5
КВБ-6	860	900	924	1080	600	640	662	520	2	5	6
КВБ-7	860	900	924	1100	720	760	782	630	$2^1/_2$	6	6
КВБ-8	1010	1050	1074	1250	720	760	782	630	$2^1/_2$	6	7
КВБ-9	1010	1050	1074	1250	840	880	902	750	$2^1/_2$	7	7
КВБ-10	1160	1200	1224	1400	840	880	902	750	$2^1/_2$	7	9

6.3. Технические данные калориферов КВБ

Модель и номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м²	Площадь живого сечения, м²		Масса с оцинковкой, кг
		по воздуху	по теплоносителю	
КВБ-2	9,9	0,115	0,0046	53
КВБ-3	13,2	0,154	0,0061	69
КВБ-4	16,7	0,195	0,0061	85
КВБ-5	20,9	0,244	0,0076	106
КВБ-6	25,3	0,295	0,0076	125
КВБ-7	30,4	0,354	0,0092	152
КВБ-8	35,7	0,416	0,0092	174
КВБ-9	41,6	0,486	0,0107	201
КВБ-10	47,8	0,558	0,0107	224

6.4. Коэффициенты теплопередачи K калориферов КВБ

Теплоноситель	Скорость движения теплоносителя по трубкам $v_т$, м/с	Значение K, Вт/(м²·°С), при массовой скорости воздуха в живом сечении $v\gamma$, кг/(м²·с)					
		3	4	5	6	7	8
Пар	—	27,2	28,9	31,3	33,2	34,9	36,7
Вода	0,02	14,5	15,3	16,1	16,7	17,3	17,6
	0,03	15,3	16,2	17,0	17,9	18,5	19,0
	0,04	16,0	17,0	18,0	18,7	19,6	20,2
	0,05	16,7	18,0	18,7	19,7	20,4	21,1
	0,06	17,1	18,5	19,6	20,4	21,3	22
	0,07	17,6	19,1	20,3	21,2	22	22,7
	0,08	18,0	19,6	20,9	21,9	22,6	23,4
	0,09	18,5	20,2	21,4	22,5	23,3	24,1
	0,1	19,0	20,8	21,9	23,1	23,9	24,6
	0,2	21,4	23,3	24,7	26,2	27,6	28,8
	0,3	22,7	24,7	26,5	28,3	29,2	31,0
	0,4	23,2	25,6	27,6	29,5	31,0	32,6
	0,5	23,9	26,4	28,5	31,1	32,0	33,9
	0,6	24,6	27,1	28,9	31,3	32,7	34,6

Продолжение

Теплоноситель	Скорость движения теплоносителя по трубкам $v_т$, м/с	Значение K, Вт/(м²·°С) при массовой скорости воздуха в живом сечении $v\gamma$ кг/(м²·с)					
		9	10	11	12	13	14
Пар	—	38,2	39,7	40,9	42,5	43,9	45,0
Вода	0,02	18,1	18,5	19,0	19,4	19,7	20,1
	0,03	19,6	20,0	20,4	20,9	21,1	21,4
	0,04	20,9	21,3	21,8	22,1	22,6	23,0
	0,05	21,8	22,5	23,0	23,3	23,8	24,2
	0,06	22,7	23,3	24	24,3	24,8	25,4
	0,07	23,4	24,0	24,7	25,4	26,0	26,4
	0,08	24,2	25,0	25,5	26,1	26,6	27,3
	0,09	25	25,7	26,4	27,1	27,7	28,3
	0,1	25,5	26,3	27,1	27,8	28,5	29
	0,2	29,8	30,9	31,7	32,5	33,3	34
	0,3	31,7	33,4	34,4	35,2	36,1	37,1
	0,4	34,5	35,1	36,9	37,5	38,9	39,6
	0,5	34,9	36,5	37,9	39,2	40,4	41,4
	0,6	35,9	37,6	38,6	40,4	41,2	42,5

6.5. Основные данные конденсатоотводчика 45ч9бр с опрокинутым поплавком

Номер	D, мм	Давление пара, МПа				
		0,2	0,5—0,2	0,4	0,2—0,4	0,8
		Производительность, тыс. л/ч	Номер: Диаметр седла $D_у$, мм	Производительность, тыс. л/ч	Номер: Диаметр седла $D_у$, мм	Производительность, тыс. л/ч
0	20	3,6	1/9	2,2	2/6	1,5
1	25	3,6	1/9	2,2	2/6	1,5
2	32	10	5/15	6,3	6/10	4,4
3	40	10	5/15	6,3	6/10	4,4
4	50	18	9/20	12,2	10/14	10

Продолжение

Номер	D, мм	Давление пара, МПа			Высота H, мм	Длина L, мм	Масса, кг
		0,4—0,8	1,3	0,8—1,3			
		Номер: Диаметр седла $D_у$, мм	Производительность, тыс. л/ч	Номер: Диаметр седла $D_у$, мм			
0	20	3/4	1,2	4/3	260	206	9,8
1	25	3/4	1,2	4/3	260	206	9,8
2	32	7/7	3,1	8/5,2	280	240	12,4
3	40	7/7	3,1	8/5,2	300	267	17,2
4	50	11/10	7,2	12/8	315	285	22,6

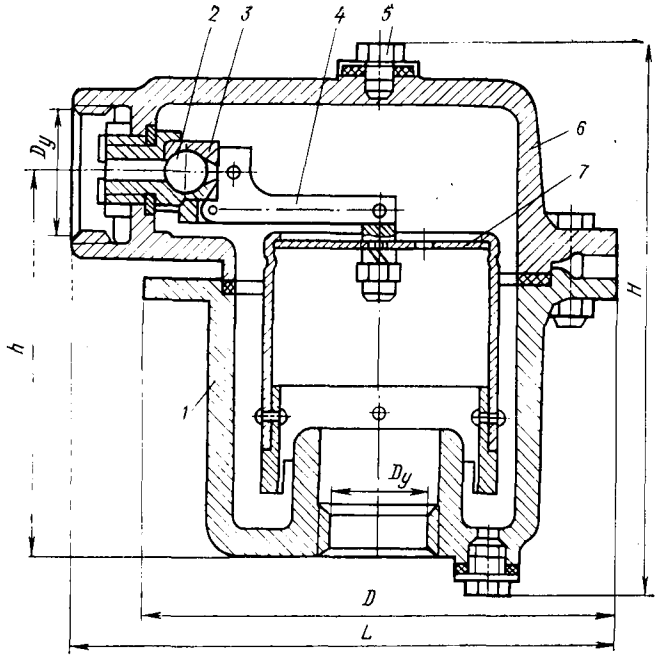


Рис. 6.14. Конденсатоотводчик с опрокинутым поплавком:
1 — корпус; *2* — клапан; *3* — седло; *4* — рычаг; *5* — пробка; *6* — крышка; *7* — поплавок

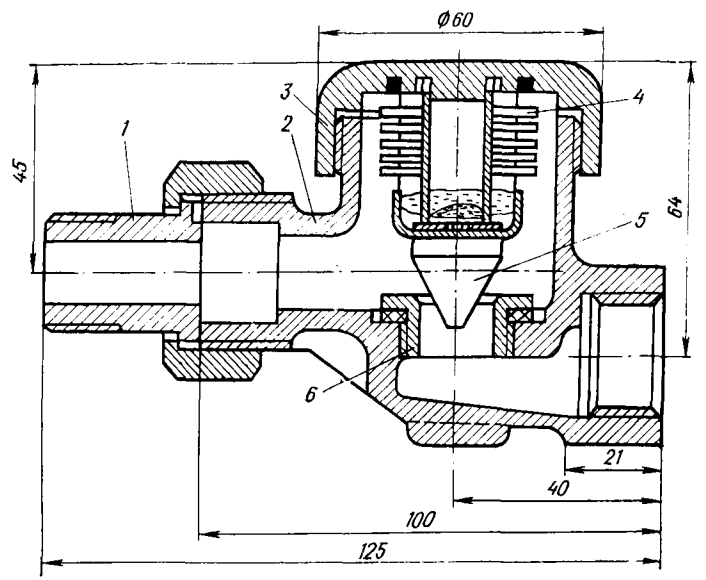


Рис. 6.15. Термостатный конденсатоотводчик с сильфоном и шаровым клапаном:
1 — входной патрубок; *2* — корпус; *3* — крышка; *4* — термостат (сильфон); *5* — золотник; *6* — седло

6.6. Производительность термостатного конденсатоотводчика 45кч6бр с сильфонным и шаровым клапанами

D, мм	Максимальная производительность, л/ч, при перепаде давлений пара, МПа								
	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,1	0,3	0,56	0,6
10	165	280	350	430	500	560	680	900	1000
15	250	440	560	660	750	850	900	1150	1300

вается им и опускается вниз, открывая выходное отверстие. После выпуска части конденсата давление на дно поплавка уменьшается, он всплывает, и цикл повторяется сначала.

Конденсатоотводчики изготовляются с различными седлами и клапанами. Седло и соответствующий ему клапан выбираются в зависимости от давления пара перед конденсатоотводчиком по табл. 6.5.

Термостатный конденсатоотводчик с сильфоном и шаровым клапаном (рис. 6.15) работает следующим образом. При поступлении в корпус конденсата или пара с высокой температурой сильфон расширяется и закрывает выходное отверстие. После охлаждения конденсата приблизительно до температуры 85 °С сильфон сжимается и открывает выходное отверстие. Сильфон заполняется смесью спиртов: этилового (25 %) и пропилового (75 %). Конденсатоотводчик может устанавливаться в любом положении. Условное давление пара, на которое он рассчитан, равно 0,6 МПа. Производительность конденсатоотводчиков дана в табл. 6.6.

6.3.2. Вентиляторы

В лесосушильных установках вентиляторы используются для создания необходимой скорости воздуха (газа) внутри сушильного пространства и через штабеля высушиваемых пиломатериалов. По принципу работы вентиляторы разделяются на два класса: центробежные и осевые.

Центробежные вентиляторы представляют собой спиральный кожух, укрепленный на станине и роторе рабочего колеса (рис. 6.16, *а*). При вращении ротора воздух через отверстие в боковой стенке кожуха засасывается в середину ротора и под действием центробежной силы выбрасывается через выхлопное отверстие под прямым углом к направлению всасывания.

Центробежные вентиляторы общего назначения разделяются на три группы: низкого давления (до 1000 Па), среднего давления (от 1000 до 3000 Па) и высокого давления (от 3000 до 10 000 Па). Центробежные вентиляторы изготавливаются правого и левого вращения с различным расположением кожуха вентилятора в зависимости от ориентации выхлопного патрубка: вверх *В*, вверх и вправо *ВП*, вправо *П*, вниз и вправо *НП*, вниз *Н*, вниз и налево *НЛ*, влево *Л*, вверх и влево *ВЛ* (рис. 6.16, *б*, *в*). Кроме того, вентиляторы различаются по аэродинамическим характеристикам ротора и кожуха. Вентиляторы, изготовляемые по одной аэродинамической схеме, относятся независимо от схемы исполнения к одному типу. Вентиляторы одного типа, но разных размеров, составляют серию. Их размер принято

характеризовать номером, показывающим диаметр ротора в дециметрах. Промышленностью выпускается большое число типов и серий центробежных вентиляторов. При их выборе необходимо пользоваться каталогами Сантехпроекта.

В лесосушильных установках применяются центробежные вентиляторы низкого и среднего давления; из них предпочтительнее серии Ц4-70, отличающиеся хорошим качеством изготовления и более высоким КПД. Указан-

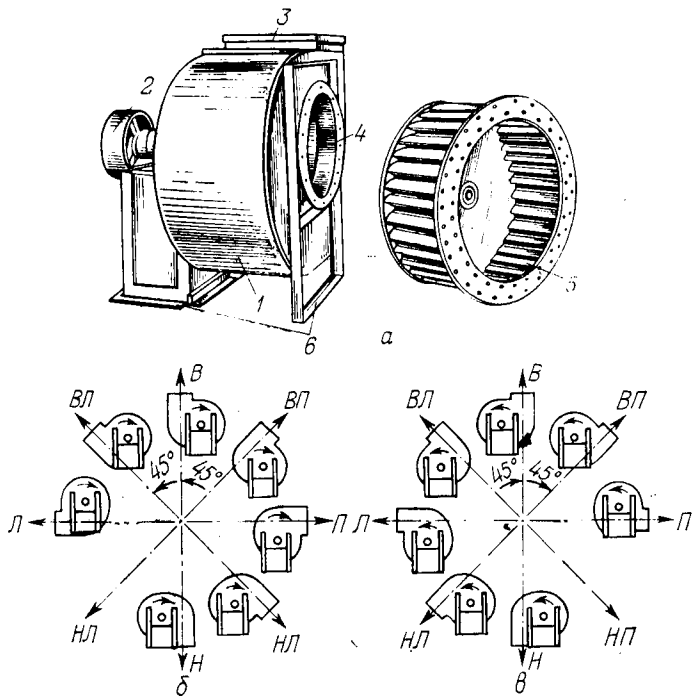


Рис. 6.16. Центробежный вентилятор:
а — общий вид: *1* — корпус (кожух); *2* — приводной шкив; *3* — выхлопное отверстие; *4* — всасывающее отверстие; *5* — ротор; *6* — станина; направление выходных отверстий со стороны привода вентилятора; *б* — правого вращения; *в* — левого вращения

ные вентиляторы изготовляются из черной нержавеющей стали или с алюминиевым кожухом.

Эксплуатируемые в промышленности эжекционные паровые лесосушильные камеры периодического действия, как правило, оснащены центробежными вентиляторами. По старым проектам, эти камеры оснащались вентиляторами № 8 и 10, а в действующем типовом проекте модернизированной камеры (ТП № 411-2-46) предусматривается установка вентилятора № 12 или № 12,5. На рис. 6.17 и в табл. 6.7 приведены основные габаритные и установочные размеры центробежных вентиляторов серии Ц4-70 № 8, 10 и 12,5. Вентиляторы подбирают по аэродинамической характеристике, показывающей зависимость между производительностью, давлением, частотой враще-

6.7. Габаритные и установочные размеры центробежных вентиляторов, мм

№ вентилятора	B	B_1	B_2	B_3	B_4	l	l_z
8	718	530	802,5	618	762	1275	385,5
10	893	658,5	1003,5	708	884	1440	451,5
12,5	1112	815	1228	981	1124	1785	544,5

Продолжение

№ вентилятора	C	C_1	C_2	C_3	C_4	d	h	Масса, кг
8	720	520	500	600	964,5	19	930	370
10	840	650	540	720	1146,5	24	1141,5	580
12,5	1080	812,5	750	785	1261	24	1440	800

Продолжение

№ вентилятора	Фланец выходного патрубка					Фланец входного патрубка			
	A	A_1	C_5	Число шагов n	Число отверстий n_1	D	D_1	D_2	Число отверстий n_2
8	560	635	152	4	16	800	850	880	24
10	700	790	150	5	20	1000	1060	1080	24
12,5	875	961	116	8	32	1250	1300	1330	32

ния, мощностью и КПД вентилятора. В качестве примера на рис. 6.18 приведена аэродинамическая характеристика центробежного вентилятора Ц4-70 № 12,5.

Осевые вентиляторы. В лесосушильных установках осевые вентиляторы получили наибольшее применение. По сравнению с центробежными они обладают некоторыми преимуществами. В частности, их можно устанавливать внутри циркуляционного канала, обеспечивая непосредственное побуждение агента сушки в лесосушильной установке. Кроме того, производительность единичных номеров значительно выше, а габаритные размеры и масса меньше.

Осевой вентилятор представляет собой диск с втулкой, на котором закреплены под некоторым углом θ профильные лопасти. Диск с лопастями (рабочее колесо вентилятора) вращается внутри цилиндрического кожуха, называемого обечайкой. Осевой вентилятор перемещает воздух прямолинейно вдоль оси вращения рабочего колеса.

Осевые вентиляторы, как и центробежные, различаются по типам, сериям и размерам (номерам). На рис. 6.19 представлены вентиляторы ЦАГИ

основных серий, применяемые в лесосушильных установках. Вентиляторы каждой серии характеризуются формой поперечного сечения лопасти и относительной величиной диаметра d втулки-диска, на котором крепятся лопасти вентиляторного колеса. Чем больше диаметр втулки-диска по отношению к диаметру всего вентиляторного колеса, тем выше развиваемое полное давление. В пределах каждой серии вентиляторы отличаются диаметром колеса и углом поворота лопастей к плоскости вращения. Размер осевого

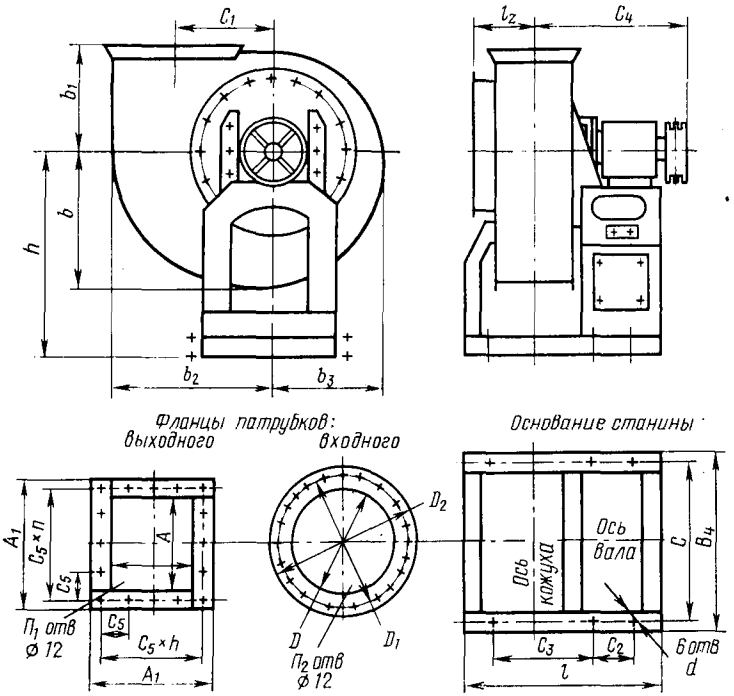


Рис. 6.17. Основные габаритные и установочные размеры центробежного вентилятора Ц4-70 (исполнение № 8 ,10 и 12,5)

вентилятора соответствует его номеру, который обозначается, как и у центробежных вентиляторов, числом дециметров в диаметре рабочего колеса. Колесо диаметром 1000 мм, или 10 дм, будет иметь номер 10, а диаметром 1250 мм — номер 12,5.

Осевые вентиляторы серии МЦ, четырех- и шестилопастные вентиляторы серии У и Д в сушильной технике не применяются. Этими вентиляторами оснащались некоторые сушильные камеры в пятидесятых годах. Высоконапорный вентилятор серии В применяется в сушильных эжекционных камерах, эксплуатируемых на многих деревообрабатывающих предприятиях. В сушильной технике широко применяются 12-лопастные осевые вентиляторы се-

рии У, серии УК2М и серии В-2, 3-130, обладающие сравнительно высокими КПД.

На рис. 6.20 представлен осевой вентилятор серии У-12 и его основные элементы. Эти вентиляторы применяются в камерах непрерывного и периодического действия. Причем в камерах периодического действия они переоборудуются в реверсивные путем установок лопастей через одну на 180° (по-

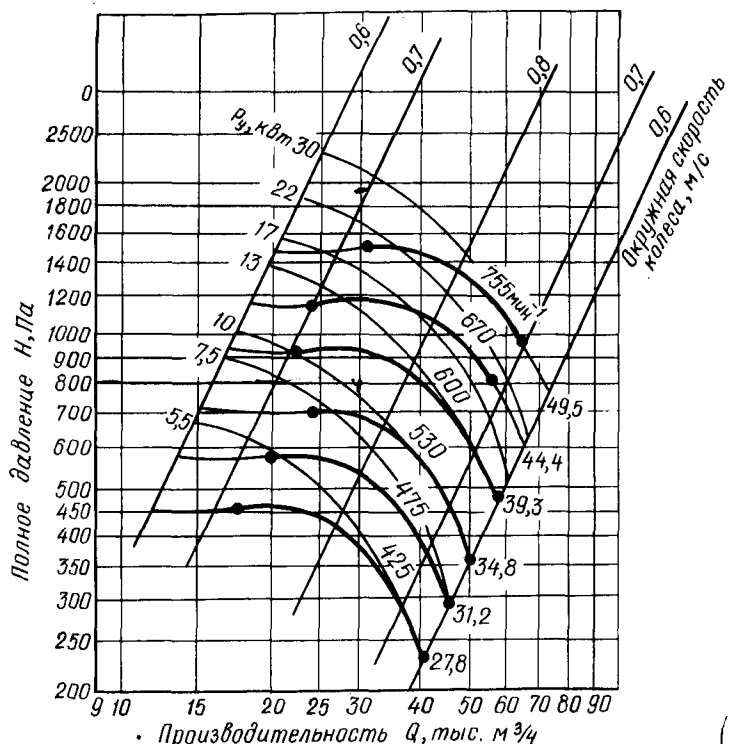


Рис. 6.18. Аэродинамическая характеристика центробежного вентилятора Ц4-70 № 12,5

зиция *е* на рис. 6.20). Лопасти должны вращаться тупыми кромками и плоскими сторонами вперед.

На рис. 6.21 представлена аэродинамическая характеристика осевых вентиляторов серии У. Указанной характеристикой можно пользоваться и при подборе реверсивных вентиляторов. В этом случае производительность уменьшается на 10%, давление на 15%.

Вентиляторы серии У в реверсивном исполнении изготовляются заводами, производящими сушилки СПВ-62 и СПМ-2К, только для их комплектации. Как отдельный вентиляторный агрегат машиностроительной промышленностью не изготовляются, хотя потребность в них очень большая.

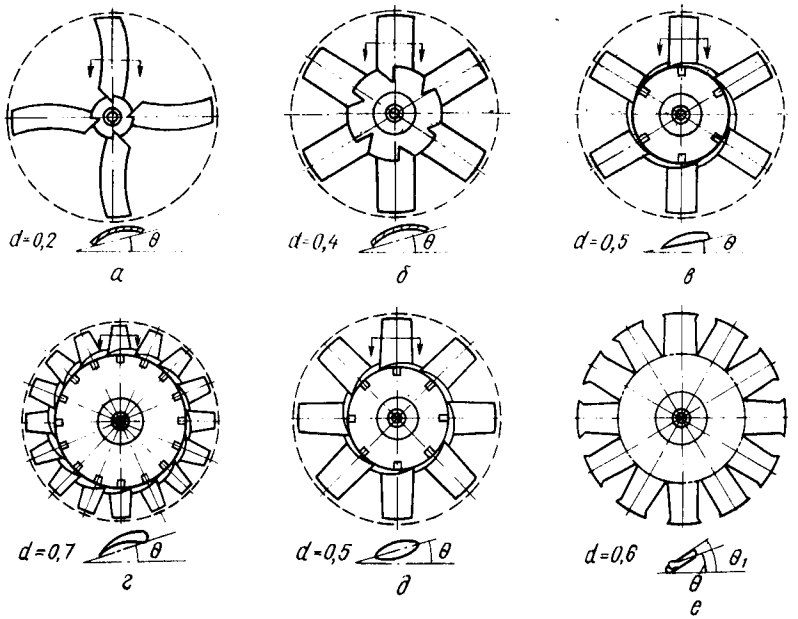


Рис. 6.19. Осевые вентиляторы **ЦАГИ:**
а — серии МЦ; *б* — серии Д; *в* — серии У (6- и 12-лопастные); *г* — серии В; *д* — реверсивные; *е* — серии К-06 (крученые лопасти)

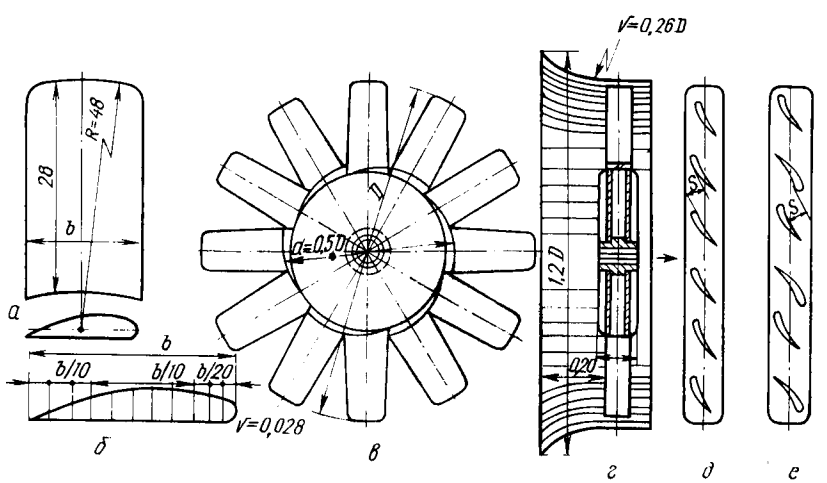


Рис. 6.20. Осевой вентилятор серии У-12:
а — лопасть; *б* — профиль лопасти; *в* — колесо; *г* — поперечный разрез колеса и обечайки; *д* — развертка посадки лопастей под углом 0°; *е* — развертка посадки лопастей реверсивного вентилятора

В частности, эти вентиляторы применяются в типовых стационарных камерах СПЛК-2 и Гипродрев-ЛТА.

В камерах непрерывного действия используются осевые вентиляторы серии УК-2М до № 10 (например, в камерах СП-5КМ) и серии В-2,3-130 № 8, 10 и 12,5. Эти вентиляторы обладают сравнительно высокими напором, производительностью и КПД. Могут устанавливаться с приводом непосредственно на одной оси внутри циркуляционного канала, т. е. в камерах непрерывного действия при мягких режимах сушки. При индивидуальном изготовлении привод вентиляторов может быть вынесен за пределы сушильного пространства камер. Указанные вентиляторы изготовляются также на заводах, производящих сушильные камеры.

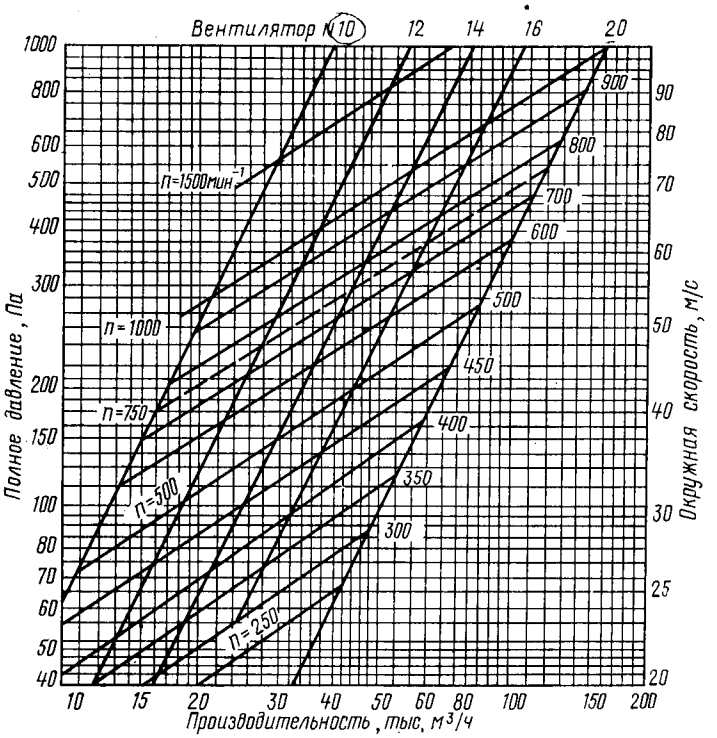


Рис. 6.21. Аэродинамическая характеристика осевых вентиляторов серии У

ГЛАВА 7. ТЕХНОЛОГИЯ КАМЕРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

7.1. УКЛАДКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ШТАБЕЛЯ

Одним из важнейших условий, гарантирующих надлежащую эксплуатацию сушильных камер и высокое качество сушки, является правильная укладка пиломатериалов в штабеля. При укладке должны обеспечиваться: механическая прочность штабеля; стабильность его формы и уложенных в него пило-

материалов; равномерное омывание всех досок циркулирующим сушильным агентом. При правильной укладке значительно снижается процент брака от коробления и улучшается равномерность просыхания пиломатериалов в штабеле. Правила укладки регламентируются «Руководящими материалами по камерной сушке пиломатериалов» [21]. Подштабельное основание должно быть прочным и жестким, верх основания должен быть горизонтальным. Длина его должна равняться длине штабеля.

При камерной сушке используются штабеля двух типов:

пакетный (рис. 7.1, *а*, *б*), формируемый при помощи подъемно-транспортных средств из двух или четырех пакетов, предварительно уложенных на пакетоформирующей машине или вручную;

беспакетный (рис. 7.1, *в*), формируемый на пакетоформирующей машине или вручную.

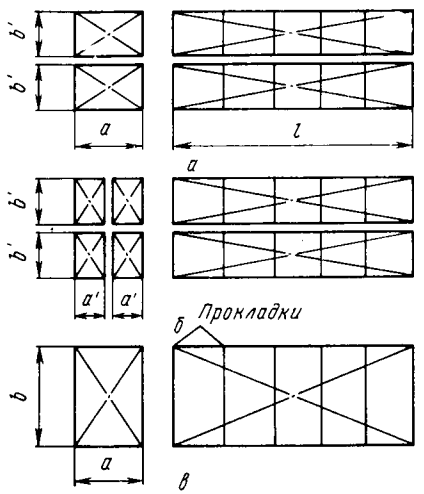


Рис. 7.1. Штабеля:
а, *б* — пакетные; *в* — беспакетный. Размеры, мм: *а* — 1,8 — 2,4; *b* — 2,6—5; *l* — 6,5 и 6,8

Форма поперечного сечения пакетов и штабелей должна быть прямоугольной, торцы досок должны быть выравнены по вертикали. Размеры пакетов и штабелей должны соответствовать конструкциям камер. Длина пакета или штабеля определяется максимальной длиной укладываемых пиломатериалов; ширина и высота — типом сушильных камер и параметрами механизмов, применяемых при укладке. В камерах периодического действия при сушке заготовок допускается длина штабеля, равная или кратная длине заготовки. Для камер с поперечной штабелевкой длина штабеля определяется конструкцией камеры.

В зависимости от характера циркуляции агента сушки через штабель применяют два способа укладки:

сплошными рядами без промежутков (шпаций) между досками — для камер с горизонтальной циркуляцией поперек штабелей;

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

Штабель укладывают, как правило, из досок одного сечения. Допускается укладывать доски разных ширин, но обязательно с одинаковой толщиной. Необрезные доски укладывают комлями в разные стороны. Если доски разной ширины, узкие укладывают в середину, а широкие — по краям пакета или штабеля. Если по ширине пакета или штабеля целое число досок не размещается, зазор менее ширины доски оставляют в середине. В штабелях или пакетах со шпациями ширина шпаций должна составлять при укладке обрез-

7.1. **Число прокладок в горизонтальном ряду пиломатериалов по длине пакета или штабеля**

Толщина пиломатериалов, мм	Хвойные породы				Лиственные породы			
	Число прокладок по длине пакета или 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

7.2. **Размеры прокладок**

Назначение прокладок	Размеры, мм		
	толщина	ширина	длина
Межрядовые *	25±1	40±5	В зависимости от ширины штабеля
Межпакетные	90±5	75±5	

* Допускается применять прокладки толщиной 32 мм, например, в линиях сушки фирмы «Valmet», как предусмотрено инструкцией на эти камеры.

ных досок 55—60 % их ширины, а при укладке необрезных досок — не менее 100 %.

При формировании допускается укладка в один штабель пиломатериалов различных по длине, вразбежку. Длинные доски размещаются по краям штабеля, короткие — в середине. Стыкуемый пиломатериал располагается не менее чем на двух прокладках; при этом внешние торцы его выравниваются по торцам пакета или штабеля.

Горизонтальные ряды пиломатериалов в пакетах или штабелях должны разделяться прокладками. Число прокладок по длине пакета или штабеля устанавливается в зависимости от породы древесины, толщины и длины укладываемого пиломатериала и должно соответствовать указанному в табл. 7.1.

Число межпакетных прокладок должно соответствовать числу вертикальных рядов прокладок в пакете. Прокладки по высоте следует укладывать вертикально одну над другой. Крайние прокладки необходимо укладывать заподлицо с торцами пиломатериалов. Концы прокладок не должны выступать за боковые поверхности пакета или штабеля более чем на 5—10 мм. При формировании пакетов и штабелей на пакетоформирующих машинах число прокладок уточняется в соответствии с техническими параметрами машины.

Прокладки подразделяются на межрядовые для разделения рядов пиломатериалов, уложенных в штабель или пакет, и межпакетные — для разделения пакетов при формировании пакетного штабеля. Размеры их определяются по табл. 7.2.

Прокладки изготовляются из древесины хвойных и лиственных пород влажностью не более 18 %. В них допускаются следующие пороки древесины: сучки сросшиеся и частично сросшиеся, здоровые и темные просмоленные диаметром не более 12 мм; грибные и химические окраски, плесень в виде отдельных полос и пятен; трещины шириной не более 0,5 мм и глубиной не более 5 см. Деформированные (свыше допускаемых отклонений) и поломанные прокладки к использованию не допускаются.

7.2. ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ

Процесс сушки характеризуется следующими технологическими и контрольными операциями: определение влажности древесины; назначение ре-

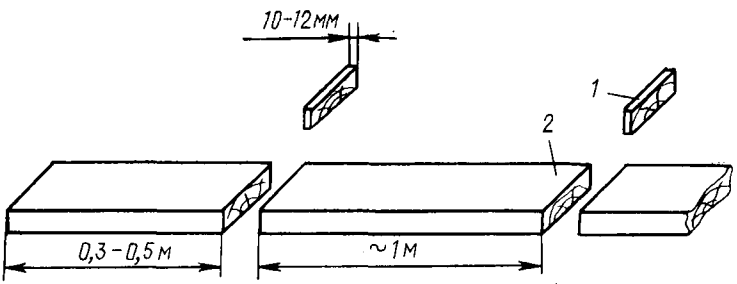


Рис. 7.2. Схема отбора секций влажности и контрольного образца:
1 — секции влажности; *2* — контрольный образец

жима сушки; загрузка камеры и начальный прогрев древесины; управление сушильной камерой; контроль за режимом сушки и состоянием материала; влаготеплообработка древесины; кондиционирующая обработка древесины.

7.2.1. Определение начальной и текущей влажности древесины

Начальную влажность древесины определяют по секциям, а текущую — по контрольным образцам, выпиливаемым из досок. Схема отбора секций влажности и контрольного образца показана на рис. 7.2. Выпиленные из досок, характерных для данной партии по строению, плотности и влажности, без гнили, сучков и трещин, секции зачищают от заусенцев и сразу взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Влажность секций подсчитывают по формуле

$$W_{\text{нач}} = [(m_{\text{нач}} - m_{\text{с}})/m_{\text{с}}]\,100\%,$$

где $m_{\text{нач}}$ — начальная масса секции, г; $m_{\text{с}}$ — масса абсолютно сухой секции, г.

Среднее значение влажности, вычисленное по двум секциям, принимается за начальную влажность $W_{\text{нач}}$ контрольного образца, по которому определяют текущую влажность в процессе сушки. Контрольные образцы нумеруют, торцы очищают и покрывают густотертой масляной краской. После

этого их взвешивают на торговых весах с точностью до 5 г. Массу записывают на образце и в журнале. В каждый сушильный штабель укладывают по два контрольных образца в места интенсивной и замедленной сушки, устанавливаемые из опыта эксплуатации камер.

7.2.2. Режимы сушки

Режимом сушки называется расписание параметров сушильного агента, координированное по времени или по состоянию древесины. Стандартизированные режимы координированы по влажности древесины. При сушке пиломатериалов применяются режимы с повышающейся по ходу процесса жесткостью. В начальной стадии при определенной заданной температуре поддерживается высокая степень насыщенности, а затем при снижении влажности древесины температура повышается, а степень насыщенности уменьшается. Такой характер изменения параметров сушильного агента при сушке обусловлен особенностями развития в древесине внутренних напряжений и требованием сохранения целостности высушиваемых досок и заготовок.

В таблицах режимов в качестве определяющих параметров сушильного агента приняты температура t, степень насыщенности φ, психрометрическая разность $\Delta t = t - t_м$, где $t_м$ — температура смоченного термометра (психрометра). Режимы сушки регламентируют состояние сушильного агента при входе его в штабель. Это обусловливает место установки в камере психрометров. Если по конструктивным причинам датчики размещены не на месте входа потока в штабель, в их показания должны вводиться поправки, устанавливаемые путем контрольных измерений.

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству древесины, пиломатериалы могут высушиваться режимами различных категорий по температурному уровню. Режимами низкотемпературного процесса предусматривается использование в качестве сушильного агента влажного воздуха с температурой в начальной стадии ниже 100 °С. Существуют три категории этих режимов: мягкие, нормальные и форсированные. Режимами высокотемпературного процесса предусматривается использование в качестве сушильного агента перегретого пара атмосферного давления с температурой выше 100 °С.

Мягкие режимы, обеспечивающие бездефектную сушку пиломатериалов при полном сохранении естественных физико-механических свойств древесины, в том числе прочности и цвета, рекомендуются для сушки до транспортной влажности экспортных пиломатериалов и в отдельных случаях пиломатериалов внутрисоюзного потребления высших сортов.

Нормальные режимы, обеспечивающие бездефектную сушку пиломатериалов при полном сохранении прочностных показателей древесины с незначительными изменениями ее цвета, рекомендуются для сушки пиломатериалов внутрисоюзного потребления до любой конечной влажности.

Форсированные режимы, обеспечивающие бездефектную сушку пиломатериалов при сохранении прочности на статический изгиб, растяжение и сжатие, но при некотором (до 20 %) снижении прочности на скалывание и раскалывание с возможным потемнением древесины, рекомендуются для сушки до эксплуатационной влажности пиломатериалов, предназначенных для изделий и узлов, работающих с большим запасом прочности.

7.3. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов (мягкие,

Индекс режима	Влажность древесины, %	Номер режима и параметры											
		1			2			3			4		
		t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ
А	30	90	4	0,85	82	3	0,88	75	3	0.87	69	3	0,87
	30—20	95	7	0,76	87	6	0,78	80	6	0,77	73	6	0,76
	20	127	32	0,32	108	27	0,35	100	26	0,35	91	24	0,36
Б	30	90	5	0,81	82	4	0,84	75	4	0,84	69	4	0,83
	30—20	95	9	0,70	87	8	0,72	80	8	0,70	73	7	0,72
	20	120	34	0,29	108	29	0,32	100	28	0,32	91	25	0,34
В	30	90	7	0,75	82	6	0,77	75	5	0,80	69	5	0,79
	30—20	95	11	0,65	87	10	0,66	80	9	0,66	73	8	0,69
	20	120	36	0,26	108	31	0,30	100	29	0,30	91	26	0,33
Г	30	90	9	0,69	82	8	0,71	75	7	0,73	69	6	0,76
	30—20	95	13	0,60	87	12	0,60	80	11	0,61	73	10	0,63
	20	120	37	0,25	108	33	0,27	100	31	0,27	91	28	0,30
Д	30	90	11	0,63	82	10	0,65	75	9	0,66	69	8	0,68
	30—20	95	15	0,54	87	14	0,55	80	13	0,55	73	12	0,56
	20	120	38	0,34	108	35	0,24	100	33	0,25	91	30	0,26

Высокотемпературные режимы, обеспечивающие бездефектную сушку при несущественном изменении прочности на статический изгиб, растяжение и сжатие, но при заметном (до 30—35 %) снижении прочности на скалывание и раскалывание и потемнении древесины, рекомендуются для сушки до эксплуатационной влажности пиломатериалов целевого назначения для изделий и узлов, работающих с большим запасом прочности.

Режимы сушки пиломатериалов в паровых камерах периодического действия. Режимы низкотемпературного процесса сушки *пиломатериалов согласно* ГОСТ 19773—74 приведены в табл. 7.3, регламентирующей параметры воздуха в камере в зависимости от влажности древесины.

Режим сушки, применяемый для материала конкретной породы и размера, характеризуется его номером (от 1 до 10), определяющим уровень температуры, и индексом (от А до Д), определяющим степень насыщенности. Предусматривается трехступенчатое изменение параметров воздуха в процессе сушки. Переход с первой ступени режима на вторую и со второй на третью производится при достижении материалом определенной, переходной влажности, табличные значения которой приняты равными 30 и 20 %. Для пиломатериалов с начальной влажностью свыше 60 % допускается для сокращения продолжительности сушки повышать первую переходную влажность до 35, а вторую — до 25 %, если опытными сушками установлено, что при этом сохраняется целостность древесины.

Отнесение режимов (см. табл. 7.3) к категориям мягких (М), нормальных (Н) и форсированных (Ф), а также их выбор для пиломатериалов различных пород и толщин регламентируются табл. 7.4. Данные табл. 7.4 относятся к пиломатериалам средней ширины. Для узких сортиментов (с отношением ширины к толщине менее 2) режим сушки выбирается по ближайшей меньшей группе толщин. Для широких сортиментов (с отношением ши-

нормальные и форсированные)

(t° С, Δt, φ) воздуха

5			6			7			8			9			10		
t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ
63	2	0,91	57	2	0,90	52	2	0,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—
67	5	0,78	61	5	0,78	55	4	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—
83	22	0,36	77	21	0,36	70	20	0,35	—	—	—	—	—	—	—	—	—
63	3	0,86	57	3	0,85	52	3	0,84	47	2	0,90	42	2	0,89	38	20	0,88
67	6	0,75	61	6	0,74	55	5	0,76	50	5	0,75	45	4	0,79	41	40	0,77
83	23	0,34	77	22	0,34	70	21	0,33	62	18	0,36	57	17	0,36	52	16	0,36
63	4	0,82	57	4	0,81	52	4	0,80	47	3	0,84	42	3	0,83	38	3	0,82
67	7	0,71	61	7	0,70	55	7	0,68	50	6	0,70	45	5	0,74	41	5	0,72
83	24	0,32	77	23	0,32	70	22	0,31	62	19	0,33	57	18	0,34	52	17	0,33
63	5	0,78	57	5	0,76	52	5	0,75	47	4	0,79	42	4	0,77	38	4	0,76
67	9	0,64	61	9	0,62	55	8	0,64	50	7	0,66	45	6	0,69	41	6	0,67
83	25	0,30	77	25	0,29	70	23	0,29	62	20	0,31	57	19	0,31	52	18	0,30
63	7	0,70	57	6	0,72	52	6	0,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—
67	11	0,58	64	10	0,59	55	9	0,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
83	27	0,28	77	26	0,27	70	24	0,27	—	—	—	—	—	—	—	—	—

рины к толщине более 6) назначается режим рекомендуемого номера, но предшествующего индекса (например, вместо режима 2-В режим 2-Б).

Высокотемпературный режим сушки пиломатериалов согласно ГОСТ 19773—74 (табл. 7.5), применяемый для пиломатериалов контрольной породы и размера, характеризуется его номером (от I до VII), определяющим уровень температуры и степени насыщенности.

Предусматривается двухступенчатое изменение параметров сушильного агента. Переход с первой ступени режима на вторую происходит при достижении древесиной переходной влажности 20 %. Для пиломатериалов с начальной влажностью выше 60 % допускается с целью сокращения продолжительности сушки повышать переходную влажность до 25 %, если опытными сушками установлено, что при этом сохраняется целостность древесины.

При составлении табл. 7.5 предполагалось использование в качестве сушильного агента перегретого пара атмосферного давления с температурой смоченного термометра (психрометра) $t_м = 100$ °С. Допускается снижение температуры $t_м$ до 96 °С. В этом случае соответственно снижается и температура сушильного агента с сохранением заданной режимом психрометрической разности.

Рекомендации по выбору высокотемпературных режимов сушки для пиломатериалов хвойных и мягких лиственных пород различной толщины согласно ГОСТ 19773—74 приведены в табл. 7.6. Сушка пиломатериалов твердых лиственных пород по высокотемпературным режимам не рекомендуется.

Режимы сушки пиломатериалов в паровых и газовых камерах непрерывного действия. В камерах с позонной поперечной циркуляцией, имеющих самостоятельную подготовку и регулирование параметров сушильного агента по зонам, рекомендуется применение режимов для камер периодического действия. В первой по ходу материала зоне (загрузочный конец камеры) под-

7.4. Рекомендации по выбору низкотемпературных режимов сушки

Порода	Категория режимов	Режим при толщине пиломатериалов, мм							
		до 22	св. 22 до 30	св. 30 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60 до 70	св. 70 до 85	св. 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-Б	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	—

7.5. Высокотемпературные режимы сушки пиломатериалов

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

7.6. Рекомендации по выбору высокотемпературных режимов сушки

Порода	Режим при толщине пиломатериалов, мм				
	до 22	св. 22 до 30	св. 30 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60
Сосна, ель, пихта, кедр	I	II	III	V	VI
Береза, осина	II	III	IV	VI	—
Лиственница	IV	V	VI	VII	—

держиваются параметры первой ступени режима, а в последней зоне (разгрузочный конец камеры) — параметры третьей ступени режима. В средних зонах камеры поддерживаются промежуточные параметры сушильного агента в соответствии с установленным (см. табл. 7.3) характером их изменения в зависимости от влажности материала.

В противоточных камерах сушильный агент готовится только перед подачей его в разгрузочный конец. Здесь режимы сушки, рекомендуемые для камер периодического действия, неприменимы, поэтому используются спе-

7.7. Режимы сушки пиломатериалов в противоточных камерах непрерывного действия

Номер и индекс режима	Конечная влажность древесины, %	Толщина пиломатериалов, мм	Состояние сушильного агента в разгрузочном конце камеры			Степень насыщенности в загрузочном конце (φ_2) при начальной влажности древесины, %	
			температура, по сухому термометру t, °С	психрометрическая разность Δt	степень насыщенности φ_1	>50	<50
Мягкие режимы ($t_м$ = 40° С)							
1-М	18—25	До 22	55	15	0,40	0,80	0,70
2-М		Св. 22 до 30	53	13	0,46	0,82	0,72
3-М		Св. 30 до 40	51	11	0,51	0,84	0,74
4-М		Св. 40 до 50	50	10	0,54	0,86	0,76
5-М		Св. 50 до 65	49	9	0,58	0,88	0,78
6-М		Св. 65 до 70	48	8	0,61	0,90	0,80
7-М	10—12	До 22	58	18	0,34	0,80	0,70
8-М		Св. 22 до 30	55	15	0,40	0,82	0,72
9-М		Св. 30 до 40	53	13	0,46	0,84	0,74
10-М		Св. 40 до 50	52	12	0,48	0,86	0,76
11-М		Св. 50 до 65	51	11	0,51	0,88	0,78
12-М		Св. 65 до 75	50	10	0,54	0,90	0,80
Нормальные режимы ($t_м$ = 67 °С)							
1-Н	18—25	До 22	92	25	0,34	0,75	0,65
2-Н		Св. 22 до 30	88	21	0,40	0,77	0,67
3-Н		Св. 30 до 40	85	18	0,45	0,79	0,69
4-Н		Св. 40 до 50	83	16	0,49	0,81	0,71
5-Н		Св. 50 до 65	81	14	0,53	0,83	0,73
6-Н		Св. 65 до 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		Св. 22 до 30	95	28	0,31	0,77	0,67
9-Н		Св. 30 до 40	92	25	0,34	0,79	0,69
10-Н		Св. 40 до 50	88	21	0,40	0,81	0,71
11-Н		Св. 50 до 65	85	18	0,45	0,83	0,73
12-Н		Св. 65 до 75	83	16	0,49	0,85	0,75
Форсированные режимы ($t_м$ = 75 °С)							
1-Ф	10—12	До 22	110	35	0,25	0,75	0,65
2-Ф		Св. 22 до 30	105	30	0,30	0,77	0,67
3-Ф		Св. 30 до 40	101	26	0,35	0,79	0,69
4-Ф		Св. 40 до 50	98	23	0,40	0,81	0,71
5-Ф		Св. 50 до 65	95	20	0,44	0,83	0,73
6-Ф		Св. 65 до 75	92	17	0,50	0,85	0,75

циальные режимы, характеризующиеся стабильным (для данного материала) состоянием сушильного агента в обоих концах камеры.

Основное назначение противоточных камер — сушка до транспортной влажности пиломатериалов мягких хвойных (сосна, ель, пихта, кедр) пород толщиной до 75 мм. Допускается также сушка пиломатериалов этих же пород и толщин до эксплуатационной влажности (10—12 %) по III категории качества пиломатериалов мягких лиственных пород (береза, осина).

Режимы сушки пиломатериалов в паровых и газовых противоточных камерах непрерывного действия согласно ГОСТ 18867—73 приведены в табл. 7.7, в которой регламентируется состояние (t; Δt; φ_1) сушильного агента перед входом его в штабель и степень насыщенности сушильного агента при выходе из штабеля (φ_2).

Непосредственно по табл. 7.7 назначаются режимы сушки пиломатериалов из древесины сосны, кедра и пихты. Для еловых пиломатериалов режимы назначаются по ближайшей меньшей группе толщин, а для пиломатериалов мягких лиственных пород — по ближайшей большей группе толщин.

Рекомендуется применение:

мягких режимов — для сушки пиломатериалов нулевой качественной категории до транспортной влажности (1-М — 6-М) и в специальных случаях, при высоких требованиях к прочности древесины для сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности по III категории качества (7-М — 12-М);

нормальных режимов — для сушки пиломатериалов внутрисоюзного потребления до транспортной (1-Н — 6-Н) или эксплуатационной (7-Н — 12Н) влажности по III категории качества;

форсированных режимов — для сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности по III категории качества в случаях, когда допускается снижение прочности древесины.

В одной камере разрешается одновременная сушка только однородных по характеристике (толщине, назначению и группе начальной влажности) пиломатериалов. При переводе на сушку пиломатериалов по новому режиму в камере во время пребывания материала двух разных характеристик поддерживается тот из двух режимов сушки, по которому установлена меньшая психрометрическая разность.

7.2.3. Загрузка камеры и начальный прогрев древесины

В камеру загружают штабеля, уложенные в соответствии с правилами укладки (см. параграф 7.1). Не допускается загрузка в камеру неполногабаритных штабелей.

Первой технологической операцией после загрузки является начальная обработка материала — прогрев. Во время прогрева в камеру подают пар через увлажнительные трубы при включенных калориферах, работающих вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных каналах. Сырую древесину прогревают в среде сушильного агента со степенью насыщенности 0,98—1. Температура сушильного агента должна быть при этом на 5 °С выше температуры начальной ступени режима сушки. При сушке высокотемпературными режимами температура при прогреве поддерживается около 100 °С.

Древесину с начальной влажностью ниже 25 % прогревают в среде сушильного агента, степень насыщенности которого при заданной температуре нагрева определяется по диаграмме равновесной влажности; при этом равновесная влажность принимается равной начальной влажности материала. Длительность прогрева обусловливается многими факторами (режимом сушки, скоростью циркуляции, тепловой мощностью камеры, давлением пара, характеристикой материала) и в каждом конкретном случае устанавливается в зависимости от местных условий. Ориентировочно она составляет (в неостывшей камере) для пиломатериалов мягких хвойных пород летом 1—1,5 ч, зимой 1,5—2 ч на каждый сантиметр толщины материала. Для пиломатериалов мягких лиственных пород длительность прогрева необходимо увеличивать на 25 %, а для пиломатериалов твердых пород — на 50 %.

7.2.4. Управление камерой

При управлении в камере поддерживают заданную по режиму температуру и степень насыщенности сушильного агента. Параметры сушильного агента регулируют вентилями на паровых магистралях, задвижками на приточно-вытяжных каналах и шиберами на газоходах.

В **паровых камерах** температуру сушильного агента регулируют, изменяя степень открытия вентилей на паропроводах. Для повышения степени насыщенности сушильного агента закрывают приточно-вытяжные каналы. Если необходимое повышение степени насыщенности не достигается, в камеру подают пар через увлажнительные трубы. Категорически запрещается пользоваться увлажнительными трубами при открытых приточно-вытяжных каналах. Для уменьшения степени насыщенности открывают приточно-вытяжные каналы и, если в камеру поступал пар через увлажнительные трубы, сначала их обязательно перекрывают.

В **газовых камерах** температуру сушильного агента регулируют, изменяя степень открытия шибера на газоходе, подающем газы из топки. Степень насыщенности сушильного агента регулируют, увеличивая или уменьшая приток свежего воздуха. Для повышения степени насыщенности задвижку приточного канала закрывают, а для снижения — открывают. Чтобы не было подсоса свежего воздуха через неплотности ограждений, в камере поддерживают несколько повышенное давление. Для этого прикрывают вытяжной канал. Если камера оборудована паровой увлажнительной системой, для повышения степени насыщенности, как и в паровой камере, в сушильное пространство подают пар через увлажнительные трубы.

Контроль за режимом сушки и состоянием материала. За состоянием сушильного агента после пуска газовой камеры в работу первые 10 мин наблюдают непрерывно, а затем через 10—15 мин воздействуют по мере необходимости на шибера и задвижки. Показания контрольных приборов записывают в журнал каждый час. При изменении числа работающих камер в газоходах сушильного блока изменяется разрежение, поэтому в процессе пуска и остановки камер необходимо внимательно следить за состоянием сушильного агента во всех остальных работающих камерах блока.

Максимально допустимые установившиеся отклонения параметров воздуха от заданных по режиму регламентируются ГОСТ 18867—73 и ГОСТ

19773—74. Отклонение степени насыщенности сушильного агента в камере от заданной по режиму опаснее, чем отклонение температуры. Поэтому, когда температура по независящим от обслуживающего персонала причинам колеблется, поддерживают заданную психрометрическую разность. При прекращении подачи пара (газа) или аварийной остановке камеры закрывают приточно-вытяжные каналы.

В камерах периодического действия контроль за режимом сушки и его регулирование ведут по состоянию сушильного агента, поступающего в штабель.

В начале каждой смены оператор (в зависимости от текущей влажности материала) устанавливает и записывает в журнал заданное режимное состояние сушильного агента на всю последующую смену.

В камерах непрерывного действия режим сушки контролируют и регулируют по состоянию сушильного агента в разгрузочном конце камеры. В загрузочном конце контролируют степень насыщенности сушильного агента дистанционным психрометром периодически перед каждой выгрузкой штабелей. При отсутствии в загрузочном конце стационарного психрометра допускается контроль параметров среды переносным психрометром. Состояние сушильного агента контролируют непосредственно при выходе его из последнего штабеля. Если фактическая степень насыщенности оказывается ниже заданной, количество циркулирующего в камере воздуха необходимо уменьшить, а если выше заданной — увеличить.

Во время сушки периодически контролируют текущую влажность древесины и внутренние напряжения в ней. Текущая влажность определяется по контрольным образцам:

при сушке тонких пиломатериалов хвойных пород в начальной стадии процесса через каждые 8 ч, а в конечной стадии — через 12 ч;

при сушке пиломатериалов лиственных пород и толстых пиломатериалов хвойных пород в начальной стадии процесса через 12 ч, а в конечной стадии — через 24 ч.

Значение текущей влажности записывают в журнал. По ней судят о возможности перехода на следующую ступень режима или об окончании процесса. Время перехода с одной ступени режима на другую устанавливают по влажности медленно сохнущего образца, а время окончания сушки — по средней влажности образцов, заложенных в штабель.

Как правило, контрольные образцы высыхают быстрее, чем материал в штабеле. Разница между влажностью контрольных образцов и материала к концу сушки в среднем достигает 2—3 %. Это следует принимать в расчет при определении времени окончания сушки.

Для контроля за полными внутренними напряжениями в штабель одновременно с контрольными образцами влажности закладывают (в быстросохнущие места) один-два образца примерно такой же длины, что и образцы для определения влажности (1—1,2 м). Торцы образцов покрывают густой масляной краской, на расстоянии 10 см от торцов в нужные моменты отпиливают торцовые срезы, из которых вырезают на ленточнопильном станке силовой образец. О знаке и примерной величине напряжений судят по направлению и величине изгиба зубцов. Изгиб зубцов наружу указывает на наличие растягивающих, а изгиб внутрь — сжимающих напряжений в по-

верхностных зонах доски. Свежие пропилы силовых образцов после отпиливания каждого торцового среза вновь покрывают масляной краской.

Если необходимо контролировать перепад влажности по толщине материала, из силового образца рядом с силовой секцией выпиливают секцию послойной влажности.

7.2.5. Влаготеплообработка древесины

Для снятия или уменьшения остаточных внутренних напряжений, возникающих в древесине при сушке, проводят конечную и промежуточную влаготеплообработку пиломатериалов в среде повышенной влажности и температуры. Для этого подают насыщенный водяной пар из увлажнительной системы в сушильное пространство камеры периодического действия или в пропарочный отсек камеры непрерывного действия. Если сушильные камеры не оборудованы увлажнительными системами и отсеками, конечная влаготеплообработка выгруженных из них пиломатериалов может производиться в специально предназначенных для этого пропарочных камерах.

Влаготеплообработке подвергаются все пиломатериалы, высушиваемые по I и II категориям качества сушки, а также частично, в зависимости от назначения пиломатериалов, высушиваемых по III категории.

Конечная влаготеплообработка проводится после достижения древесиной заданной средней конечной влажности. Во время конечной обработки температура среды в сушильной камере поддерживается в среднем на 8 °С выше температуры последней ступени режима сушки (но не выше 100 °С). Степень насыщенности среды устанавливается равной 0,98—1. Ориентировочная продолжительность конечной влаготеплообработки пиломатериалов, высушиваемых по I и II качественным категориям, приведена в табл. 7.8.

Для пиломатериалов, высушиваемых по III категории качества, продолжительность конечной влаготеплообработки в 2 раза меньше указанной в табл. 7.8. Промежуточной влаготеплообработке подвергаются пиломатериалы тех толщин, которые для разных пород отмечены в табл. 7.8 значком *. Во время этой обработки, которая проводится при переходе со второй на третью ступень режима низкотемпературной сушки или с первой на вторую ступень высокотемпературной сушки, температура среды поддержива-

7.8. Продолжительность конечной влаготеплообработки

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

ется на 8 °С выше температуры предшествующей ступени режима. Во всех случаях промежуточной обработки температура среды не должна превышать 100 °С. Степень насыщенности устанавливается в пределах 0,95—0,97. Продолжительность промежуточной влаготеплообработки уменьшается по сравнению с продолжительностью конечной в 2 раза. При сушке специальных сортиментов трудносохнущих пород возможно проведение многократных промежуточных обработок.

После конечной влаготеплообработки все пиломатериалы выдерживают в камере в течение 2—3 ч при параметрах последней ступени режима сушки. Затем прекращают подачу пара, останавливают вентилятор и охлаждают материал в камере до 30—40 °С при открытых приточно-вытяжных каналах, а затем при полуоткрытых дверях. Ориентировочная продолжительность охлаждения составляет 1 ч на каждый сантиметр толщины материала. Выкатка из камеры штабелей с неостывшими пиломатериалами, особенно зимой, не допускается.

7.2.6. Кондиционирующая обработка древесины

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

Во время кондиционирующей обработки температура среды по сухому термометру устанавливается в среднем на 5 °С выше температуры последней ступени режима, но не выше 100 °С. Степень насыщенности должна соответствовать (по диаграмме равновесной влажности) средней заданной конечной влажности древесины, увеличенной на 1 %.

Продолжительность кондиционирующей обработки зависит от многих факторов и назначается в соответствии с категорией качества сушки, а также особенностями камеры и материала. Для пиломатериалов I категории качества кондиционирующая обработка обязательна. Ее продолжительность ориентировочно равна продолжительности конечной влаготеплообработки.

7.3. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ СУШКИ

7.3.1. Транспортная и эксплуатационная влажность пиломатериалов и заготовок

При массовой сушке товарных пиломатериалов на лесопильных предприятиях основной целью является обеспечение сохранности пиломатериалов на период их хранения и транспортирования от биологического разрушения, гниения.

На основании исследований [по 2] установлено, что хвойная древесина не поражается деревоокрашивающими грибами при влажности 22 % и ниже. Отсюда установлена предельная влажность досок в партии отправленных пиломатериалов 22—23 %. В табл. 7.9 приведены требования к влажности

7.9. Влажность изделий из древесины, регламентируемая стандартами

Изделие	Требуемая влажность	Стандарт
Пиломатериалы хвойных пород	Для пиломатериалов отборного, 1-го, 2-го и 3-го сортов, поставляемых с 1 мая по 1 октября, должна быть не более 22±3 %; для пиломатериалов 4-го сорта не нормируется	ГОСТ 8486—66
Пиломатериалы лиственных пород	Не более 22 %	ГОСТ 2695—71
Пиломатериалы авиационные (бруски и доски)	Не более 20 %	ГОСТ 968—68
Пиломатериалы хвойных пород черноморской сортировки	Не более 22 %	ГОСТ 9302—77
Заготовки из древесины хвойных пород	Для пиленых заготовок не более 22 %, клееных и калиброванных заготовок для паркетных покрытий должна соответствовать влажности деталей	ГОСТ 9685—61
Заготовки из древесины лиственных пород	Должна соответствовать влажности деталей, установленной стандартами или техническими условиями. С согласия потребителя допускается поставка пиленых заготовок повышенной влажности, но не более 22 %	ГОСТ 7897—71
Заготовки авиационные хвойных пород	Не более 15 %. По соглашению сторон допускается поставка антисептированных заготовок с влажностью древесины не более 20 %	ГОСТ 2646—71
Заготовки авиационные лиственных пород	Не более 15 %	ГОСТ 2996—79
Заготовки деревянные резонансные для музыкальных инструментов	Не более 20 %	ГОСТ 6900—69
Заготовки деревянные для весел	Не более 22 %	ГОСТ 12457—77
Брусья переводные деревянные клееные для железных дорог широкой колеи	Не более 18 %	ГОСТ 9371—76
Траверсы деревянные для воздушных линий связи	Не более 22 %	ГОСТ 4767—70
Детали деревянные сельскохозяйственных машин	Для древесины неокрашенных деталей не более 18 %, кроме брусков, влажность которых не должна быть более 22 %	ГОСТ 7072—71
Заготовки лыжные	Размеры заготовок установлены для древесины с влажностью 15 %	ГОСТ 48—76

Изделие	Требуемая влажность	Стандарт
Бочки для вин, соков и морсов	Для древесины клепки при сборке бочек не более 18 %	ГОСТ 248—75
Бочки деревянные для пива	То же	ГОСТ 4972—75
Бочки из клееной клепки для вин, соков, морсов и пива	Для древесины клепки при сборке бочек должна быть 12—15 %	ГОСТ 10824—64
Бочки фанерно-штампованные	Для древесины клепки не более 12 %	ГОСТ 5958—79
Бочки деревянные заливные со съемным дном для продовольственных товаров	Для древесины клепки собранного остова и коренного дна не более 9 %	ГОСТ 11288—65
Клепка для деревянных заливных и сухотарных бочек	При сдаче клепки с 1 апреля по 1 октября не более 22 %, а в остальное время не нормируется	ГОСТ 8821—75
Барабаны деревянные для электрических кабелей и проводов	Не более 22 %	ГОСТ 5151—79Е
Щиты деревянные для перекрытий в жилых и общественных зданиях	Не более 25 %	ГОСТ 1005—68
Щиты деревянные для междукомнатных перегородок	То же	ГОСТ 1006—68
Балки деревянные с черепными брусками	»	ГОСТ 4981—78
Ящики дощатые неразборные для кондитерских изделий	Не более 18 %	ГОСТ 13357—67
Ящики дощатые неразборные для товаров пищевой промышленности	Не более 20 %. Влажность дощечек и планок ящиков для маргарина и макаронных изделий не более 18 %	ГОСТ 13360—79
Тара для упаковки хлопчатобумажной пряжи	Для разборных ящиков не более 18 %, для неразборных — 20 %	ГОСТ 8242—75
Детали деревянные, фрезерованные для строительства	12±3 %	ГОСТ 8242—75
Детали и изделия деревянные для малоэтажных жилых и общественных зданий	В строганых деталях внутри помещения — 15 %; то же, снаружи помещения — 18 %; в нестроганых деталях — 22 %	ГОСТ 11047—72
Доски подоконные деревянные	9—15 %. Для древесины заделок (пробок) на 2—3% меньше нормированной влажности древесины, подлежащей заделке	ГОСТ 17280—71

Продолжение

Изделие	Требуемая влажность	Стандарт
Ворота деревянные распашные для животноводческих и птицеводческих зданий	Не более 18 %, а для древесины заделок на 2—3 % ниже влажности деталей	ГОСТ 18853—73
Ящики дощатые неразборные для мясной, молочной и птицеводческой продукции	Не более 20 %; дощечек и планок ящиков или комплектов для сливочного масла не более 18 %	ГОСТ 13361—78Е
Ящики дощатые многооборотные для оконного стекла	Для деталей ящиков не более 20 %	ГОСТ 12913—67
Ящики дощатые и фанерные многооборотные разборные, неразборные и складные для продовольственных товаров	Для дощечек, планок или комплектов ящиков не более 18 %	ГОСТ 11354—77
Ящики дощатые неразборные	То же, не более 20 %	ГОСТ 2991—76
Обрешетки дощатые разборные и неразборные для грузов массой до 200 кг	Не более 22 %	ГОСТ 12082—77
Окна и двери деревянные	Для коробок наружных и тамбуров дверей 12±3 %, внутренних дверей и дверных полотен 9±3 %	ГОСТ 475—78
Плиты столярные	8±2 %	ГОСТ 13715—78
Паркет штучный	Для планок 9±3 %	ГОСТ 862.1—76
Паркет мозаичный	9±3 %	ГОСТ 862.2—76
Паркетные доски	8±2 %	ГОСТ 862.3—77
Паркетные щиты	8±2 %	ГОСТ 862.4—77
Мебель бытовая	Для деталей не более 8±2 %; вставных шипов из древесины твердых пород, березы или фанеры не более 6 %	ГОСТ 16371—77

пиломатериалов, заготовок и изделий из древесины соответственно стандартам. Как видно из таблицы, в большинстве случаев для пиломатериалов и заготовок предельная влажность устанавливается не более 22 %. Так как при сушке штабеля наблюдается разброс влажности относительно средней, чтобы влажность отдельных досок не превышала предельную (22—23 %), штабель необходимо высушивать до более низкой влажности.

По экспериментальным данным ЦНИИМОДа [4], фактическое распределение влажности пиломатериалов, высушенных до транспортной влажности, по объему штабелей при атмосферной и камерной сушке в основном близко к нормальному и его можно характеризовать средним значением влажности $W_{ср}$ и величиной ее среднего квадратического отклонения σ_W. Пример кривых распределения влажности в партии высушенных пиломатериалов приведен на рис. 7.3.

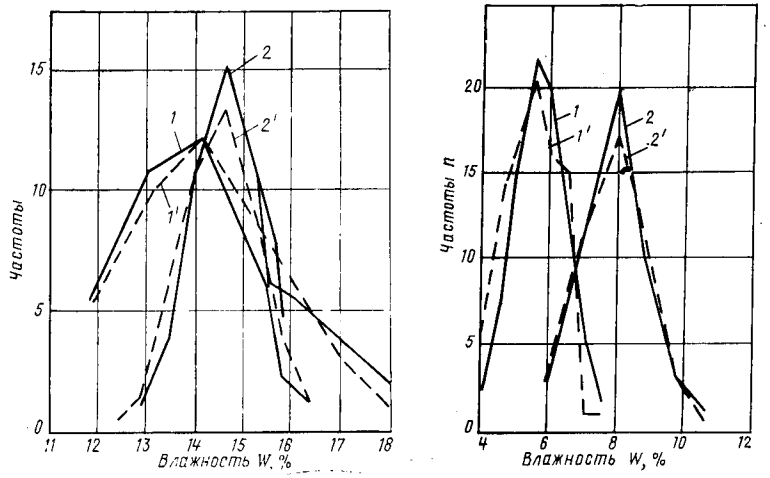


Рис. 7.3. Кривые распределения влажности в партии пиломатериалов при сушке до транспортной влажности:
1, 1′ — фактическая и расчетная при атмосферной сушке; *2* и *2′* — то же в камерах «Valmet»

Рис. 7.4. Кривые распределения влажности в партии пиломатериалов при сушке:
1 и *1′* — в эжекционных камерах; *2, 2′* — в камере СПВ-62

При атмосферной и камерной сушке пиломатериалов среднее квадратическое отклонение зависит от влажности партии. Например, среднее квадратическое отклонение при атмосферной сушке до средней влажности 18 % составляет ±1,5 %, а при сушке в камерах непрерывного действия «Valmet» до той же влажности ±2 %, что с вероятностью 95 % обеспечивает влажность досок в партии 15—21 % или 14—22 %. В этом случае показатели равномерности сушки удовлетворяют нормам, по которым при сушке до транспортной влажности по нулевой категории качества материал необходимо высушить до 19 % влажности при допустимых отклонениях ±3—4 %. Следовательно, для обеспечения необходимой равномерности влажности пиломатериалов, высушиваемых до транспортной влажности, можно рекомендовать сушку до 18—19 %.

Эксплуатационная влажность древесины зависит от условий эксплуатации деталей и изделий и изменяется в широких пределах. Климатические условия эксплуатации (среднегодовая температура и относительная влажность воздуха) определяют требования к влажности древесины пиломатериалов и заготовок, идущих на изготовление изделий. Из табл. 7.9 видно, что средняя эксплуатационная влажность изменяется от 6 до 15 %.

Как правило, пиломатериалы для столярно-строительных изделий, мебели и т. п. сушат в камерах периодического действия. В этих камерах распределение конечной влажности по объему штабеля хорошо описывается кривыми нормального распределения (рис. 7.4), поэтому разброс влажности можно характеризовать величиной среднего квадратического отклонения σ.

7.3.2. Требования к качеству сушки и методы контроля показателей качества

В зависимости от назначения высушиваемых пиломатериалов устанавливают четыре категории качества камерной сушки пиломатериалов и заготовок: I, II, III, 0. По I, II, III категориям качества предусматривают сушку пиломатериалов (заготовок) до производственной влажности, соответствующей уровню минимального предела эксплуатационной влажности готовых изделий. При этом: I категория качества сушки должна обеспечивать возможность механической обработки и сборки деталей по ГОСТ 6449—76 для высокоточных ответственных соединений, влияющих на эксплуатационные показатели изделий (некоторые соединения механики клавишных инструментов, точное машиностроение и приборостроение, производство моделей, лыж и т. п.);

II категория качества сушки должна обеспечивать механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449—76 для ответственных соединений, от которых зависит качество изделий (мебельное производство, столярно-строительные изделия ответственного назначения, футляры для радио- и телеаппаратуры, корпуса клавишных инструментов, пассажирское вагоно- и автостроение и т. п.);

III категория качества сушки должна обеспечивать механическую обработку и сборку деталей по ГОСТ 6449—76 для менее ответственных деталей (столярно-строительные изделия, товарное вагоностроение, сельхозмашиностроение, рядовая тара и т. п.).

По нулевой категории качества предусматривают сушку пиломатериалов (заготовок) до транспортной влажности, в том числе пиломатериалов по ТУ 13-316—76.

7.10. Требования к качеству сушки пиломатериалов и заготовок

Категория качества сушки	Средняя конечная влажность древесины, %	Допускаемые отклонения конечной влажности в партии от средней, %	Допускаемый перепад влажности, %, по толщине материала при его толщине, мм				Остаточные напряжения (по отношению деформации зубцов силовой секции), %	Уменьшение прочности древесины
			13—22	25—40	45—60	70—90		
0	19	±3—4	Не контролируется				Не контролируются	Не допускается
I	6 8	±1,5 ±2,0	1,5	2,0	2,5	3,0	Не более 2	То же
II	6 8 10	±2,0 ±2,5 ±3,0	2,0	3,0	3,5	4,0	То же	В зависимости от назначения пиломатериалов
III	8 10 12 15	±3,0 ±4,0 ±5,0 ±5,0	2,5	3,5	4,0	5,0	Не контролируются	То же

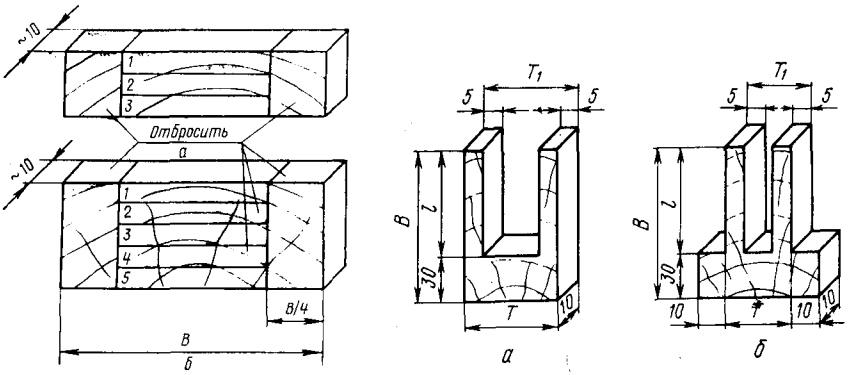


Рис. 7.5. Секции послойной влажности:

а — для пиломатериалов толщиной до 32 мм; *б* — для пиломатериалов толщиной свыше 32 мм; *В* — ширина доски

Рис. 7.6. Силовые образцы:

а — для пиломатериалов толщиной до 40 мм; *б* — для пиломатериалов толщиной более 40 мм; *В* — ширина доски

К показателям качества сушки относятся:

соответствие средней влажности высушенной партии материала заданной конечной влажности;

отклонения влажности высушенных пиломатериалов или заготовок от средней влажности партии;

перепад влажности по толщине материала;

напряжения в высушенном материале.

Для определения средней влажности партии из контролируемого штабеля при разборке отбирают минимум девять досок из различных зон, в том числе из зон быстрого и замедленного просыхания, устанавливаемых предприятием для каждой камеры. Из каждой отобранной доски на расстоянии 10-кратной ее толщины от торцов вырезают два торцовых среза размером вдоль волокон 10 мм и определяют их влажность. Влажность партии вычисляют как среднее арифметическое из полученных значений влажности отобранных досок. Чтобы ошибка при определении средней влажности не превышала 1—2 % в зависимости от категории качества, число секций для штабеля принято равным 18.

Для контроля влажности пиломатериалов после сушки допускается использовать влагомеры. Величина допустимых отклонений влажности (табл. 7.10) принята равной $\pm 2\sigma$, где σ — среднее квадратическое отклонение. При этом с вероятностью 95 % обеспечивается нахождение влажности досок в партии в границах $W_{ср} \pm 2\sigma$. Средняя квадратическая погрешность влажности

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

где W_i — влажность отдельных секций, %; $W_{ср}$ — средняя влажность партии, %; n — число секций.

Перепад влажности по толщине материала контролируют по I, II и III категориям качества. Из отобранной доски рядом с секцией для определения общей влажности выпиливают секцию для определения послойной влажности (рис. 7.5). Эту секцию раскалывают для досок толщиной до 32 мм по схеме на рис. 7.5, *а*; для досок толщиной свыше 32 мм — по схеме на рис. 7.5, *б*. Разница во влажности боковых (взвешиваемых вместе) и средней полосок показывает перепад влажности.

Остаточные напряжения контролируют в пиломатериалах, высушиваемых по I и II категориям качества. Из трех-четырех отобранных досок рядом с секцией послойной влажности выпиливают два торцовых среза размером вдоль волокон 10 мм. Из срезов после выравнивания их влажности путем выдержки в сушильном шкафу при температуре 103±2 °С в течение 2—3 ч выпиливают силовые образцы (рис. 7.6). При толщине материала менее 40 мм ограничиваются выпиливанием одного образца (рис. 7.6, *а*).

Для пиломатериалов I и II категорий качества относительное отклонение зубцов секций f (в вершине) от нормального положения не должно превышать 1,5—2 % длины зубца. Это отклонение измеряется индикаторной скобой или микрометром и характеризуется отношением $f=[(T-T_1)/2l]100$.

7.4. ДЕФЕКТЫ СУШКИ И МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ИХ СНИЖЕНИЯ

7.4.1. Видимые дефекты

При камерной сушке к видимым дефектам, снижающим качество пиломатериалов, относятся: растрескивание, коробление (основной дефект), а также выпадение сучков, выплавление смолы, изменение цвета древесины, плесень и синева.

Растрескивание пиломатериалов происходит: из-за несоблюдения или неправильно выбранного слишком жесткого режима сушки; различной величины усушки древесины в тангенциальном и радиальном направлениях; более интенсивной сушки торцов по сравнению со средней зоной сортимента.

Пластевые и кромочные трещины образуются вследствие чрезмерно интенсивного испарения влаги с поверхности при излишне жестком режиме в первый период сушки, когда наружные слои пересыхают и внутренние напряжения растяжения в них превосходят предел прочности.

Поверхностные трещины обычно углубляются и расширяются до момента перемены знака внутренних напряжений. После этого момента трещины начинают закрываться и в конце сушки могут быть незаметны. Прочность пиломатериалов понижается. Наружному растрескиванию больше подвержены сердцевинные доски, в которых образуются радиально направленные трещины (боковые), выходящие на боковую поверхность. Торцовые трещины — следствие высокой влагопроводности древесины вдоль волокон. Торцы пиломатериалов испаряют влагу интенсивнее, чем остальная их поверхность. Понижение влажности в торцах вызывает их усушку, вследствие чего возникают внутренние напряжения растяжений, которые являются причиной образования трещин.

Коробление обусловлено неодинаковой усушкой в радиальном и тангенциальном направлениях. На величину коробления влияют косослой и крень, вызывающие скручивание и продольное коробление материала. Особенно подвержены короблению широкие доски. Если они сжаты вышележащим материалом и не могут коробиться, они дают трещины по лицевой пласти. Неправильная и небрежная укладка пиломатериалов в штабель способствует короблению. Так, при разной толщине досок и прокладок многие доски не зажимаются и просыхают в свободном состоянии. Вследствие разной степени

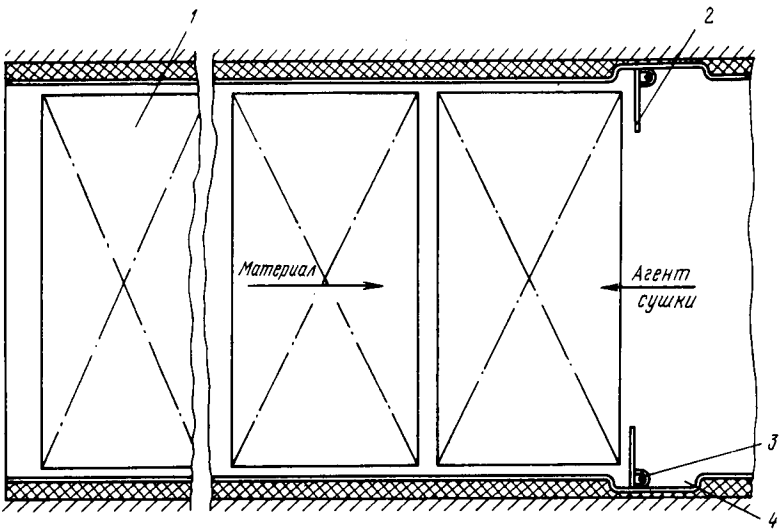


Рис. 7.7. Схема установки приторцовых экранов в камере непрерывного действия:
1 — штабель; *2* — поворотный приторцовый экран; *3* — упругий элемент; *4* — ниша в стенке камеры

усушки по сечению незажатые доски коробятся в поперечном направлении. Когда велики расстояния между прокладками и доски выравниваются только в одном конце штабеля, к поперечному короблению добавляется продольное коробление свободно свисающих концов и не зажатых прокладками участков досок.

Выпадение и ослабление сучков, выплавление смолы, изменение цвета древесины, появление на пиломатериалах плесени и синевы не распространены, поэтому специальных средств по их предупреждению нет. Например, выпадения и ослабления сучков не произойдет, если пиломатериал сушить мягкими низкотемпературными режимами, не пересушивая его. Мягкими режимами предупреждают также выплавление смолы и изменение цвета древесины, а появление на пиломатериалах плесени и синевы предотвращают при сушке режимами с температурой по смоченному термометру >40 °С в начале процесса.

7.4.2. Мероприятия для предупреждения и снижения растрескивания и коробления

Правильный выбор и соблюдение режима сушки — одно из основных условий, предупреждающих растрескивание пиломатериалов, особенно образование наружных и внутренних трещин. При этом обязательно соблюдение и правильное проведение начальной, промежуточных и конечной тепловлагообработок древесины в зависимости от назначения высушиваемых пиломатериалов.

Предупредить торцовое растрескивание можно путем уменьшения испарения влаги с торцов пиломатериалов. Для этого надо тщательно выравнивать при укладке торцы штабеля, а крайние прокладки укладывать заподлицо с торцами досок. При сушке толстых и широких досок, особенно твердых лиственных пород и лиственницы, рекомендуется замазывать торцы влагонепроницаемыми составами: масляными густотертыми красками (белила, охра, сурик), эмульсиями, специальными замазками. Например, для ручного и механизированного замазывания торцов рекомендуется состав: ацетон — 77 %, перхлорвиниловая смола — 15 %, канифоль (или канифольные масла) — 8 %. Хорошие результаты также дает 50 %-ная поливинилацетатная эмульсия ПВАЭ.

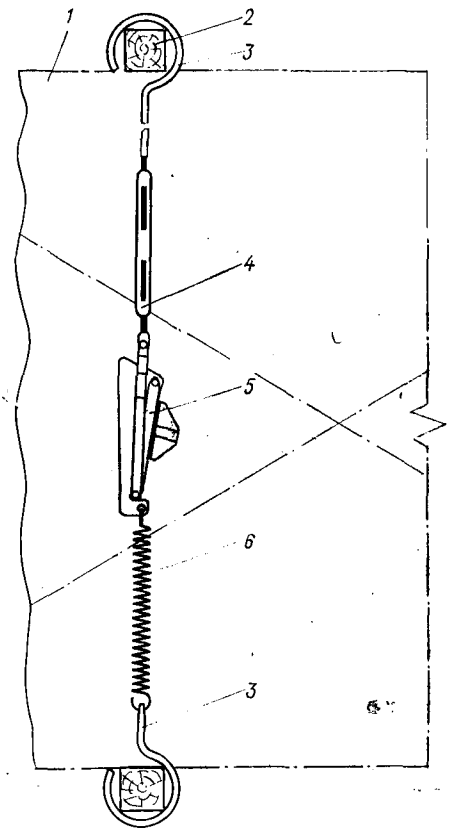


Рис. 7.8. Зажимное устройство:
1 — штабель; *2* — брус; *3* — тяги; *4* — талреп; *5* — замок; *6* — пружина

При продольном закатывании штабелей в камеру можно рекомендовать межторцовый коврик из поролона или губчатой термостойкой резины, который закрепляется на торце штабеля и во время транспортировки в камере зажимается между торцами двух смежных штабелей. В камерах непрерывного действия с поперечным закатыванием штабелей число торцовых трещин снижается, как показали исследования ЦНИИМОДа, при использовании приторцовых экранов в разгрузочном конце камеры (рис. 7.7).

Экраны закрывают приторцовые части штабелей примерно на 0,8—1 м с обеих сторон, препятствуя их обдуванию сушильным агентом и предохра-

няя от пересыхания, а следовательно уменьшая вероятность растрескивания. При установке таких экранов доски по длине высыхают более равномерно.

Основное средство предупреждения и уменьшения коробления — правильная укладка пиломатериалов в штабеля для камерной сушки (см. параграф 7.1). Для предупреждения коробления нижних рядов достаточно укладывать каждый штабель на прочное, жесткое горизонтальное основание (применять подштабельные тележки).

Верхние ряды для предотвращения коробления необходимо зажимать. Можно использовать груз, обеспечивающий равномерное давление на штабель (в зависимости от его размеров и толщины пиломатериалов выбирают груз 1,5—2,5 т). ЦНИИМОДом предложены пружинные стяжки, которые и при усадке штабеля в процессе сушки надежно зажимают верхние ряды пиломатериалов (рис. 7.8). Пружинные стяжки не сложны по конструкции, поэтому их можно изготовить в любой механической мастерской деревообрабатывающих предприятий. Пружина, одна из основных деталей зажимного устройства, обеспечивает постоянное сжатие штабеля во время сушки. Каждая пружина давит на штабель силой примерно 1000 Н. Число устанавливаемых зажимных устройств зависит от толщины высушиваемого материала и длины штабеля. По мере усушки по высоте давление на штабель уменьшается, но он все время находится в зажатом состоянии. Это обеспечивается соответствующей длиной пружины. На штабель общепринятых размеров (6,8×1,8×2,6 м) при сушке хвойных пиломатериалов необходимо устанавливать минимум шесть стяжек (по три с каждой стороны).

Ленинградская лесотехническая академия для сжатия штабелей во время сушки рекомендует специальные пневмоприжимы [24]. Для этого в камере над штабелем устанавливают специальные пневмоцилиндры, соединенные с прижимной рамкой, которая прижимается к штабелю после подачи сжатого воздуха в пневмоцилиндры с заданным усилием. Хотя эта система и проста по принципу действия, но ее трудно устанавливать в действующих камерах. Поэтому можно ее рекомендовать проектным институтам при разработке новых камер.

7.5. ХРАНЕНИЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ СУШКИ

Сухие пиломатериалы должны храниться в крытых складах, в которых необходимо поддерживать определенные температурно-влажностные условия. Режим хранения назначается в зависимости от требуемой конечной влажности пиломатериалов, категории качества сушки и длительности их хранения на складе. Температуру и относительную влажность (степень насыщенности) воздуха в помещении склада поддерживают отопительно-вентиляционной системой, кондиционирующими установками. В отопительный период температура на складе должна быть не менее 5 °С.

С учетом верхнего отклонения конечной влажности партии и гистерезиса сорбции при положительных температурах окружающей среды в среднем 10—20 °С относительная влажность воздуха в помещении склада не должна превышать указанную в табл . 7.11. Например, для пиломатериалов, высушенных по II категории качества до 8 %, при хранении свыше 3 мес допустимая относительная влажность воздуха в складе равна 55 %. По диа-

7.11. Наибольшая допустимая относительная влажность воздуха в помещении склада

Категория качества сушки	Конечная влажность пиломатериала $W_к$, %	Относительная влажность воздуха, %, при длительности хранения, мес		
		до 1	от 1 до 3	свыше 3
0	19	90	85	80
I	6	55	50	45
	8	65	60	55
II	6	55	50	45
	8	65	60	55
	10	75	70	65
III	8	70	60	55
	10	80	70	65
	12	85	80	75

грамме равновесной влажности при средней температуре 15 °С равновесная влажность равна 10,5 %. Следовательно, пиломатериалы с влажностью 8 % в данном случае не увлажняются, так как устойчивая влажность равна 10,5—2,5=8 %, где 2,5 % — величина гистерезиса сорбции.

При меньших сроках хранения в связи с малой скоростью увлажнения древесины относительную влажность воздуха можно увеличить, что и показано в табл. 7.11. При контроле за фактической относительной влажностью приведенные в табл. 7.11 данные сравнивают со средними ее значениями за неделю.

Сухие пиломатериалы при хранении укладывают в плотные пакеты, ширина и высота которых должна соответствовать параметрам подъемно-транспортных средств. По высоте ряды пакетов разделяют межпакетными прокладками. Между смежными пакетами каждого ряда оставляют зазоры не менее 100 мм. Из пакетов формируют штабеля, укладывая их на горизонтальный фундамент высотой не менее 0,2 м от пола.

Штабель формируют из пиломатериалов одной породы, толщины и одного сорта и снабжают паспортом, где указывают породу древесины, размеры пиломатериалов, их влажность в момент укладки, ее дату.

Перед подачей в производство или отгрузкой заказчику влажность пиломатериалов проверяют в соответствии с ГОСТ 16588—71.

ГЛАВА 8. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СУШКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КАМЕР. ПЛАНИРОВАНИЕ И УЧЕТ В ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХАХ

Методы расчета продолжительности камерной сушки пиломатериалов разработаны Московским лесотехническим институтом [22, 30].

В связи со спецификой низко- и высокотемпературных процессов и особенностями сушки в камерах периодического и непрерывного действия ме-

тоды расчета продолжительности процесса разработаны применительно к трем основным случаям:

низкотемпературный процесс сушки в паровых и газовых камерах периодического действия;

высокотемпературный процесс сушки в паровых камерах периодического действия;

низкотемпературный процесс сушки в паровых и газовых камерах непрерывного действия с противоточной циркуляцией.

Рассчитывают продолжительность собственно сушки. Для определения полной продолжительности процесса к найденной величине прибавляют длительность начального прогрева и влаготеплообработок. МЛТИ разработал укрупненный метод определения продолжительности с помощью таблиц и коэффициентов. Этот метод рекомендуется для расчета производительности камер, составления календарных планов работы сушильных цехов.

8.1. УКРУПНЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

8.1.1. Определение продолжительности низкотемпературной сушки в камерах периодического действия

Общая продолжительность сушки, включая начальный прогрев, и влаготеплообработки (ч)

$$\tau = \tau_{исх} A_р A_ц A_к A_в, \qquad (8.1)$$

где $\tau_{исх}$ — исходная продолжительность сушки пиломатериалов заданных породы, толщины S_1 и ширины S_2 по нормальным режимам в камерах с принудительной реверсивной циркуляцией средней интенсивности (расчетная скорость воздуха 1 м/с, ширина штабеля 1,5—2 м) от начальной влажности 60 % до конечной влажности 12 % (табл. 8.1); $A_р$ — коэффициент, учитывающий жесткость применяемого режима сушки; $A_ц$ — коэффициент, учитывающий характер и интенсивность циркуляции воздуха в камере (определяется по табл. 8.2 в зависимости от произведения $\tau_{исх} A_р$ и типа камер); $A_к$ — коэффициент, учитывающий категорию качества сушки и характеризующий среднюю длительность влаготеплообработок; $A_в$ — коэффициент, учитывающий начальную и конечную влажность древесины (табл. 8.3).

Значения коэффициента $A_р$

Группа режимов	Форсированные (Ф)	Нормальные (Н)	Мягкие (М)
$A_р$	0,8	1	1,7

Значения коэффициента $A_к$

Категории качества	I	II	III	0
$A_к$	1,25	1,15	1,05	1

Установлены четыре группы значений $A_ц$ для камер следующих типов:

с мощной реверсивной циркуляцией: ЛТА-Гипродрев, СПВ-62, СПЛК-2, СПМ-2К, «УРАЛ-72» и аналогичные им (скорость по штабелю 2 м/с);

8.1. 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
Сосна, ель, пихта, кедр				
До 16	25	27	29	31
19	31	33	35	37
22	37	40	43	46
25	48	51	54	57
32	70	75	80	85
40	85	90	95	100
50	100	105	110	120
60	120	130	140	160
70	140	155	175	210
75	155	180	210	260
100	230	280	350	465
Осина, липа, тополь				
До 16	29	31	33	35
10	36	39	42	45
22	43	46	49	52
25	60	64	68	72
32	80	90	95	100
40	95	100	105	115
50	110	117	125	135
60	130	145	165	190
75	175	210	255	310
Бук, клен, берест, ясень, ильм				
До 16	53	56	59	62
19	60	64	68	72
22	70	75	80	85
25	95	100	105	110
32	112	118	125	135
40	135	145	160	180
50	185	210	240	280
60	250	300	360	430
75	400	480	580	700

Толщина пиломатериалов S_1, мм	Ширина пиломатериалов S_2, мм			
	80—100	110—130	140—180	более 180
Лиственница				
До 16	58	61	64	67
19	65	70	75	80
22	80	85	90	95
25	100	105	110	115
32	135	140	145	155
40	160	170	190	220
50	215	240	280	340
60	320	380	450	550
70	500	600	730	900
75	580	700	870	1100
100	970	1200	1500	1960
Береза, ольха				
До 16	35	38	41	44
19	44	47	50	53
22	50	53	56	59
25	66	70	74	80
32	90	95	100	105
40	100	105	110	115
50	125	135	150	170
60	170	190	220	260
75	220	270	330	400
Дуб, орех, граб				
До 16	80	85	90	95
19	90	95	100	105
22	100	105	110	115
25	110	115	120	125
32	165	180	200	220
40	215	240	275	315
50	320	380	450	530
60	500	610	730	860
75	780	950	1200	1500

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

с реверсивной циркуляцией средней интенсивности — ЦНИИМОД-23, ВИАМ-1, ВИАМ-2 и аналогичные им (скорость по штабелю 1 м/с);

со слабой реверсивной или нереверсивной циркуляцией: ЦНИИМОД-39, эжекционные (скорость по штабелю 0,5 м/с);

с естественной циркуляцией.

При промежуточных значениях определяющих факторов искомые коэффициенты находят интерполяцией.

8.2. Значения коэффициента $A_ц$

Произведение $\tau_{исх} A_р$, ч	Типы камер по циркуляции			
	1 (с мощной циркуляцией)	2 (с циркуляцией средней интенсивности)	3 (со слабой принудительной циркуляцией)	4 (с естественной циркуляцией)
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

8.3. Значения коэффициента $A_в$

Начальная влажность $W_н$, %	Конечная влажность $W_к$, %											
	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

8.1.2. Определение продолжительности высокотемпературной сушки в камерах периодического действия

Общая продолжительность сушки, включая начальный прогрев, и влаготеплообработки (ч)

$$\tau = \tau_{исх} A_ц A_п A_к A_в, \qquad (8.2)$$

где $\tau_{исх}$ — исходная продолжительность сушки сосновых пиломатериалов заданных толщин S_1 и ширины S_2 по стандартным режимам в паровых высоко-

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

Толщина пиломатериалов S_1, мм	Ширина пиломатериалов S_2, мм		Толщина пиломатериалов S_1, мм	Ширина пиломатериалов S_2, мм	
	80—130	140 и более		80—130	140 и более
До 19	5,5	5,5	40	20,0	21,0
22	6,5	6,5	50	37,0	40,0
25	10,0	10,0	60	55,0	63,0
32	16,5	16,5			

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

8.5. Значения коэффициента $A_к$ для материала III категории качества

$\tau_{исх}$ $A_ц$ $A_п$ $A_в$, ч	Толщина S_1, мм		$\tau_{исх}$ $A_ц$ $A_п$ $A_в$, ч	Толщина S_1, мм	
	19—40	50—60		19—40	50—60
1,0	10,0	13,0	9,0	2,0	2,30
1,5	7,0	9,0	10,0	1,90	2,20
2,0	5,5	7,0	12,0	1,75	2,00
2,5	4,6	5,8	14,0	1,65	1,85
3,0	4,0	5,0	16,0	1,55	1,75
3,5	3,6	4,5	18,0	1,50	1,65
4,0	3,2	4,0	20,0	1,45	1,60
5,0	2,8	3,5	30,0	1,30	1,40
6,0	2,5	3,0	40,0	1,20	1,30
7,0	2,3	2,7	60,0	1,15	1,20
8,0	2,1	2,5	100 и более	1,10	1,12

Примечание. Для материала I и II категорий качества коэффициент увеличивается в 1,05 раза.

температурных камерах с горизонтально-поперечной циркуляцией от начальной влажности 60 % до конечной влажности 12 % (табл. 8.4); в $\tau_{исх}$ не включено время на начальную обработку, влаготеплообработку и подсушку материала после нее; $A_ц$ — определяется в зависимости от типа камер. Расчетная скорость циркуляции по материалу в штабеле принята: в камерах с горизонтально-поперечной циркуляцией (Латгипропром, Гипродрев, СПМ-2К) — 2 м/с, в камерах с вертикально-поперечной циркуляцией (СПВ-62, ЛТА-Гипродрев и др.) — 2,5 м/с; $A_п$ — коэффициент, характеризующий влияние породы древесины на продолжительность сушки при использовании рекомендуемых режимов; $A_к$ — коэффициент, учитывающий продолжительность начальной, промежуточной и конечной обработок, время подъема температуры и подсушки для различных категорий качества сушки (определяется по табл. 8.5 в зависимости от толщины материала и произведения $\tau_{исх}A_ц A_п A_в$); $A_в$ — определяется по табл. 8.6.

Значения коэффициента $A_ц$

Тип камеры	Латгипропром, Гипродрев	СПВ-62, ЛТА-Гипродрев, СПМ-2К
$A_ц$	1	0,85

Значения коэффициента $A_п$

Порода	Сосна, пихта, кедр	Ель	Осина	Береза	Лиственница
$A_п$	1	0,9	1,1	1,4	4

8.6. Значения коэффициента $A_в$

Начальная влажность $W_н$, %	Конечная влажность $W_к$, %											
	22	20	18	16	14	12	11	10	9	8	7	6
120	1,98	2,01	2,05	2,09	2,14	2,20	2,24	2,29	2,34	2,40	2,47	2,57
110	1,78	1,81	1,85	1,89	1,94	2,00	2,04	2,09	2,14	2,20	2,27	2,37
100	1,58	1,61	1,65	1,69	1,74	1,80	1,84	1,89	1,94	2,00	2,07	2,17
90	1,38	1,41	1,45	1,49	1,54	1,60	1,64	1,69	1,74	1,80	1,87	1,97
80	1,18	1,21	1,25	1,29	1,34	1,40	1,44	1,49	1,54	1,60	1,67	1,77
70	0,98	1,01	1,05	1,09	1,14	1,20	1,24	1,29	1,34	1,40	1,47	1,57
65	0,88	0,91	0,95	0,99	1,04	1,10	1,14	1,19	1,24	1,30	1,37	1,47
60	0,78	0,81	0,85	0,89	0,94	1,00	1,04	1,09	1,14	1,20	1,27	1,37
55	0,68	0,71	0,75	0,79	0,84	0,90	0,94	0,99	1,04	1,10	1,17	1,27
50	0,58	0,61	0,65	0,69	0,74	0,80	0,84	0,89	0,94	1,00	1,07	1,17
45	0,48	0,51	0,55	0,59	0,64	0,70	0,74	0,79	0,84	0,90	0,97	1,07
40	0,38	0,41	0,45	0,49	0,54	0,60	0,64	0,69	0,74	0,80	0,87	0,97
35	0,28	0,31	0,35	0,39	0,44	0,50	0,54	0,59	0,64	0,70	0,77	0,87
30	0,18	0,21	0,25	0,29	0,34	0,40	0,44	0,49	0,54	0,60	0,67	0,77
28	0,14	0,17	0,21	0,25	0,30	0,36	0,40	0,45	0,50	0,56	0,63	0,73
26	0,10	0,13	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,41	0,46	0,52	0,59	0,69
24	0,06	0,09	0,13	0,17	0,22	0,28	0,32	0,37	0,42	0,48	0,55	0,65
22	—	0,05	0,09	0,13	0,18	0,24	0,28	0,33	0,38	0,44	0,51	0,61
20	—	—	0,04	0,08	0,13	0,19	0,23	0,28	0,33	0,39	0,46	0,56

8.1.3. Определение продолжительности сушки в камерах непрерывного действия

Продолжительность сушки пиломатериалов в **камерах с позонной циркуляцией** (агент сушки — воздух или топочные газы) рассчитывают по той же формуле, что и для камер периодического действия (8.1).

В **камерах с противоточной циркуляцией** продолжительность сушки пиломатериалов, включая начальный прогрев, находят из выражения (ч)

$$\tau = \tau_{исх} A_п A_ц A_к A_в, \qquad (8.3)$$

где $\tau_{исх}$ — исходная продолжительность сушки сосновых пиломатериалов заданных толщин S_1 и ширины S_2 в камере с поперечной штабелевкой от начальной влажности 60 % до конечной влажности 12 %; определяется по табл. 8.7 в зависимости от применяемого режима; $A_ц$ — определяется по табл. 8.8 в зависимости от типа камеры, скорости воздуха в штабеле и тол-

8.7. 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
Мягкие режимы				
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
Нормальные режимы				
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
Форсированные режимы				
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.

8.8. Значения коэффициента $A_ц$

Камеры	Толщина пиломатериалов S_1, мм									
	до 16	19	22	25	32	40	50	60	70	75
ЦНИИМОД-49, ЦНИИМОД-56 и «Valmet»	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ЦНИИМОД-32	1,65	1,45	1,30	1,23	1,10	1,08	1,05	1,03	1,00	1,00
ЦНИИМОД-24 (25), ЦНИИМОД-34, НС-4	2,20	2,05	1,90	1,70	1,45	1,30	1,25	1,15	1,12	1,10
НБ-1, НБ-2	1,85	1,65	1,50	1,43	1,30	1,20	1,05	1,03	1,00	1,00

8.9. Значения коэффициента $A_п$

Порода	Значения $A_п$		Порода	Значения $A_п$	
	нормальный и форсированный режим	мягкий режим		нормальный и форсированный режим	мягкий режим
Ель	0,95	0,90	Осина	1,10	1,05
Сосна, пихта, кедр	1,00	1,00	Береза	1,45	1,35

8.10. Значения коэффициента $A_в$

$W_н$, %	S_1, мм	Нормальный и форсированный режим при $W_к$, %					Мягкий режим при $W_к$, %		
		8	10	12	18	20—22	12	18	20—22
120	13—19	2,30	2,22	2,20	2,20	2,20	1,84	1,72	1,65
	22—25	2,11	2,02	1,96	1,90	1,88	1,57	1,37	1,27
	32—40	1,93	1,82	1,72	1,59	1,56	1,44	1,20	1,10
	45—60	1,80	1,63	1,54	1,34	1,27	1,43	1,18	1,08
	70—75	1,69	1,55	1,44	1,19	1,11	1,43	1,18	1,08
100	13—19	1,90	1,83	1,80	1,80	1,80	1,56	1,44	1,37
	22—25	1,79	1,70	1,64	1,58	1,56	1,39	1,19	1,07
	32—40	1,71	1,63	1,50	1,37	1,34	1,32	1,07	0,98
	45—60	1,64	1,50	1,39	1,19	1,12	1,31	1,06	0,96
	70—75	1,57	1,43	1,32	1,07	0,99	1,31	1,06	0,96
80	13—19	1,50	1,43	1,40	1,40	1,40	1,28	1,16	1,09
	22—25	1,48	1,39	1,33	1,27	1,25	1,20	1,01	0,91
	32—40	1,47	1,36	1,26	1,13	1,10	1,18	0,93	0,84
	45—60	1,46	1,32	1,21	1,00	0,94	1,18	0,93	0,83
	70—75	1,43	1,29	1,18	0,93	0,85	1,18	0,93	0,83
60	13—19	1,10	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,81
	22—25	1,15	1,06	1,00	0,94	0,92	1,00	0,80	0,70
	32—40	1,20	1,10	1,00	0,86	0,83	1,00	0,75	0,66
	45—60	1,25	1,11	1,00	0,81	0,73	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	0,80	0,73	0,70	0,70	0,70	0,78	0,66	0,59
	22—25	0,90	0,81	0,74	0,68	0,67	0,82	0,62	0,52
	32—40	1,00	0,88	0,79	0,66	0,62	0,82	0,57	0,48
	45—60	1,07	0,93	0,82	0,63	0,55	0,82	0,57	0,47
	70—75	1,07	0,93	0,82	0,57	0,50	0,82	0,57	0,47
30	13—19	0,50	0,43	0,40	0,40	0,40	0,54	0,42	0,35
	22—25	0,61	0,52	0,46	0,40	0,38	0,57	0,37	0,28
	32—40	0,74	0,63	0,54	0,40	0,37	0,57	0,32	0,23
	45—60	0,82	0,68	0,57	0,38	0,30	0,57	0,32	0,22
	70—75	0,82	0,68	0,57	0,32	0,24	0,57	0,32	0,22

щины пиломатериалов; $A_п$ — определяется по табл. 8.9 в зависимости от категории режимов сушки; $A_в$ — определяется по табл. 8.10 в зависимости от категории режимов сушки и толщины пиломатериалов; $A_к$ — коэффициент качества сушки, характеризующий длительность влаготеплообработки в специальных отсеках, примыкающих к разгрузочному концу камеры. Величину $A_к$ подсчитывают по соотношению

$$A_к = L_{общ}/(L_{общ} - L_{отс}), \qquad (8.4)$$

где $L_{общ}$ — общая длина камеры; $L_{отс}$ — длина отсека для конечной влаготеплообработки.

При отсутствии отсека для влаготеплообработки $A_к$ определяют в зависимости от категории качества сушки по табл. 8.9.

8.2. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР

8.2.1. Производительность камер в фактически высушиваемом материале

Годовая производительность камеры ($м^3$)

$$П_ф = En, \tag{8.5}$$

где E — емкость камеры для пиломатериалов данного размера и породы, $м^3$; n — число оборотов камеры в год.

Емкость камеры ($м^3$)

$$E = Г_1 \beta_ф, \tag{8.6}$$

где $Г$ — габаритный объем штабелей, в камере, $м^3$; $\beta_ф$ — коэффициент объемного заполнения штабеля фактически высушиваемым материалом.

Габаритный объем штабеля ($м^3$)

$$Г = lbhm, \tag{8.7}$$

где l, b, h — длина, ширина и высота штабеля, м; m —число штабелей в камере.

Коэффициент объемного заполнения $\beta_ф$ равен произведению линейных коэффициентов заполнения штабеля по высоте $\beta_в$, ширине $\beta_ш$ и длине $\beta_{дл}$. С учетом объемной усушки древесины $Y_о$ величину $\beta_ф$ находят по формуле

$$\beta_ф = \beta_в \beta_ш \beta_{дл} [(100 - Y_о)/100]. \tag{8.8}$$

Коэффициент заполнения штабеля по высоте $\beta_в$ зависит от толщины высушиваемого материала S и толщины прокладок $S_{пр}$:

$$\beta_в = S/(S_{пр} + S). \tag{8.9}$$

Если при сушке заготовок в качестве прокладок используют сами заготовки, коэффициент $\beta_в$ в зависимости от длины укладываемых заготовок $l_{заг}$ принимают равным:

при $l_{заг}$ = 0,5 м . . . . . $\beta_в = 0,6$
» $l_{заг}$ = 1 м . . . . . $\beta_в = 0,58$
» $l_{заг}$ от 1 до 2 м . . . . . $\beta_в = 0,55$.

В качестве прокладок допускается использовать заготовки толщиной до 40 мм, шириной не более 50 мм и длиной не более габаритной ширины штабеля.

Коэффициент заполнения штабеля по ширине $\beta_ш$ определяют по табл. 8.11.

Коэффициент заполнения штабеля по длине $\beta_{дл}$ равен отношению средней длины пиломатериалов $l_{ср}$ к габаритной длине штабеля $l_{габ.\,шт}$. Если в штабель укладывают доски и заготовки без сортировки по длине, средний коэффициент заполнения $\beta_{дл}$ принимается равным 0,85 (при длине штабеля 6,5 м). При укладке в штабель материала одинаковой длины ($l_{ср} = l_{габ.\,шт}$) коэффициент $\beta_{дл} = 1$. Объемную усушку $Y_о$ принимают для номинальной

влажности товарных пиломатериалов ($W=15$ %) в среднем $Y_о=7$ %. Подставив в формулу (8.8) значение $\beta_в$ из формулы (8.9), получают:

для штабеля с прокладками толщиной 25 мм

$$\beta_ф = \frac{S\,\beta_ш\beta_{дл}}{25+S}\,\frac{100-Y_о}{100}; \qquad (8.10)$$

для штабелей с прокладками из заготовок

$$\beta_ф = \beta_в\beta_ш\beta_{дл}\,\frac{100-Y_о}{100}. \qquad (8.11)$$

Значения коэффициента объемного заполнения штабеля высушиваемым материалом $\beta_ф$ с прокладками толщиной 25 мм приведены в табл. 8.12.

8.11. Значения коэффициента $\beta_ш$

Способ укладки	Пиломатериалы	
	обрезные	необрезные
Со шпациями	0,65	0,43
Без шпаций	0,90	0,60

При $\beta_{дл}$, отличающемся от 0,85, объемный коэффициент заполнения $\beta_ф$ подсчитывают по формуле (8.10) с учетом коэффициента заполнения по длине штабеля $\beta_{дл}=l_{ср}/l_{шт}$, где $l_{шт}$ — длина загружаемого штабеля.

На основе данных по эксплуатации сушильных камер с учетом необходимости ежегодного капитального ремонта время их работы в году установлено равным 335 сут. Число оборотов камеры в год (число загрузок)

$$n = 335/\tau_{об.\,ф}, \qquad (8.12)$$

где $\tau_{об.\,ф}$ — продолжительность оборота камеры при сушке фактического материала, сут.

8.12. Значения коэффициента $\beta_ф$ при $S_{пр}=25$ мм, $\beta_{дл}=0,85$

Номинальная толщина пиломатериалов, мм	Способ укладки			
	со шпациями		без шпаций	
	пиломатериалов			
	обрезных	необрезных	обрезных	необрезных
13	0,176	0,116	0,244	0,162
16	0,201	0,133	0,255	0,185
19	0,222	0,147	0,307	0,205
22	0,241	0,159	0,333	0,222
25	0,257	0,170	0,356	0,237
32	0,288	0,191	0,399	0,266
40	0,316	0,209	0,438	0,292
45	0,330	0,219	0,458	0,305
50	0,342	0,227	0,474	0,316
60	0,362	0,243	0,502	0,335
70	0,379	0,250	0,525	0,350
75	0,385	0,255	0,535	0,356
90	0,402	0,266	0,557	0,371
100	0,411	0,272	0,569	0,379

8.13. Производительность камер (плановая)

Камера	Режим сушки											
	мягкий			нормальный			форсированный			высокотемпературный		
	$\tau_{об}$	$K_п$	$П_{усл}$	$\tau_{об}$	$K_п$	$П_{усл}$	$\tau_{об}$	$K_п$	$П_{усл}$	$\tau_{об}$	$K_п$	$П_{усл}$
Периодического действия со слабой принудительной циркуляцией (ЦНИИМОД-39 и т. п.)	—	—	—	6,6	0,0718	24 *Г*	—	—	—	—	—	—
Периодического действия с циркуляцией средней интенсивности (ЦНИИМОД-23, ВИАМ, эжекционные модернизированные и т. п.)	8,7	0,0545	18,5*Г*	5,1	0,0929	31*Г*	4,1	0,1152	39*Г*	—	—	—
Периодического действия с мощной циркуляцией (ЛТА-Гипродрев, СПМ-2К, СПВ-62, СПЛК-2, УЛ-2 и т. п.)	8,1	0,0585	20*Г*	4,4	0,1075	36*Г*	3,4	0,1392	47*Г*	2,0	0,2370	79*Г*
Периодического действия с мощной нереверсивной циркуляцией (Гипродрев, Латгипропром)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,3	0,2060	69*Г*
Непрерывного действия противоточные с поперечной штабелевкой (ЦНИИМОД-49, «Valmet», СП-5КМ, СМ-4К и т. п.)	8,9	0,0532	18*Г*	4,0	0,1182	40*Г*	3,4	0,1392	47*Г*	—	—	—
Непрерывного действия с зигзагообразной циркуляцией (ЦНИИМОД-32)	9,4	0,0505	17*Г*	4,2	0,1127	38*Г*	3,6	0,1312	44*Г*	—	—	—
Непрерывного действия с горизонтально-поперечной позонной циркуляцией (ЛатНИИЛХП)	8,0	0,0592	20*Г*	4,3	0,1100	37*Г*	3,3	0,1435	48*Г*	—	—	—

Г — габаритный объем штабеля при его длине 6,5 м ($\beta_{дл} = 0,85$).

Для камер периодического действия $\tau_{об.\,ф}=\tau_{сущ.\,ф}+\tau_{загр}$; для камер непрерывного действия $\tau_{об.\,ф}=\tau_{сущ.\,ф}$, где $\tau_{сущ.\,ф}$ — продолжительность сушки фактического материала: $\tau_{загр}$ — продолжительность загрузки и выгрузки материала. При механизированной загрузке и выгрузке принимается равной 0,1 сут.

В камерах непрерывного действия время на загрузку и выгрузку штабеля не предусматривается.

С учетом формул (8.6) и (8.11) годовая производительность камеры при сушке фактического материала (м³)

$$П_ф = Г\,\beta_ф\,335/\tau_{об.\,ф}. \qquad (8.13)$$

8.2.2. Производительность камер в условном материале

Для учета фактической производительности камер и сопоставления ее с плановой, а также для планирования при составлении производственных программ в лесосушильной технике установлена учетная единица — **кубический метр условного материала.** Условному материалу эквивалентны сосновые обрезные доски толщиной 50 мм, шириной 150 мм, длиной более 1 м, высушиваемые по II категории качества от начальной влажности 60 % до конечной 12 %. Годовая производительность камеры в условном материале (м³ усл.)

$$П_у = Г\,\beta_{усл}\,335/\tau_{об.\,усл}, \qquad (8.14)$$

где $\beta_{усл}$ — коэффициент объемного заполнения штабеля условным материалом (определяется так же, как и $\beta_ф$); $\tau_{об.\,усл}$ — продолжительность оборота камеры при сушке условного материала (рассчитывается по методике в параграфе 8.1), сут.

Назовем отношение $\beta_{усл}/\tau_{об.\,усл}$ пересчетным коэффициентом $K_п$, который учитывает тип камер, интенсивность и характер циркуляции агента сушки в ней, режим и способ укладки пиломатериалов. При $K_п$=const годовая производительность камеры в условном материале $П_{усл}$ зависит только от габаритного объема находящихся в ней штабелей:

$$П_у = 335\,K_п\,Г. \qquad (8.15)$$

Продолжительность оборота камеры для условного материала $\tau_{об.\,усл}$, коэффициент $K_п$ и плановая годовая производительность $П_{усл}$ камер в зависимости от величины $Г$ при различных режимах сушки приведены в табл. 8.13. Объем высушенного или подлежащего сушке пиломатериала заданной спецификации $П_ф$ пересчитывают в объем условного материала $П_{усл}$ по формуле

$$П_{усл} = П_ф\,\tau_{об.\,ф}\,\beta_{усл}/(\tau_{об.\,усл}\,\beta_ф). \qquad (8.16)$$

Вводим в формулу (8.16) пересчетный коэффициент $K_п$ (см. табл. 8.13):

$$П_{усл} = K_п П_ф\,\tau_{об.\,ф}/\beta_ф. \qquad (8.17)$$

8.14. **Производительность труда при различных способах укладки досок в штабеля и пакеты для камерной сушки**

Оборудование, применяемое для укладки и разборки штабелей	Число человек в бригаде	Производительность за смену, м³	Производительность, м³/чел. ч	Затраты труда, чел. ч/м³
Ручная укладка в сушильные штабеля (без шпаций)	2	25—30	1,56—1,88	0,64—0,53
		35—40	2,19—2,50	0,45—0,40
Ручная разборка сушильных штабелей	2	50—60	3,10—3,70	0,32—0,28
		70—80	4,30—5,00	0,23—0,20
Ручная укладка в штабеля с эстакады (без шпаций)	2	30—35	1,88—2,19	0,53—0,45
		40—45	2,50—2,80	0,40—0,36
Укладка в пакеты с помощью пакетоформирующей машины	3	159	6,62	0,151
		275	11,46	0,087
Укладка в штабеля (без шпаций) с помощью лифтов и вертикальных подъемников	2	35—40	2,20—2,50	0,45—0,40
		50—55	3,10—3,44	0,32—0,29
Разборка штабелей с помощью лифтов и вертикальных подъемников	2	70—80	4,40—5,00	0,23—0,20
		150—160	5,20—6,80	0,16—0,15
Укладка штабелеукладчиками	3	100—125	4,16—4,80	0,24—0,21
		150—175	6,25—7,25	0,16—0,14
Ручная укладка пакетов (без шпаций)	2	33—40	2,08—2,50	0,48—0,40
		46—52	2,86—3,23	0,35—0,31
Ручная разборка пакетов	2	66—80	4,16—5,00	0,24—0,20
		92—104	5,72—6,46	0,18—0,16

Примечания. 1. При укладке штабелей на пакетоформирующих машинах средняя длина пиломатериалов принята равной 5 м.

2. В числителе приводится производительность труда при укладке и разборке досок сечением 25×140×5500 мм, в знаменателе — сечением 50×140×5500 мм.

8.3. ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХОВ, УЧЕТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

8.3.1. Характеристика штатов сушильного цеха

Количество штатных единиц персонала сушильного цеха и его состав зависят от производственной мощности сушильного хозяйства, спецификации высушиваемого материала, степени механизации и автоматизации процесса сушки. Число рабочих, занятых на формировании сушильных штабелей, загрузке и выгрузке материала из камер и на разборке штабелей, зависит от объема работ и степени их механизации. При определении количества рабо-

чих для сушильного цеха следует руководствоваться данными табл. 8.14. Производительность труда на укладке досок в штабеля или пакеты со шпациями принимается в среднем на 20 % ниже по сравнению с указанной в таблице. При укладке заготовок потребность в рабочей силе возрастает в 2—2,5 раза.

Квалификационные требования к работникам сушильного цеха следующие:

начальник цеха — высшее образование и стаж работы на инженерно-технических должностях не менее 3 лет или среднее специальное образование и стаж работы на инженерно-технических должностях не менее 5 лет. Должностные обязанности определены Квалификационным справочником должностей служащих (М., 1970);

мастер сушильного цеха — высшее образование и стаж работы на производстве не менее года или среднее специальное образование и стаж работы не менее 3 лет. При отсутствии специального образования — стаж работы на производстве не менее 5 лет. Должностные обязанности определены Квалификационным справочником должностей служащих (М., 1970);

оператор сушильных установок — пятый разряд, лаборант по физико-механическим испытаниям — третий разряд, контролер деревообрабатывающего производства — третий разряд. Характеристика работ соответствует Тарифно-квалификационному справочнику работ и профессий рабочих, занятых в деревообрабатывающей промышленности (М., 1972).

8.3.2. Календарное планирование в сушильном цехе

Календарное планирование работы сушильного хозяйства обеспечивает бесперебойный и своевременный выпуск сухих пиломатериалов (заготовок), необходимых производству, предотвращает перебои в снабжении деревообрабатывающих цехов и скопление высушенного материала.

Календарный план работы сушильного цеха составляют на основе календарных планов цехов — потребителей сухих пиломатериалов. По спецификации цехов-потребителей производственный отдел предприятия устанавливает, какие материалы и к какому сроку требуется высушить. При назначении сроков выпуска сухой продукции учитывают необходимость своевременной сдачи потребителю всех нужных ему сухих сортиментов. После этого устанавливают календарный план загрузки в сушильные камеры и выгрузки из них определенных сортиментов.

По календарному плану загрузки составляют график сроков поставки сушильному цеху сырых пиломатериалов определенной спецификации и передают его производственному отделу предприятия для обязательного выполнения лесопильным цехом. При составлении календарного плана работы сушильного цеха рекомендуется пользоваться передвижным графиком, представляющим собой доску, пригодную для любого месяца. На доске в горизонтальном направлении напротив номеров камер расположены продольные пазы, куда вставляют плановые ленты-карточки. На каждой карточке отмечают породу, толщину, начальную влажность высушиваемого материала.

Календарное планирование в сушильном цехе при использовании передвижного графика состоит из следующих этапов:

1. По полученной спецификации и объему загружаемого в камеру материала подсчитывают число загрузок определенного материала. При этом учитывают объем пиломатериалов, остающихся от незавершенного производства прошлого месяца.

2. Отбирают или заготовляют ленты-карточки в соответствии с числом загрузок по сортиментам (см. п. 1).

3. Карточки раскладывают на доске без разрывов; число карточек должно соответствовать числу загрузок подлежащего сушке материала. Фактическое выполнение плана отмечают на графике путем вставки более высоких карточек сзади плановых.

4. При разработке плана работы сушильного цеха сначала определяют производительность камер в условном материале, затем заданную сушильному цеху спецификацию материала переводят в объем условного материала и сравнивают его с плановой производительностью сушильного цеха.

8.3.3. Учетная документация для лесосушильных цехов

Учетная документация для лесосушильных цехов устанавливает единые формы учета прохождения пиломатериалов (заготовок) через сушильный цех. Рекомендуется вести следующие формы документации:

1. Журнал учета поступления сырых пиломатериалов (заготовок) и отгрузки сухих пиломатериалов, в котором фиксируется дата поступления материала в цех, его размеры, сорт, объем по породам и типоразмерам и сведения о пиломатериалах, отгружаемых из цеха.

2. Штабельная карточка, которая заполняется на каждый штабель пиломатериалов, находящихся в сушильных камерах, и предназначается для контроля за процессом просыхания штабеля.

На лицевой стороне карточки записывается наименование предприятия, номер камеры и сушки (для камер периодического действия), номер штабеля, установленный с начала месяца или года; приводятся основные данные о загружаемом в сушильную камеру материале: порода, размеры, назначение, число досок или заготовок и их объем, начальная и конечная влажность, сроки сушки (дата и часы загрузки и выгрузки); указывается дата укладки пиломатериалов в штабель, фамилии рабочих-укладчиков и мастера или дежурного сушильщика, принявшего штабель после укладки.

На оборотной стороне карточки содержатся таблицы для записи начальной влажности материала в штабеле и текущей влажности материала в процессе сушки по контрольным образцам.

При заполнении штабельной карточки для камер непрерывного действия номер сушки не проставляется, а записывается номер каждого штабеля, установленный с начала месяца или года.

3. Диспетчерская доска, которая разделяется на секции по числу камер в сушильном цехе. В секциях хранятся штабельные карточки.

В секциях для камер периодического действия штабельные карточки (их число зависит от емкости камеры) хранятся на протяжении всего процесса сушки соответствующих штабелей. Длина карточки должна соответ-

ствовать продолжительности сушки. В секциях для камер непрерывного действия штабельные карточки периодически перемещаются по доске в соответствии с фактическим перемещением штабелей по путям камер.

После выгрузки штабелей из камер карточки, соответствующие этим штабелям, снимаются с диспетчерской доски и хранятся в специальных картотеках.

4. Журнал контроля режимов сушки, в котором для каждой камеры указываются задаваемые режимы, каждый час фиксируются фактические параметры агента сушки (температура и психрометрическая разность, причем в камерах непрерывного действия параметры фиксируются в разгрузочной и загрузочной частях), записываются характеристики высушиваемого материала, его размеры, а также все замечания по работе камеры (простои, их причины, ремонт и т. п.). В специальной графе каждый час фиксируется давление пара, подаваемого в сушильные камеры. По окончании смены дежурные сушильщики расписываются в журнале.

ГЛАВА 9. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ

Автоматическое регулирование процесса сушки — необходимое условие улучшения технологии сушки и работы сушильных камер, эффективное средство увеличения производительности сушильных установок и улучшения качества высушиваемой древесины. Автоматизация необходима и для безопасности работы, облегчения труда обслуживающего персонала.

9.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ

Приборы контроля и регулирования должны обеспечивать измерение и автоматическое регулирование параметров режима сушки — температуры и относительной влажности (степени насыщенности) сушильного агента. Дистанционный контроль за параметрами агента сушки должен осуществляться по температуре сухого термометра и психрометрической разности или непосредственно по температуре сухого и смоченного термометров. Для контроля следует использовать:

при сушке пиломатериалов I и II категорий качества — показывающие или самопищущие автоматические мосты;

при сушке пиломатериалов III категории качества — измерительные системы с термометрами сопротивления и логометрами.

В системе автоматического регулирования должно быть предусмотрено:

автоматическое регулирование температуры сухого термометра и психрометрической разности или температур сухого и смоченного термометров;

дистанционный контроль температуры сухого термометра и психрометрической разности или температур сухого и смоченного термометров;

ручное и дистанционное управление регулирующими органами;

измерение степени открытия регулирующих органов и сигнализация о знаке отклонения регулируемого параметра по каждой из камер (одновременно или поочередно).

В многоканальных системах контроль и регулирование каждого параметра в каждой из камер осуществляется независимо от работы других каналов. Заданное значение параметра устанавливается по каждому каналу и может быть изменено в процессе работы прибора. Для камер с реверсивной циркуляцией необходимо предусматривать автоматическое устройство для реверсирования.

Требования к точности автоматического регулирования устанавливаются стандартами на режимы сушки, по которым допустимые погрешности поддержания температуры и психрометрической разности следующие: в камерах непрерывного действия ±3 °С по температуре и ±1 °С по психрометрической разности; в камерах периодического действия ±2 °С по температуре и ±1 °С по психрометрической разности. Эти величины относятся к статическим (установившимся) отклонениям при регулировании параметров среды и к точности контроля параметров.

На рис. 9.1 приведена функциональная схема автоматизации, выполненная в соответствии с изложенными требованиями. Температуру и степень насыщенности сушильного агента контролируют с помощью сухого и смоченного термометров сопротивления, которые посылают сигналы в измерительно-регулирующее устройство. Если регулируемый параметр отклоняется от заданного, установленного с помощью задатчиков *БЗ*, подается сигнал на выходные реле *БР*. Исполнительные механизмы управляются автоматически регулятором (через блок реле *БР*) и вручную с помощью переключателей *ПУ* и ключей дистанционного управления *КУ* на щите управления. Степень открытия регулирующих органов контролируется указателями положения, расположенными на щите управления.

В системе имеется устройство для автоматического программного управления вентиляторами камеры, которое располагается в зависимости от объекта по месту или на щите управления. За давлением пара, подаваемого в камеру, наблюдают по манометру. Пределы измерения и регулирования температуры агента сушки 0—100 или 0—150 °С, относительной влажности — 20—100 %.

Для автоматизации камер применяются одноканальные и многоканальные регуляторы. Одноканальные регуляторы устанавливаются для отдельных камер или при небольшом их числе.

При использовании систем автоматического регулирования температуры и степени насыщенности сушильного агента необходимо:

обеспечить камеры паром давлением 0,3—0,5 МПа в требуемом количестве (для стабилизации давления пара на входе в сушильный блок при колебаниях его в общей магистрали более ±0,2 МПа рекомендуется устанавливать специальный регулятор давления);

герметизировать камеры;

снабдить камеры исправными и надежными конденсатоотводчиками.

Скорость движения сушильного агента по материалу в штабеле должна быть не менее 1 м/с. Применять системы автоматического регулирования в камерах с естественной циркуляцией не рекомендуется.

При создании системы автоматического регулирования следует предусматривать необходимую степень ее надежности. Для этого система автоматизации должна гарантировать безопасность труда, быть легко доступной

для обслуживания, обеспечивать возможность перехода при неисправности отдельных элементов с автоматического на ручное управление, а также сигнализацию об этой неисправности или отклонении параметров за предельно допустимые уровни.

Обычно надежность оборудования характеризуют временем, в течение которого оно способно безотказно выполнять свои функции. При круглосуточ-

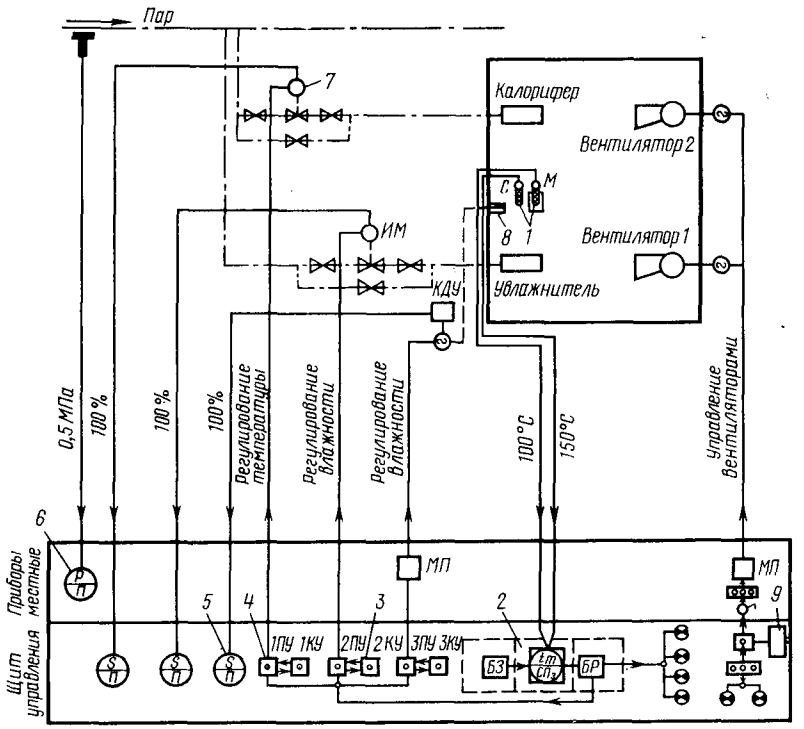


Рис. 9.1. Функциональная схема автоматического регулирования параметров сушильного агента:

1 — термометры сопротивления; *2* — измерительно-регулирующее устройство; *3* — ключ управления; *4* — переключатель управления; *5* — указатель положения; *6* — манометр; *7* — исполнительный механизм; *8* — шибер; *9* — устройство для автоматического программного управления вентиляторами камер

ной работе лесосушильных камер в крупных цехах имеется дежурный оператор, при неисправности регулятора переводящий установку на ручное управление. Работу каждой камеры, параметры среды в ней оператор обычно контролирует через 1—2 ч. Поэтому [20] при проектировании необходимо обеспечивать такую надежность системы регулирования, при которой среднее время ее безотказной работы составляет не менее 8 сут. На мелких предприятиях при небольшом числе камер иногда отсутствует дежурный оператор в ночное время. Тогда требования к надежности повышаются. При этом среднее время безотказной работы составляет 33 дня.

Важным фактором при определении рационального уровня автоматизации является ее экономическая эффективность, поэтому при проектировании системы необходимо сопоставлять затраты на реализацию и возможный получаемый технико-экономический эффект.

Так как экономический эффект при внедрении автоматического регулирования процесса сушки древесины заключается в увеличении производительности камер (на 10—15 %) и улучшении качества сушки (сокращение пересортицы, брака), затраты на автоматизацию зависят от объемов производства.

Например, если принять, что системы автоматической стабилизации параметров среды в лесосушильных камерах уменьшают брак сушки (безвозвратные потери) примерно на 1 %, при средней стоимости 1 м³ пиломатериалов 50 р. для камеры периодического действия со средней производительностью 2500 м³ высушиваемых пиломатериалов в год экономический эффект составит 1250 р. При сроке окупаемости 4 года допустимые затраты на средства автоматизации камеры составят 5000 р. (с учетом стоимости оборудования, монтажа, ремонта и обслуживания). При тех же условиях затраты на автоматизацию современного блока камер непрерывного действия производительностью 75 000 м³ пиломатериалов в год в сумме 150 тыс. р. также окупаются за 4 года.

9.2. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР

Первым этапом проектирования систем автоматического регулирования является разработка структурной схемы, которая определяет регулируемые величины (выходные величины объекта), наиболее полно характеризующие ход рассматриваемого технологического процесса и состояние установки, а также регулирующие воздействия (входные величины объекта). Изменяя последние, компенсируют возмущения технологического режима и поддерживают нужные значения регулируемых величин.

После составления структурной схемы решают вторую задачу — выбирают необходимые средства регулирования, т. е. тип регулятора и его настроек. Решение этой задачи должно обеспечить требуемое качество процесса регулирования, определяющее точность поддержания автоматикой установленного технологического режима, экономическую эффективность автоматизации. Качество регулирования зависит от характера переходного процесса. Для поддержания требуемого переходного процесса необходимо обеспечить определенные динамические свойства системы регулирования, в которую входят регулируемый объект и регулятор.

Динамические характеристики определяются при помощи дифференциальных уравнений объекта (уравнений связи между его входными и выходными величинами) или экспериментально, когда эти уравнения получить трудно. Регулируемые (выходные) величины камеры — это температура сухого и смоченного термометров сушильного агента. Входной величиной как объекта регулирования температуры сушильного агента по сухому термометру является температура (или давление) пара, подаваемого в калориферы, а по смоченному — расход пара через увлажнительные трубы и степень открытия приточно-вытяжных каналов, через которые происходит воздухообмен в камере.

С практически достаточной точностью паровоздушные камеры как объекты регулирования температуры сухого или смоченного термометров структурно можно представить в виде двух последовательно соединенных звеньев: инерционного первого порядка и запаздывающего [4] (рис. 9.2, *а*). Уравнение связи между входной и выходной величинами без учета запаздывания имеет вид:

$$T_1 (d\,\theta_к/d\,\tau) + \theta_к = k_1 \theta_п, \qquad (9.1)$$

где $\theta_к$ — изменение температуры среды в камере $\theta_п$ — величина возмущающего воздействия (скачок температуры теплоносителя в калорифере); T_1 — постоянная времени объекта; k_1 — коэффициент передачи объекта.

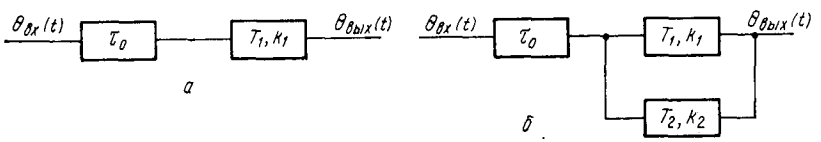


Рис. 9.2. Структурные схемы камеры как объекта регулирования температуры: *а* — без учета влияния древесины; *б* — с учетом влияния древесины

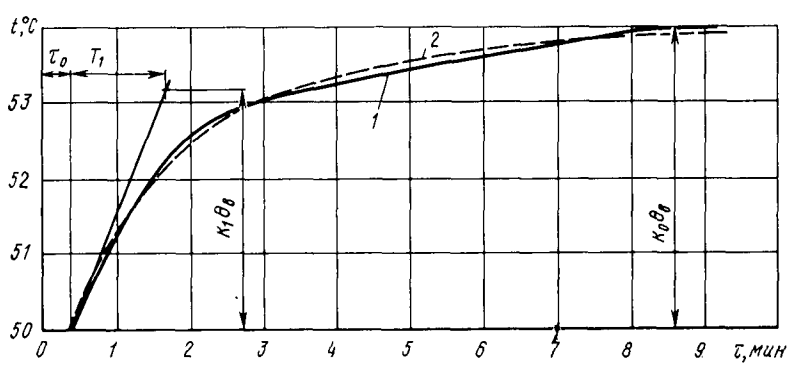


Рис. 9.3. Кривые разгона камеры «Valmet» при изменении температуры воды в калорифере от 57 до 67 °С:

1 — экспериментальная; *2* — расчетная по уравнению $t = 50 + 4{,}2[1 - 0{,}335e^{-0{,}185(\tau - 0{,}35)} - 0{,}665e^{-0{,}834(\tau - 0{,}35)}]$

Уравнение (9.1) получено в предположении, что статические характеристики камеры линейны (подтверждается экспериментом при небольших изменениях входной и выходной величин вблизи установившегося состояния) и параметры объекта не изменяются со временем. Однако в процессе сушки динамические параметры несколько изменяются в связи с высыханием древесины. Учесть влияние древесины на структурной схеме можно введением инерционной обратной связи (см. рис. 9.2, *б*). Коэффициенты k_2 и T_2 опреде-

9.1. Динамические параметры камер

Камера	Обозначения параметров	τ_0, мин	T_1, мин	T_2, мин	k_1	k_2	k_0
«Valmet» непрерывного действия	Экспериментальные (средние)	0,28	1,36	4,3	0,33	0,65	0,414
	Расчетные	—	1,25	4,7	0,335	0,70	0,43
«Sateko» высокотемпературная	Экспериментальные	0,325	1,45	4,5	0,335	0,643	0,426
	Расчетные	—	1,39	4,43	0,33	0,63	0,42
ЦНИИМОД-32	Экспериментальные	—	3,5	9	0,208	0,8	0,25
	Расчетные	—	4,1	—	0,26	0,7	0,31
СПЛК-2	Экспериментальные	—	4	5	0,29	0,70	0,361
	Расчетные	—	6,7	—	0,293	0,695	0,368

ляются свойствами древесины. Уравнение, соответствующее структурной схеме на рис. 9.2, *б*, имеет вид:

$$\theta(\tau) = k_0 \Delta\theta_{\text{п}} \left(1 + A e^{-P_1 \tau} + B e^{-P_2 \tau}\right), \qquad (9.2)$$

где коэффициенты A, B, P_1 и P_2 находятся в соответствии с общепринятой методикой [4].

На рис. 9.3 показан пример кривой разгона, снятой экспериментально на камерах непрерывного действия «Valmet», установленной на ЭПЗ «Красный Октябрь». На кривой имеется запаздывание и два участка, первый из которых характеризует инерционность камеры как теплового объекта и определяется параметрами k_1, T_1, а второй, с замедленным подъемом температуры,— нагревом древесины (k_2, T_2). Расчетная кривая разгона, построенная на рисунке по уравнению (9.2), удовлетворительно совпадает с экспериментальной, что показывает правильность принятой структурной схемы (см. рис. 9.2).

В табл. 9.1 приведены динамические параметры некоторых камер [4], определенные экспериментально из кривых разгона и расчетным путем.

С достаточной для практики точностью результаты расчетов совпадают с экспериментальными данными.

9.3. ВЫБОР РЕГУЛЯТОРОВ, КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В большинстве случаев тепловые процессы автоматизируются при помощи типовых стандартных регуляторов. В связи с тем, что в сушильных камерах требуется автоматически поддерживать заданные значения температур сухого и смоченного термометров, целесообразно для САР процессов сушки выбирать стабилизирующие регуляторы температуры.

При аппроксимации кривой разгона объекта регулирования переходной характеристикой инерционного звена первого порядка с запаздыванием можно ограничиться знанием величин коэффициента передачи k_0, постоянной времени T_1 и времени запаздывания τ_0. Значения этих величин могут изме-

няться в процессе сушки. Но для упрощения можно принять, что в области рабочих температур параметры объекта постоянны.

Выходной величиной рассматриваемых объектов является температура сушильного агента, а входной — температура теплоносителя в калорифере. Поэтому в качестве регулирующего воздействия принимается температура теплоносителя (пара или горячей воды).

Характер процесса регулирования зависит от вносимых возмущений. Различают случаи приложения возмущения к входу объекта регулирования (возмущения по нагрузке, вносимые в объект), выходу объекта (возмущения по заданию, вносимые в регулятор). Изменение влажности высушиваемого материала, колебания давления пара и температуры окружающей среды, изменение скорости и направления циркуляции агента сушки представляют собой возмущения по нагрузке, которые являются основными источниками нарушения заданного режима сушки. Эти возмущения в процессе сушки могут достигать величин, эквивалентных 100 %-ному открытию регулирующего органа.

При использовании двухпозиционных регуляторов возмущения вносятся не только по нагрузке, но и самим регулятором, так как регулирующее воздействие на объект принимает два значения: при закрытом вентиле подача тепла равна нулю, а при открытом — максимуму. Регулируемый параметр в этом случае колеблется около заданного значения, а регулирующее воздействие равно 1.

Закон регулирования ориентировочно выбирается по величине отношения времени запаздывания к постоянной времени объекта регулирования τ_0/T. Если величина $\tau_0/T \leqslant 0{,}2$, то в САР могут быть использованы релейные регуляторы. Если величина $0{,}2 < \tau_0/T < 1$, то в САР могут быть кроме релейных использованы регуляторы непрерывного действия [4, 11].

В релейных системах регулирования переходной процесс носит колебательный характер. Регулируемая величина никогда не устанавливается на неизменном уровне, а колеблется около заданного значения $X_{зад}$ с определенной частотой (период колебаний T_a) и амплитудой X_a. Переход от понижения регулируемого параметра к повышению и наоборот наступает спустя некоторое время τ_0 после включения регулирующего органа, что является результатом наличия запаздывания в объекте.

Период автоколебаний и амплитуда являются основными показателями качества двухпозиционного регулирования. Кроме того, важным показателем качества такого регулирования является установившееся отклонение $X_{уст}$ среднего значения регулируемой величины от заданного. Величина $X_{уст}$ зависит от нагрузки объекта. Величины $X_{уст}$ и X_a тем меньше, чем меньше отношение τ_0/T объекта.

Позиционные регуляторы, хотя обладают рядом недостатков, являются наиболее простыми по конструкции и принципу действия, поэтому в первую очередь выбираются для регулирования параметров среды лесосушильных камер, если при этом точность регулирования параметров удовлетворяет заданным технологическим требованиям.

Для оценки качества двухпозиционного регулирования требуется установить амплитуду колебаний и величину установившегося отклонения температуры. Для систем первого порядка с запаздыванием амплитуду колебаний

можно определить в зависимости от параметров объекта и регулятора по следующей формуле:

$$X_a = 0{,}5\,k_0 Y\left(1 - e^{-\frac{\tau_0}{T_1}}\right) + \delta_x e^{-\frac{\tau_0}{T_1}}, \qquad (9.3)$$

где X_a — амплитуда колебаний; k_0 — коэффициент передачи объекта; τ_0 — запаздывание; T_1 — постоянная времени; δ_x — нечувствительность регулятора; Y — регулирующее воздействие.

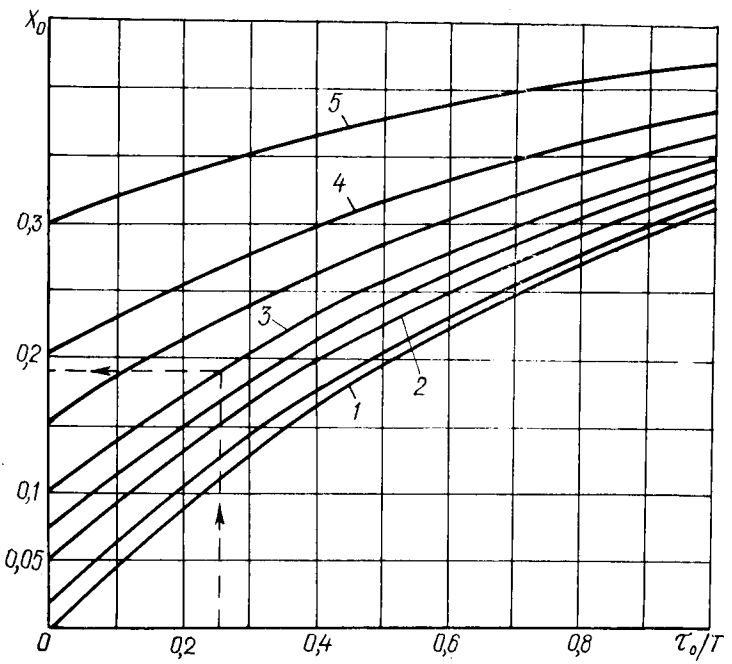


Рис. 9.4. Диаграмма для определения амплитуды колебаний при двухпозиционном регулировании:
1 — $\delta_x = 0$; *2* — $\delta_x = 0{,}05k_0Y$; *3* — $\delta_x = 0{,}1k_0Y$; *4* — $\delta_x = 0{,}2k_0Y$; *5* — $\delta_x = 0{,}3k_0Y$

На рис. 9.4 построены кривые, вычисленные на основании уравнения (9.3) и позволяющие определять амплитуду колебаний по отношению τ_0/T_1 объекта и величине нечувствительности δ_x регулятора. Из рис. 9.4 видно, что увеличение времени запаздывания и зоны нечувствительности приводит к росту амплитуды колебаний. Кривые на рис. 9.4 могут быть использованы для практических расчетов позиционных систем автоматического регулирования, отличающихся переходной характеристикой теплового инерционного звена с запаздыванием независимо от вида регулируемой величины и конструктивного выполнения регулятора.

По уравнению (9.3) определяется средняя амплитуда колебаний при симметричной характеристике регулятора, что соответствует $X_{зад} = 0{,}5$. В об-

щем случае положительная и отрицательная амплитуды колебаний регулируемой величины не равны между собой и среднее значение регулируемой величины отличается от заданного на величину установившейся (постоянной) погрешности $X_{уст}$. Это объясняется тем, что положительная амплитуда колебаний определяется притоком энергии, а отрицательная — стоком энергии. Следовательно, установившаяся погрешность регулирования зависит от нагрузки объекта (или от задания). В первом приближении можно принять, что при $\delta_x \to 0$

$$X_{уст}/X_{а.\,ср} = (1 - 2X_{зад}). \qquad (9.4)$$

На практике сложно определять нагрузку для лесосушильных камер, так как относительная величина $X_{зад}$ обычно неизвестна. Поэтому можно определять установившееся отклонение по значениям включенного $T_{вкл}$ и выключенного $T_{выкл}$ состояний регулирующего органа, которые в свою очередь можно определять при записи положений этого органа в процессе автоматического регулирования. Тогда $X_{уст}$ приближенно определяется по формуле

$$X_{уст}/X_{а.\,ср} = (T_{выкл} - T_{вкл})/(T_{выкл} + T_{вкл}). \qquad (9.5)$$

Применение для регулирования процесса сушки древесины многоканальных регуляторов требует правильного выбора времени обегания, так как оно влияет на качество регулирования. При увеличении времени обегания амплитуда колебаний растет, причем оценить минимальную амплитуду можно по формуле (9.3), принимая запаздыванием сумму $\tau_0 + T_ц$, где $T_ц$ — цикл обегания.

Проанализировав качество двухпозиционного регулирования, можно сделать следующие выводы:

1. Для регулирования температуры агента сушки возможно применение двухпозиционных регуляторов. При этом в среднем для сушильных камер точность поддержания заданных значений температуры на уровне ± 2 °С можно получить с регуляторами, нечувствительность которых не превышает 0,5 °С.

2. При использовании многоканальных регуляторов, чтобы значительно не ухудшить качество регулирования, время обегания должно выбираться в пределах $(0{,}5—1)\tau_0$. Амплитуда колебаний регулируемой величины в среднем возрастает на 10—20 %. Для лесосушильных камер время обегания рекомендуется выбирать не более 1—2 мин.

3. Чтобы не ухудшить качество позиционного регулирования, следует применять малоинерционные преобразователи температуры с постоянной времени в условиях камер не более 1—2 мин.

4. Для уменьшения установившейся погрешности необходимо настраивать систему регулирования так, чтобы нагрузка соответствовала 50 %.

9.4. ВЫБОР ДАТЧИКОВ, РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

9.4.1. Выбор датчиков температуры

Выбор методов и средств измерения температуры определяется технологическими требованиями и условиями эксплуатации лесосушильных установок.

Датчики температуры должны быть работоспособны в условиях влажной и агрессивной среды лесосушильных камер, т. е. быть герметичными и коррозионноустойчивыми. Пределы измерения влажности окружающей среды 20—100 %, пределы измерения температуры 0—150 °С.

Датчики должны быть взаимозаменяемыми, обладать достаточно большим сроком службы (межремонтный период составляет в среднем 200 суток).

Предъявляются определенные требования и к инерционности. Для систем дистанционного контроля инерционность датчиков температуры не имеет большого значения, а для системы автоматического регулирования следует применять лишь малоинерционные термометры.

Для дистанционных измерений температуры наибольшее применение находят термопары, металлические и полупроводниковые термометры сопротивления. Для контроля температур в лесосушильных камерах наиболее приемлемыми являются проволочные термометры сопротивления. Имея небольшую инерционность и высокую стабильность, они позволяют обеспечить необходимую точность измерения. Габариты их невелики, установка в камерах не представляет трудности. Промышленные термометры сопротивления подразделяются на платиновые ТСП и медные ТСМ (табл. 9.2).

Инерционность термопар и термометров сопротивления принято характеризовать постоянной времени T, равной времени, необходимого для того, чтобы изменение выходной величины преобразователя, перенесенного из среды с температурой 30—35 °С в сосуд с интенсивно перемешиваемой водой с температурой 15—20 °С, достигло 63 % установившегося значения перепада.

Малоинерционные термометры сопротивления имеют постоянную времени $T \leqslant 9$ с (малоинерционные термопары — $T \leqslant 40$ с). Для термометров средней инерционности $T \leqslant 80$ с (для термопар $T \leqslant 60$ с). Для термометров большой инерционности $T \leqslant 4$ мин (для термопар $T \leqslant 3{,}5$ мин).

Для систем автоматического регулирования рекомендуются платиновые и медные термометры сопротивления малоинерционные, например платино-

9.2. Характеристика промышленных термометров сопротивления

Тип	Градуировка	Номинальное сопротивление при 0° С, Ом	Погрешность, %	Диапазон температур длительного применения, °С
ТСП	20	10	0,3—0,5	0—650
	21	46		—200—500
	22	100		—200—500
ТСМ	23	53	0,6—1,0	—50—180
	24	100		—50—180

вые ТСП-753 градуировки 21. Для систем контроля возможно использование термометров со средней инерционностью, например медных ТСМ-XI градуировки 23.

Кроме термопар и термометров сопротивления, в лесосушильной технике применяются манометрические и пневматические преобразователи температуры.

Манометрические приборы для измерения температуры, принцип действия которых основан на изменении давления газа или насыщенного пара в зависимости от температуры, сравнительно редко используются в сушильных камерах из-за невысокой точности и малой долговечности. Кроме того, система контроля для цеха с большим числом камер с этими термометрами оказывается громоздкой. В зарубежных системах контроля и регулирования манометрические преобразователи находят применение [5].

Пневматические дилатометрические преобразователи температуры, действие которых основано на преобразовании линейного расширения дилатометрического элемента при воздействии температуры в изменение давления сжатого воздуха, применяются в системах автоматического регулирования параметров среды лесосушильных камер [7].

9.4.2. Выбор регулирующих органов и исполнительных механизмов

Регулирующие органы (клапаны и заслонки) входят в состав исполнительных устройств систем автоматического регулирования, содержащих кроме регулирующих органов исполнительные механизмы. Регулирующие органы служат для регулирования расхода вещества (или энергии) с целью поддержания заданного значения регулируемой величины в управляемом объекте.

В сушильных камерах в качестве регулирующих органов применяются клапаны (регулирование подачи пара или горячей воды) и заслонки (на приточно-вытяжных каналах). Основными параметрами, определяющими выбор регулирующих органов, являются: условное или рабочее давление; условный проход, определяющий необходимую пропускную способность клапана; пропускная (расходная) характеристика, выражающая зависимость относительной пропускной способности от относительного хода штока регулирующего органа; величина негерметичности (допустимый начальный пропуск при полном закрытии клапана).

Правильный выбор характеристик регулирующих органов имеет большое значение при автоматизации объектов управления. Например, если пропускная способность будет завышена, то при нормальном режиме работы объекта потребуется лишь небольшая степень открытия регулирующего органа. Последний будет работать на начальном участке расходной характеристики, что увеличит падение давления на клапане, не обеспечит качественного регулирования параметров при использовании регуляторов непрерывного, шагового или импульсного действия. Если начальная пропускная способность клапана будет значительной, при двухпозиционном регулировании, особенно при мягких режимах, объект может оказаться не управляемым (при закрытом клапане температура в камере может продолжать расти).

Для регуляторов непрерывного действия, шаговых или импульсных важно правильно выбрать расходную характеристику регулирующего органа. Для нормального функционирования системы регулирования необходимо, чтобы регулирующий орган имел линейную или близкую к линейной расходную характеристику.

Исследования регулирующих органов КР-180 и ПРК-61 на лесосушильных камерах показали, что их фактические расходные характеристики существенно отличаются от паспортных (равнопроцентных) и близки к линейным [19, 20]. Результаты экспериментов позволили рекомендовать для применения в системах автоматизации лесосушильных камер регулирующие органы с равнопроцентной (логарифмической) пропускной характеристикой.

В лесосушильных камерах применяются одно- и двухседельные регулирующие клапаны малых и средних расходов и трехходовые клапаны.

Двухседельные клапаны обычно используются для регулирования расхода жидкостей и пара при относительно больших перепадах давлений в клапане. Наличие у клапана двух седел позволяет значительно разгрузить шток от усилий, вызываемых движущей средой. Это обусловлено тем, что перепад давлений среды в равной мере воздействует на нижнее и верхнее седло клапана и позволяет почти полностью уравновесить усилия на его штоке. Однако двухседельные клапаны характеризуются повышенной негерметичностью и, следовательно, относительно много пропускают вещества в положении полного закрытия. Например, по стандарту пропуск среды через закрытый клапан не должен превышать 0,01 % условной пропускной способности. Как показывает практика, фактический пропуск среды после уже сравнительно небольшого срока эксплуатации возрастает в несколько раз. Поэтому применять двухседельные клапаны при малых расходах пара или воды, особенно в двухпозиционных системах регулирования, не рекомендуется.

Односедельные клапаны в отличие от двухседельных не разгружены и требуют значительных усилий со стороны исполнительного механизма для их закрытия. Но конструкция этих клапанов более герметична. По стандартам допустимый пропуск для обычных односедельных клапанов равен 0,005 %, а для клапанов на малые расходы — 0,001 % условной пропускной способности. Для запорно-регулирующих клапанов начальный пропуск вообще не допускается. Поэтому для лесосушильных камер предпочтительнее использовать односедельные запорно-регулирующие клапаны. При этом необходимо учитывать, что для односедельных клапанов большое значение имеет направление подачи регулируемой среды. Если движение среды направлено от привода (в сечении седла), поток своим статическим давлением стремится прижать плунжер к седлу.

Для определения условного прохода регулирующего органа надо иметь следующие данные: максимальный расход пара (или горячей воды) на автоматизируемую сушильную камеру, свойства пара или воды (давление, температуру, удельный объем или плотность), давление перед регулирующим органом и падение давления на нем. Расход теплоносителя определяется для конкретной камеры по известной методике расчета [25].

Давление в паровой магистрали обычно рекомендуют поддерживать в пределах 0,3—0,5 МПа. Потери давления обусловливаются потерями на трение в трубопроводе и на преодоление местных сопротивлений (сужения,

9.3. **Условная пропускная способность K_{vy} регулирующих клапанов, м³/ч [26]**

Регулирующие клапаны	Проходы условные D_y, мм		
	15	20	25
Двухседельные средних расходов	—	—	4; 6,3; 10
Односедельные средних расходов	—	—	3,2; 5; 8
Трехходовые средних расходов	—		2,3; 5; 8
Односедельные малых расходов	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5	1,6; 2,5; 4,0	—

Продолжение

Регулирующие клапаны	Проходы условные D_y, мм			
	32	40	50	65
Двухседельные средних расходов	6,3; 10; 16	10; 16; 25	16; 25; 40	25; 40; 63
Односедельные средних расходов	5; 8; 12	8; 12; 20	12; 20; 32	20; 32; 50
Трехходовые средних расходов	5; 8; 12	8; 12; 20	12; 20; 32	20; 32; 50
Односедельные малых расходов	—	—	—	—

Примечание. Максимально допустимые перепады давления ΔP_{max} в двухседельных клапанах средних расходов равны 1,6 МПа/см², для остальных клапанов они назначаются по данным заводов-изготовителей.

колена трубопровода, запорные органы, в технологических аппаратах — калорифере и т. д.).

Известно, что высокое качество регулирования можно получить в том случае, если перепад давления в регулирующем органе больше максимальных потерь давления в трубопроводах и технологических аппаратах. Но повышение перепада на регулирующем органе приводит и к некоторым отрицательным последствиям — к необходимости повышения давления в питающей магистрали, к увеличению износа уплотнений, мощности привода. Значительное уменьшение перепада давлений приводит к увеличению проходного сечения регулирующего органа, уменьшению относительного хода его затвора и ухудшению качества регулирования. Поэтому перепад давления должен быть выбран оптимальный с учетом допустимых потерь в трубопроводах.

В схеме теплоснабжения камеры за калорифером установлен конденсатоотводчик, производительность которого зависит от перепада давления на нем. Поэтому значительные потери давления до конденсатоотводчика недопустимы, так как в этом случае при максимальном расходе пара может оказаться, что производительность конденсатоотводчика упадет ниже требуемой и калорифер будет заполняться конденсатом. При избыточном давлении в магистрали 0,4 МПа общие потери давления в трубопроводе и регулирующем органе для современных лесосушильных камер можно принять равными 0,075 МПа.

9.4. Технические показатели электрических исполнительных механизмов

Исполнительный механизм	Угол поворота выходного вала, град. (или штока, мм)	Номинальный момент на выходном валу, Н·м	Длительность оборота вала (или полуоборота), с	Потребляемая мощность, Вт	Масса, кг	Габаритные размеры	Завод-изготовитель
ДР-М	(20)	—	—	—	6	122×240×285	Севанский завод исполнительных механизмов
ДР-1М	180	До 10	10—120	60	5	122×240×180	
ПР-М	(20)	До 10	10—120	60	6,5	122×240×285	
ПР-1М	180	10	10—120	60	5	122×240×285	
ИМ-2,5	До 360	20	2,5	200	19	382×445×230	Чебоксарский завод исполнительных механизмов
ИМТ-4/2,5	До 360	40	2,5	600	25	322×475×230	
ИМ-2/120 *	До 120	20	120	—	22	216×230×210	
ИМТ-6/120	15—345	60	120	180	42	330×575×580	
ИМТ-6/30М	15—345	60	30	400	42		
КДУ с приводом РМ	90	250	30	270	35		
МЗМ 4/2,5	—	40	2,5	—	—		

* С 1979 г. вместо ИМ-2/120 завод выпускает исполнительные механизмы МЭО-1,6-7

Характеристики регулирующих клапанов приведены в табл. 9.3. Выбранный по табл. 9.3 диаметр условного прохода клапана должен удовлетворять условию

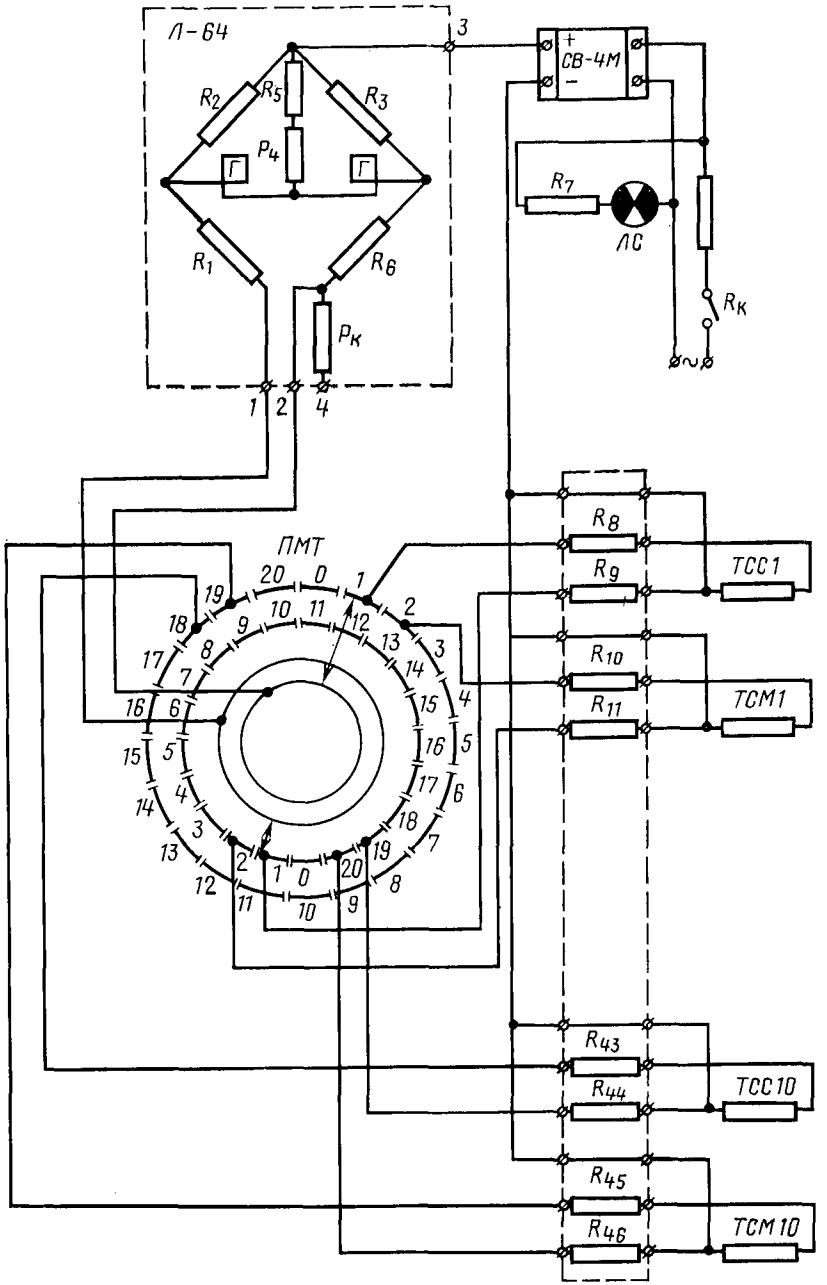
$$D_{тр} \geqslant D_{у} \geqslant 0{,}5\,D_{тр}, \tag{9.6}$$

где $D_{тр}$ — диаметр трубопровода.

Для применения в камерах периодического действия (при сравнительно небольших расходах пара) СвердНИИПДревом рекомендован паровой регулирующий кран ПРК-61 (изготовитель — завод «Уралмонтажавтоматика») [20], который при испытаниях и промышленной проверке показал удовлетворительные результаты в работе.

В проектируемых и выпускаемых серийно промышленностью металлических камерах применяются клапаны регулирующие с электродвигательным приводом, например 25ч931нж с приводом ПР-1М (изготовитель — арматурный завод, г. Гусь-Хрустальный).

Для надежной работы системы автоматического управления очень важно правильно выбрать исполнительные механизмы для перемещения регулирующих органов. При этом необходимо учитывать следующее: тип регулирующего органа; обеспечение необходимого рабочего диапазона его перемещения (характеризуется длительностью оборота выходного вала или ходом его штока); обеспечение требуемого быстродействия, достаточная величина пускового момента, возможность работы привода при перегрузках; обеспечение точности в процессе работы (характеризуется величиной инерционного выбега выходного вала); возможность применения при изменяющихся внешних условиях (например, повышенные температура и влажность); относительная простота эксплуатации; надежность в работе; обеспечение значительного срока службы.


Л-64
R2
R5
R3
P4
Г
Г
R1
R6
Pк
1
2
4
3
СВ-4М
+
−
R7
ЛС
Rк
ПМТ
R8
R9
ТСС1
R10
R11
ТСМ1
R43
R44
ТСС10
R45
R46
ТСМ10

Чаще всего в схемах автоматизации лесосушильных камер применяются электрические исполнительные механизмы (пневматические исполнительные механизмы применяются в некоторых зарубежных камерах, а в СССР — в пневматической системе автоматизации «ПУСК-3Д» используются мембранные пневматические исполнительные механизмы). В табл. 9.4 приведены технические характеристики некоторых электрических исполнительных механизмов [29].

Исполнительные механизмы ДР применяются в системах позиционного регулирования для перемещения регулирующего органа из одного крайнего положения в другое. Эти механизмы работают только при горизонтальном расположении вала ротора электродвигателя. Электрические исполнительные механизмы ИМ-2/2,5 и ИМТ-4/2,5 предназначаются также для систем позиционного регулирования. От механизмов ДР они отличаются большой мощностью и быстродействием.

Исполнительные механизмы ПР могут применяться в системах автоматического регулирования позиционного и непрерывного действия. Но при испытаниях и в процессе эксплуатации зачастую выходят из строя, являются недостаточно надежными в условиях лесосушильных камер. Особенно ненадежно они показали себя в камерах СП-5КМ при установке на регулирующих заслонках приточно-вытяжных каналов. Более устойчивыми и надежными в работе являются исполнительные механизмы ИМ-2/120, рекомендуемые по результатам испытаний для широкого применения в лесосушильных камерах [4].

Если для перемещения регулирующих органов требуются значительные усилия, например для регулирующих заслонок, можно применять исполнительные механизмы ИМТ или механизм дистанционного управления КДУ. В регулирующих органах с винтовым шпинделем, требующим для своего перемещения нескольких оборотов, используются многооборотные исполнительные механизмы МЗМ.

9.5. ПРИБОРЫ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

9.5.1. Дистанционный контроль температуры и влажности агента сушки

Температуру и влажность агента сушки контролируют электрическими дистанционными психрометрами. На рис. 9.5 показана принципиальная электрическая схема системы дистанционного контроля температур и влажности среды для десяти камер. В качестве датчиков температуры применены медные термометры сопротивления ТСМ-Х градуировки 23. В каждой камере

Рис. 9.5. Принципиальная электрическая схема системы дистанционного контроля:
сопротивления R_1, R_2, R_3 — постоянные плечи; $Г$ — сопротивление рамки подвижной системы логометра; R_4 и R_5 — сопротивления для температурной компенсации и изменения пределов шкалы; $R_К$ — эталонное сопротивление, заменяющее термометр при настройке; ТСС1, ТСМ1 — переменные сопротивления термометров; R_8—R_{46} — сопротивления для доведения до номинального значения сопротивления линии

установлены два термометра сопротивления: сухой *ТСС1* и смоченный *ТСМ1*. На схеме показан пример подсоединения термометров для одной камеры. Остальные термометры подсоединяются аналогично к соответствующим клеммам переключателей (термометры сопротивления *2* камеры к клеммам *2—2* переключателей и т. д.).

Вторичным прибором является логометр *Л-64* градуировки 23 с пределами показаний 0—100 °С. При высокотемпературных режимах используется логометр со шкалой 0—150 °С. Термометры сопротивления подключают к логометру щеточным переключателем ПМТ-20 по трехпроводной схеме для уменьшения влияния окружающей температуры на показания прибора.

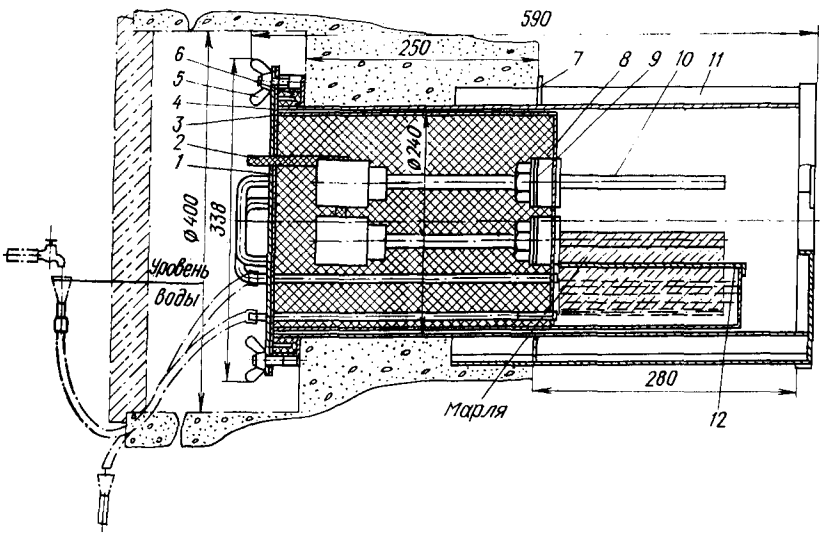


Рис. 9.6. Устройство для установки датчиков:
1 —крышка; *2* — кабель; *3* — стакан; *4* — труба; *5* — гайка; *6* — уплотнение из термостойкой резины; *7* — пластинка для крепления трубы; *8* — теплоизоляция; *9* — шайба; *10* — термометр сопротивления; *11* — ограждение; *12* — ванночка

Необходимая величина сопротивления каждого из проводов линии (2,5 Ом) достигается путем уменьшения длины провода с соответствующей уравнительной катушки. Питание логометра осуществляется от источника сетевого питания ИСП-2. Напряжение сети 127 или 220 В переменного тока; выпрямленное напряжение 4 В.

В качестве вторичного прибора можно использовать электронные автоматические уравновешенные мосты, например самопишущие многоточечные мосты ЭМП-20, МС1-10 или показывающие ЭМВ-2. При этом монтаж, установка датчиков, система питания водой не изменяются, к системе контроля вместо логометра добавляется только вторичный прибор-мост.

Датчики температуры желательно устанавливать в сушильных камерах при помощи съемных устройств, обеспечивающих надежное крепление чувствительных элементов и питание водой смоченного термометра. Пример конструкции устройства для установки датчиков в камерах периодического дей-

ствия показан на рис. 9.6. Устройство крепится в нише торцовой зоны камеры. Датчики (термометры сопротивления) ввинчены в торец стакана, который вставляется в трубу и закрепляется гайками. Вода для увлажнения подается из магистрали в ванночку. Устройство обеспечивает герметичность и теплоизоляцию датчиков и удобно в эксплуатации.

В камерах периодического действия с реверсивной циркуляцией датчики необходимо устанавливать в торце камеры со стороны коридора управления на высоте 1,5 м от пола. В камерах непрерывного действия датчики устанавливаются в разгрузочном и загрузочном концах камеры соответственно со стороны входа агента сушки в сушильное пространство камеры и его выхода. Блок датчиков располагается так, чтобы тепловое излучение от калорифера не влияло на показания термометров сопротивления.

9.5.2. Одноканальные двухпозиционные регуляторы

При использовании серийных одноканальных регуляторов процесс сушки регулируется по температурам сухого и смоченного термометров. На каждую сушильную камеру устанавливается два регулятора, два исполнительных органа и блок датчиков с сухим и смоченным термометрами.

Одним из наиболее простых промышленных регуляторов является электрический регулятор температуры «ЭРА-М», работающий по двухпозиционному принципу с медным термометром сопротивления ДТ-1. Система регулирования на базе регуляторов «ЭРА-М», являясь наиболее простой электронной системой, обеспечивает поддержание заданной температуры с точностью ±1—2 °С и температуры смоченного термометра с точностью ±1,5—3 °С. Более высокое качество регулирования обеспечивается электронными уравновешенными мостами, например ЭМВ2-211А или КСМ4 (табл. 9.5).

Электронный показывающий и регулирующий уравновешенный мост ЭМВ2-211 с вращающимся цилиндрическим циферблатом обеспечивает автоматическое регулирование и контроль температуры от одного проволочного термометра сопротивления. Заданное значение регулируемой температуры может быть установлено в пределах всей шкалы. Допускаемая сила тока через контакты регулятора — 15 А при напряжении 220 В и неиндукционной нагрузке. Основная допустимая погрешность показывающей части прибора при температуре окружающего воздуха 20 °С не превышает ±0,5 % интервала шкалы прибора. Заданная температура может поддерживаться с точностью ±1 °С. Мосты этого типа надежны в работе, просты в обслуживании и сравнительно недороги. Они могут работать с электрическими исполнительными механизмами любых типов.

Электронный уравновешенный автоматический мост ЭМР-209, снабженный регулирующим устройством, может не только показывать и записывать на диаграмму, но и регулировать температуру в одной точке. По техническим характеристикам мост аналогичен прибору ЭМВ2-211. Применение самопишущих мостов рационально при необходимости тщательного непрерывного контроля за ходом процесса сушки.

Схемы внешних соединений приводятся в описаниях соответствующих приборов.

9.5. Приборы для контроля и автоматического регулирования процессов сушки

Наименование	Тип, марка	Шкала, °С, градуировка	Применение	Завод-изготовитель
Технические ртутные термометры: прямые и с углом изгиба 90°, длина нижней части, мм: 60, 80, 100, 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500	ТТ-1	0—100; 0,150; 0—200	Измерение температуры в камерах, сушильных шкафах, использование в качестве психрометров	Термометровый, г. Клин
Термометры ртутные лабораторные	ТЛ-2	0—100; 0—150; 0—250	Точные измерения температуры и контроль технических термометров	То же
Термометры сопротивления медные погружаемые, длина монтажной части 80, 160, 200 мм, материал защитной арматуры сталь 20 или сталь Х18Н10Т	ТСМ-Х	—50—100, град. 23	Дистанционный контроль температуры и влажности в камерах	Приборостроительный, г. Луцк
Термометры сопротивления медные погружаемые, длина монтажной части 100, 250, 320 мм, материал защитной арматуры латунь Л-63	ТСМ-ХI	—50—100, град. 23	То же	То же
Термометры сопротивления медные погружаемые, длина монтажной части 80, 100, 120, 160, 200, 250 мм, длина выводов 1, 2, 3, 4, 5 м, материал защитной арматуры сталь Х18Н10Т, сталь Х13	ТСМ-6097	—50—150, град. 23	Дистанционный контроль температуры и влажности в камерах	Приборостроительный, г. Луцк
Термометры сопротивления платиновые погружаемые, длина выводов 1, 2, 3, 4, 5, м ма-	ТСП-6097	—50—150, град. 21 и 22	Датчики в системе автоматического регулирования	То же

териал защитной арматуры сталь Х18Н10Т, сталь Х13			температуры и влажности в камерах	
Логометр щитовой профильный показывающий (ТУ 25-04-3040—75)	Л-64	0—100; 0—150, град. 23	Дистанционный контроль температуры и влажности в камерах	Завод приборов, г. Ереван
Мосты уравновешенные автоматические показывающие с вращающимся циферблатом двенадцатиточечные в тропическом исполнении	КВМ1-508	0—150	В системе контроля и регулирования температуры лесосушильных камер	Мукачевприбор
Мосты уравновешенные автоматические самопишущие, типоразмер 1300, быстродействие 16 с, с трехпозиционным регулирующим устройством	КСМ3	0—100; 0—150, град. 21	В системе контроля и регулирования температуры лесосушильных камер	«Теплоприбор», г. Челябинск
Мосты уравновешенные автоматические самопишущие, типоразмер 42.543.50.229 на 12 точек, длительность прохождения шкалы 2,5 с, с двух-, трехпозиционным регулирующим устройством с раздельной дистанционной задачей на каждую точку (вместо ЭМР-209 РДМ3)	КСМ4	То же	То же	«Манометр», г. Москва
Электрический автоматический регулятор температуры (ТУ 25-03-499—71)	ЭРА-М	0—100; 0—150	В системе контроля и регулирования температуры лесосушильных камер	Оптико-механический, г. Умань
Пневматическая система централизованного контроля и управления	ПУСК-3Д	20—120	В системе контроля и регулирования температуры лесосушильных камер непрерывного действия	Завод приборов, г. Усть-Каменогорск

9.5.3. Многоканальные регуляторы

При использовании многоканальных общепромышленных регуляторов процесс сушки ведется по температурам сухого и смоченного термометров. На блок камер устанавливается один регулирующий прибор. Наиболее широкое применение для автоматизации сушки могут найти автоматические электронные мосты с многоканальным регулирующим устройством, например КСМ4 (см. табл. 9.5). Эти приборы имеют двенадцать измерительных каналов и могут, следовательно, регулировать по двум параметрам ($t_с$ и $t_м$) шесть объектов. Точность контроля и регулирования аналогична точности электронных регулирующих мостов ЭМВ2-211 и ЭМР-209. Число каналов измерения, записи и регулирования — 12. Регулирующее устройство — трехпозиционное.

Точность срабатывания позиционного регулирующего устройства — 1 % длины шкалы прибора. Зона «норма» (или зона нечувствительности для двухпозиционного регулирования) может устанавливаться в пределах 0—100 % длины шкалы прибора. Задание по каждому каналу осуществляется независимо.

Кроме электрических, в сушильных камерах применяются пневматические регуляторы. Специально для сушильных камер ЦНИИ комплексной автоматизации (ЦНИИКА) и Усть-Каменогорский завод приборов разработали пневматическую систему централизованного контроля и управления «ПУСК-3Д». Система прошла опытную эксплуатацию и межведомственные испытания, рекомендована к серийному выпуску на Усть-Каменогорском заводе приборов.

Установка предназначена для управления процессами сушки древесины в лесосушильных камерах и выпускается в двух модификациях: «ПУСК-3Д-10» — для десяти камер; «ПУСК-3Д-6» — для шести камер. Структурная схема «ПУСК-3Д» приведена на рис. 9.7. Установка выполняет следующие функции:

одновременное и независимое стабилизирующее регулирование температур по сухому и смоченному термометрам путем воздействия на исполнительные механизмы (по сухому — подача теплоносителя в калориферы, по смоченному — впуск пара в пропарочные трубы и степень открытия заслонок приточно-вытяжных каналов);

автоматическое обнаружение и сигнализацию отклонений регулируемых параметров от установленных допусков;

запись четырех пневматических аналогов сигналов $П_с$ и $П_в$ (от сухого и смоченного термометров), $Н_с$ и $Н_в$ (сигналов от задатчиков);

оперативный контроль по вызову любого из каналов регулирования.

Установка включает станцию централизованного контроля и управления (СЦКУ), преобразователи температуры и исполнительные механизмы. Связь СЦКУ с преобразователями температуры (датчиками) и исполнительными механизмами осуществляется с помощью пневматических линий.

Основные технические данные системы:

пределы регулирования температуры 20—120 °С;

закон регулирования температуры по сухому термометру — двухпозиционный с настраиваемой зоной гистерезиса (от 0,5 до 5 °С).

закон регулирования температуры по смоченному термометру — трехпозиционный с настраиваемыми зонами гистерезиса (от 0,5 до 5 °С) и нечувствительности (от 0,5 до 2 °С);

нормы отклонений параметра (два уровня — верхний и нижний) — в пределах 5—15 °С индивидуально по каждому каналу симметрично относительно задания;

основная допустимая погрешность регулирования ±2,5 % верхнего предела измерения;

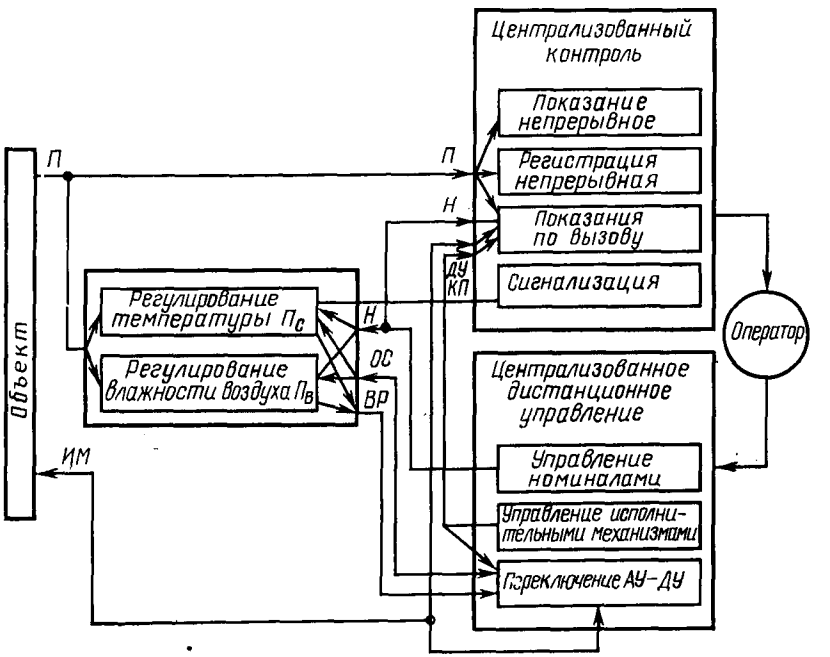


Рис. 9.7. Структурная схема системы «ПУСК-3Д»

условия эксплуатации: температура окружающей среды 5—50 °С, относительная влажность 30—80 %;

расход воздуха в установившемся режиме, приведенный к атмосферному давлению, не более 15 м³/ч;

электрическое питание — от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Как показали исследования и опыт эксплуатации, качество стабилизирующего регулирования параметров среды при использовании системы «ПУСК-3Д» в камерах периодического действия соответствует III категории качества сушки пиломатериалов, а в ряде случаев — II категории. По резуль-

татам испытаний в камерах «Valmet» качество регулирования параметров среды системой «ПУСК-3Д» удовлетворяет требованиям технологии сушки в камерах непрерывного действия.

9.5.4. Регуляторы «Роса»

Специально для автоматизации лесосушильных камер предназначен регулятор параметров режимов сушки по психрометрической разности «Роса». Опытный образец регулятора разработан в Свердловском научно-исследова-

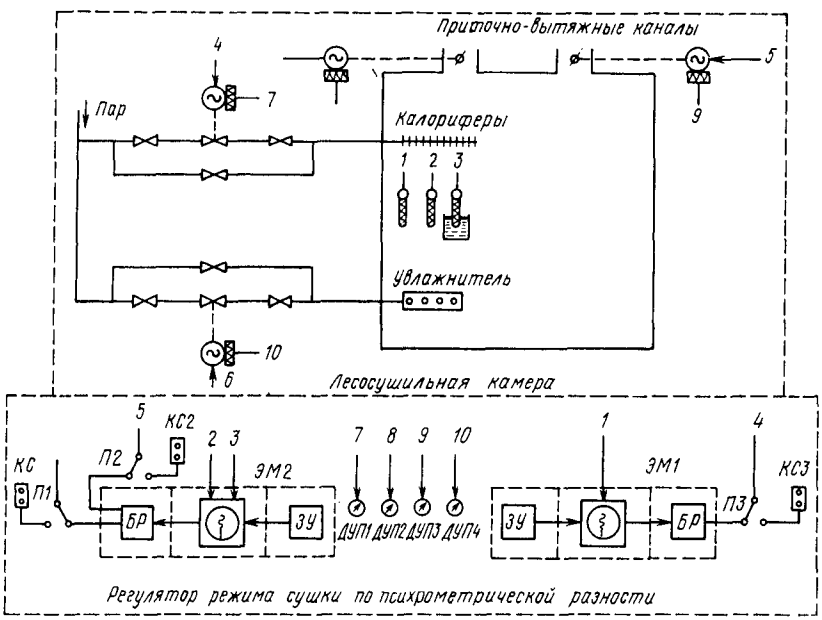


Рис. 9.8. Схема регулирования параметров среды (t_c и Δt) лесосушильных камер с применением регулятора «Роса»

тельском институте переработки древесины. Он прошел опытную эксплуатацию и ведомственные испытания.

Техническая характеристика регулятора «Роса»

Диапазон измерения и регулирования температуры, °С	0—100 или 0—150
Диапазон измерения и регулирования психрометрической разности, °С	0—40
Основная погрешность показаний температуры и психрометрической разности не превышает, %, верхнего предела измерения	0,5
Основная погрешность записи температуры и психрометрической разности не превышает, %, верхнего предела измерения	1
Минимальная зона нечувствительности регулятора, %, верхнего предела измерения	20

Разрывная мощность контактов реле на выходе регулятора в цепи переменного тока при напряжении до 220 В не превышает, В·А	500
Питание регулятора:	
В	127/220
Гц	50
Потребляемая мощность около, В·А	100
Температура воздуха в месте установки регулятора, °С	5—50
Влажность воздуха, %	30—80

Принцип действия регулятора поясняет рис. 9.8. Электронный мост *ЭМ1* получает сигнал от сухого термометра сопротивления *1*. Преобразовав сигнал, мост *ЭМ1* показывает и автоматически записывает температуру t_c воздуха в камере. Кроме того, мост *ЭМ1* сравнивает измеренную температуру с сигналом задающего устройства *ЗУ* и с помощью блока реле *БР* через ключ *П3* выдает сигнал на исполнительный механизм клапана подачи пара в калориферы.

Электронный мост *ЭМ2*, получив сигнал от сухого *2* и смоченного *3* термометров сопротивления, показывает и записывает психрометрическую разность воздуха в камере. Одновременно мост *ЭМ2* сравнивает психрометрическую разность с сигналом, выдаваемым задающим устройством *ЗУ*, и с помощью блока реле *БР* через ключи *П1* и *П2* выдает сигнал на исполнительные механизмы заслонок приточно-вытяжных каналов камеры и исполнительный механизм клапана подачи пара в увлажнитель (перфорированную трубу).

Реохорды обратной связи исполнительных механизмов соединены с дистанционными указателями положения *ДУП1—ДУП4*, стрелки которых показывают положение паровых клапанов и заслонок приточно-вытяжных каналов камеры. При необходимости дистанционного ручного управления регулирующим органом соответствующий ключ из числа *П1—П3* переключают на кнопочную станцию *КС* и нажимают на кнопку «открыть» или «закрыть».

9.6. ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Задачи контроля влажности при сушке пиломатериалов обусловливаются особенностями процессов сушки и требованиями к ее качеству. Так как режимы сушки построены в зависимости от влажности высушиваемой древесины, необходимо измерять среднюю начальную влажность пиломатериалов, влажность высушиваемого штабеля и его конечную влажность. Кроме того, для оценки качества сушки необходимо определять равномерность распределения влажности высушенных пиломатериалов по объему штабеля, измерять перепад влажности по толщине материала.

Для измерения влажности древесины в эксплуатационных условиях обычно применяют электрические кондуктометрические влагомеры, основанные на зависимости сопротивления древесины от ее влажности. Они просты по конструкции, достаточно надежны в работе, могут быть переносными (с автономным источником питания), удовлетворяют требованиям, предъявляемым к точности при рядовом производственном контроле. Такие влагомеры применяются за рубежом и в Советском Союзе. В ЦНИИМОДе разработан переносной электровлагомер ЭВА-2 с аккумуляторным питанием, на

базе которого серийно выпускается влагомер ЭВ-2К (Приборостроительный завод, г. Камо Армянской ССР). Однако этот влагомер питается от сети переменного тока, что ограничивает его применимость. Электронный влагомер ЭВ-2К предназначен для измерения влажности пиломатериалов, заготовок и изделий из древесины сосны, ели, березы, бука, дуба. Технические данные прибора:

пределы измерения по влажности для древесины сосны 7—22 % на первом диапазоне и 22—60 % на втором;

основная абсолютная погрешность прибора в зоне внедрения электродов датчика не более ±2 % влажности в пределах 7—12 % и не более 3 % в пределе 12—30 %. Эта краткая характеристика типична для кондуктометрических влагомеров и отражает их положительные стороны и недостатки. К последним относятся: невысокая точность измерения; определение влажности в одной точке, а следовательно, необходимость большого числа замеров для определения влажности партии пиломатериалов; влияние на результаты измерения неоднородности свойств древесины, перепадов влажности по толщине и длине материала и т. д.; зависимость результатов измерения от положения игл датчика в древесине и ее температуры.

Кондуктометрические влагомеры используются также для дистанционного контроля влажности древесины во время сушки и регулирования процесса по этой влажности (например, в ФРГ в измерительно-регулирующих установках «Hydromat TKA»).

В СвердНИИПдреве разработан дистанционный измеритель влажности древесины ДВС-2М [6]. Выпущена и испытана опытная партия прибора. Этот прибор предназначен для определения текущей влажности древесины в процессе камерной сушки. Он является переносным с питанием от встроенного генератора электрического тока. Основные технические данные ДВС-2М:

пределы измерения на первом диапазоне от 24 до 60 % влажности, на втором — от 8 до 38 % при температуре древесины от 40 до 90 °С. Шкала прибора отградуирована в единицах электрического сопротивления, а влажность находится по переводным таблицам;

погрешность измерения не превышает: в диапазоне 8—10 % — ±2 %; 10—17 % — ±3 %; 17—30 % — ±5 %. При влажности более 30 % погрешность не нормируется;

время, затрачиваемое на одно измерение, не превышает 10 с;

масса прибора без датчика не более 5,5 кг, габаритные размеры 177××237×215 мм.

Электрическое сопротивление древесины измеряется с помощью двухэлектродного игольчатого датчика и мегомметра со встроенным генератором тока, работающим при вращении рукоятки. Датчики устанавливаются в контрольные образцы досок, которых на один штабель должно быть не менее трех. Для их подсоединения к прибору в камере прокладывается теплостойкий кабель.

Влагомеры ДВС-2М довольно просты и надежны. Но им присущи те же недостатки, что и для кондуктометрических влагомеров: локальность определения влажности, что требует установки большого числа датчиков на штабель; невысокая точность, что не позволяет обеспечить сушку по I—II категориям качества. Однако это не исключает применимость влагомеров ДВС-2М

при сушке пиломатериалов, так как ими можно проконтролировать влажность древесины в конце сушки не хуже, чем общепринятым методом высушивания контрольных образцов, закладываемых в штабель.

Текущую влажность штабеля в процессе сушки более точно можно определять по изменению массы штабеля (или его части). Для применения массового метода контроля влажности необходимо разработать устройство для взвешивания штабеля (или его части) в процессе сушки, надежно работающее в условиях высоких температур и влажности агрессивной среды камер, а также методы и средства измерения начальной влажности пиломатериалов.

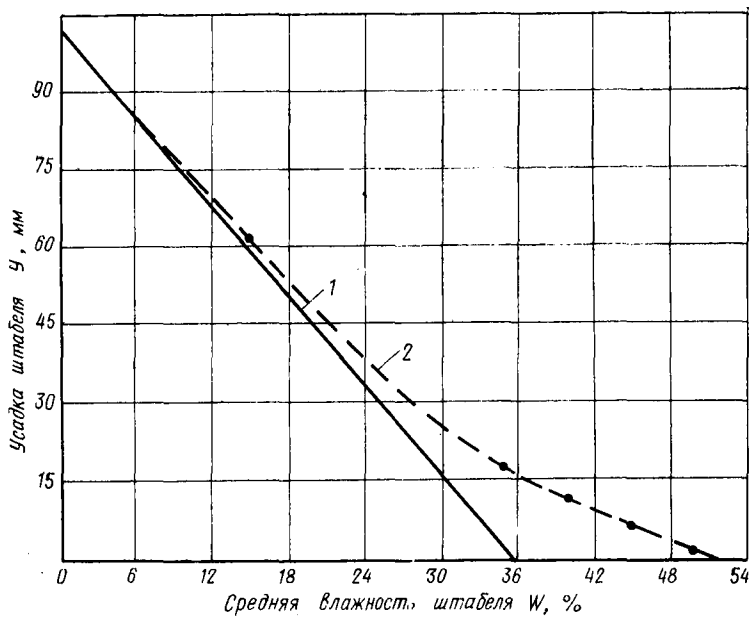


Рис. 9.9. Зависимость усадки штабеля от средней влажности (для березы): *1* — расчетная; *2* — экспериментальная

Имеется ряд предложений по конструкции устройств для взвешивания штабеля в процессе сушки. Используются тензометрические, магнитоупругие датчики, пружинные с реостатным преобразователем, пневматические, гидравлические и т. п. Однако массовый метод промышленного применения пока не нашел, так как нет точных надежных методов определения начальной влажности штабеля. Необходимо разработать автоматические влагомеры для измерения влажности пиломатериалов при их формировании в сушильный штабель. В этом случае можно будет реализовать массовый метод дистанционного контроля высушиваемых пиломатериалов.

Для контроля текущей влажности штабеля и момента окончания сушки предложен метод усадки, основанный на свойстве древесины изменять линейные размеры и объем при изменении влажности. Усадка штабеля в су-

шильных камерах зависит в основном от влажности пиломатериала, но на нее влияют и другие факторы: порода, толщина пиломатериала; характер распиловки досок (радиальная, тангенциальная или смешанная); состояние прокладок. Могут также влиять: режим сушки; неравномерность влажности досок по штабелю; внутренние напряжения при сушке; коробление досок; способ укладки штабеля. Если начальная влажность пиломатериалов превышает 35—40 %, она не влияет на величину усадки.

Исследования ЛТА, МЛТИ показали, что при разработке тарировочных кривых следует учитывать лишь породу и толщину материала. Влияние остальных факторов должно исключаться. Величина усадки от режима почти не зависит (по данным ЛТА [10]). К тому же режим учитывается при градуировке, так как определенный материал сушится при почти одинаковых режимах. Влияние коробления и перекосов штабеля должно исключаться выбором конструкции воспринимающего элемента измерителя усадки. А прокладки необходимо применять только сухие. Характер распиловки при градуировке учесть невозможно, но для штабеля в целом различия в характере распиловки, как и в условной плотности, должны нивелироваться. Другими словами, градуировка ведется для смешанных партий пиломатериалов.

9.6. Коэффициенты усадки

Пиломатериал		$K_у$, %
Порода	Толщина, мм	
Ель, сосна	25—35	0,25
То же	40—50	0,22
Береза	25—50	0,32

На рис. 9.9 дан пример зависимости усадки от средней влажности штабеля: $Y=f(W)$. Из рисунка видно, что при влажности штабеля ниже 20—25 % существует линейная зависимость. Эту зависимость можно характеризовать коэффициентом усадки штабеля [10]

$$K_у = Y\ 100/[H_{шт}(30 - W_к)],$$

где $H_{шт}$ — высота измеряемой сырой части штабеля (без прокладок), мм; $W_к$ — конечная влажность, %; 30 — условная влажность, %, при которой должна начинаться усадка для хвойных пиломатериалов (для березы эту влажность принимают равной 35 %).

Коэффициент усадки штабеля $K_у$ для пиломатериалов определенной породы и размера (табл. 9.6) является постоянной величиной (при влажности ниже 20—25 %). Поэтому градуировочные кривые можно строить по известным значениям $K_у$, полученным при специально проведенных опытных сушках. Коэффициент усадки штабеля соответствует относительному уменьшению высоты штабеля при снижении его средней влажности на 1 %. При использовании метода усадки в промышленности эти коэффициенты уточняются для конкретных условий производства.

Простота, возможность дистанционного измерения усадки штабеля и другие преимущества метода очевидны. Поэтому в последние годы рядом институтов разработаны несколько вариантов приборов и систем контроля влажности пиломатериалов в процессе сушки по усадке штабеля. Наиболее характерными являются приборы, разработанные МЛТИ, ЛТА им. С. М. Кирова и ЦНИИМОДом. Ниже в качестве примера рассмотрена система кон-

струкции ЦНИИМОДа. Характерной ее особенностью является установка датчиков, преобразующих перемещение в электрический сигнал, непосредственно на штабеле пиломатериалов (рис. 9.10).

Специальные прокладки (держатели), например, металлические, вставляются с боковой стороны штабеля между досками, отступя несколько рядов сверху и снизу, чтобы исключить влияние коробления на показания прибора. Причем расстояние между прокладками берется постоянным, например 1,5—1,8 м, принятым ранее при градуировке прибора. Такой метод измерения усадки при помощи двух базовых плоскостей позволяет исключить влияние возможных смещений нижней базы, если последней являются конструктивные части камеры.

В нижней прокладке закрепляется катушка датчика, к верхней подвешивается сердечник катушки так, чтобы он находился в верхнем положении, отмеченном риской. Положение сердечника регулируется с помощью стержня в патроне. В процессе сушки сердечник перемещается в катушке, изменение индуктивности которой служит мерой измерения усадки.

Для устранения влияния возможных перекосов штабеля аналогичный датчик устанавливается с противоположной его стороны. Датчики присоединяются к измерительному прибору, расположенному в лаборатории сушильного цеха, медным многожильным кабелем. Основой измерительной схемы является мостовая схема переменного тока.

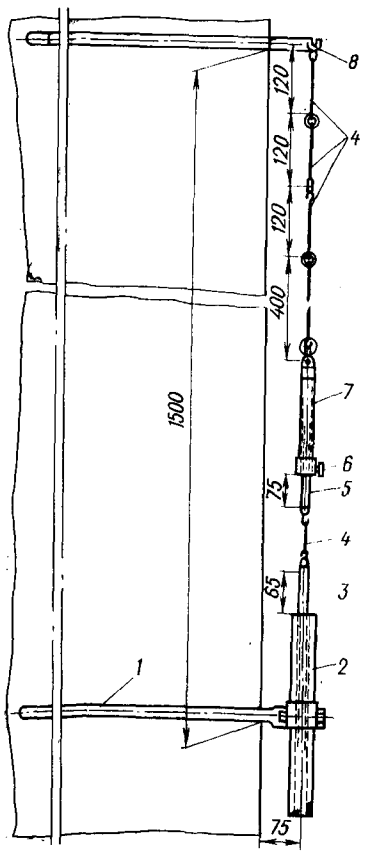


Рис. 9.10. Схема установки датчиков усадки на штабеле:
1 — нижний держатель; *2* — катушка; *3* — сердечник; *4* — тросик; *5* — стержень; *6* — стопорный винт; *7* — патрон; *8* — верхний держатель

Результаты испытаний прибора, проведенные на паровых камерах периодического действия, показали, что методом усадки можно контролировать конечную влажность штабеля с достаточной для практики точностью (±1,5—2 %). Поэтому метод контроля влажности по усадке штабеля можно рекомендовать для внедрения в промышленность.

ГЛАВА 10. АТМОСФЕРНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

10.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Атмосферная сушка заключается в выдерживании древесины в определенных условиях, создаваемых рациональным размещением пиломатериалов на открытом воздухе с защитой их от непосредственного воздействия осадков и солнечных лучей или в специально устроенных помещениях, иногда с искусственным продуванием, но без подогрева. Атмосферная сушка может происходить только в активные сезоны года, т. е. весной, летом и в начале осени. Она ограничивается низшим пределом влажности древесины 18—22 % (воздушносухим состоянием).

Правила атмосферной сушки и хранения пиломатериалов на открытых складах регламентируются ГОСТ 3808.1—80 для древесины хвойных пород (кроме брусьев и пиломатериалов авиационных и резонансовых) и ГОСТ 7319—80 для древесины твердых лиственных пород. По ГОСТ 3808.1—80, территория СССР разделена на условные климатические зоны:

1-я — Архангельская, Мурманская, Вологодская, Кировская, Пермская, Свердловская, Сахалинская, Камчатская и Магаданская области, северная половина Западной и Восточной Сибири и Коми АССР, северная часть Хабаровского края и Восточная часть Приморского края;

2-я — Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская области, южная часть Хабаровского и западная часть Приморского края;

3-я — Латвийская ССР, Литовская ССР, Эстонская ССР, Белорусская ССР, Смоленская, Калининградская, Московская, Калининская, Орловская, Тульская, Рязанская, Ивановская, Ярославская, Горьковская, Брянская, Челябинская, Владимирская, Калужская, Костромская, Амурская области, южная часть Западной и Восточной Сибири, Чувашская АССР, Марийская АССР, Мордовская АССР, Татарская АССР, Башкирская АССР, Удмуртская АССР.

4-я — Украинская ССР, Молдавская ССР, Курская, Астраханская, Куйбышевская, Саратовская, Волгоградская, Оренбургская, Воронежская, Тамбовская, Пензенская, Ростовская, Ульяновская области, Северный Кавказ и Закавказье.

Пиломатериалы, поступающие для атмосферной сушки при среднесуточной температуре 5 °С и выше, должны быть антисептированы в соответствии с требованиями ГОСТ 10950—75. По требованию потребителей пиломатериалы в зависимости от назначения не должны подвергаться антисептированию.

Штабеля на складе рекомендуется располагать по отношению к господствующим ветрам последовательно в зависимости от толщин пиломатериалов: до 25 мм — с наветренной стороны, свыше 50 мм — в середине, от 25 до 50 мм — с подветренной стороны. Пиломатериалы, пораженные гнилью, должны быть уложены на особо отведенный для них участок с подветренной стороны склада.

Атмосферная сушка пиломатериалов должна производиться до влажности не более 22 %. Ориентировочные сроки сушки для различных климатических зон СССР указаны в табл. 10.1.

10.1 Ориентировочные сроки сушки пиломатериалов на открытых складах до влажности не более 22 %

Месяц укладки пиломатериалов	Номер климатической зоны	Срок сушки в днях при толщине пиломатериалов, мм		
		15—25	35—50	55—75
Март	4	12—28	25—32	35—45
Апрель, май	1	34—38	43—51	55—64
	2	30—34	38—47	51—60
	3	25—30	34—36	43—51
	4	13—15	17—22	22—30
Июнь, июль	1	13—17	22—43	43—55
	2	10—13	17—34	34—51
	3	9—10	15—22	26—34
	4	8—9	13—15	17—25
Август, сентябрь	1	30—34	43—51	55—60
	2	26—34	36—43	47—55
	3	22—30	30—38	43—47
	4	11—17	20—26	30—34
Октябрь	4	12—28	25—32	34—45

Примечание. В таблице указаны сроки сушки пиломатериалов сосновых, еловых, кедровых и пихтовых. Дни с отрицательными температурами не учитываются для пакетных штабелей. Для рядовых штабелей сроки сушки увеличиваются на 10%, для лиственницы — на 60 %.

10.2. УСТРОЙСТВО И ПЛАНИРОВКА ТЕРРИТОРИИ СКЛАДА

Открытый склад пиломатериалов следует располагать на сухом, хорошо проветриваемом участке, чтобы обеспечить лучшую вентиляцию и способствовать скорейшему и равномерному просыханию пиломатериалов. Площадь склада лучше размещать на песчаном грунте с низким стоянием грунтовых вод. Если склад уже расположен на низменном заболоченном участке, обязательно проведение специальных мелиоративных работ, осушающих площадь и понижающих уровень грунтовых вод.

Территория должна быть очищена от деревьев и кустарников. Выступающие неровности необходимо срезать, а ямы засыпать грунтом, песком или шлаком. Выравнивание площади склада навалом древесных отходов недопустимо, так как отходы, загнивая, будут заражать фундаменты и распространять гниение на пиломатериалы.

ГОСТ 3808.1—80. предусматривается два способа укладки пиломатериалов для атмосферной сушки и хранения на открытых складах: в рядовые штабеля (круглые на рейках) и в пакетные. Способ пакетной штабелевки является более прогрессивным, так как позволяет осуществить комплексную механизацию погрузочно-транспортных работ. На территории склада рядовые и пакетные штабеля должны располагаться отдельными секциями (группами). Примерная планировка группы рядовых штабелей указана на рис. 10.1—10.4.

Направление продольных проездов должно совпадать с направлением господствующего ветра, а в районах, где направление господствующего ветра

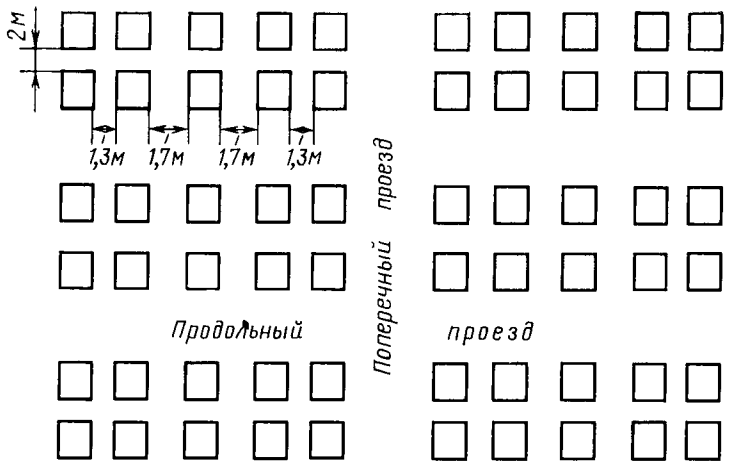


Рис. 10.1. Планировка групп штабелей при штучной укладке

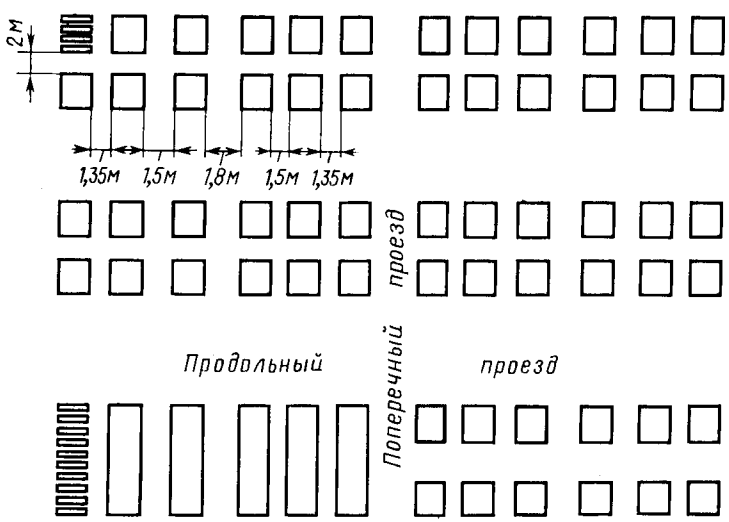


Рис. 10.2. Планировка групп штабелей при пакетной укладке автопогрузчиком

выражено слабо, они должны быть направлены с севера на юг. Штабеля тонких пиломатериалов (толщиной до 25 мм) располагаются с наветренной стороны склада, толстых (толщиной более 50 мм) — в середине, а средней толщины (от 25 до 50 мм) — с подветренной стороны. Все проезды должны быть прямыми, ширина проезда должна быть одинаковой на всем протяжении.

Каждый штабель необходимо укладывать на фундамент из переносных элементов (опор, балок), железобетонных или деревянных, пропитанных антисептиками. Высота фундамента для штабеля, т. е. расстояние от уровня земли до нижнего ряда досок, должна быть не менее 50 см, а в местности

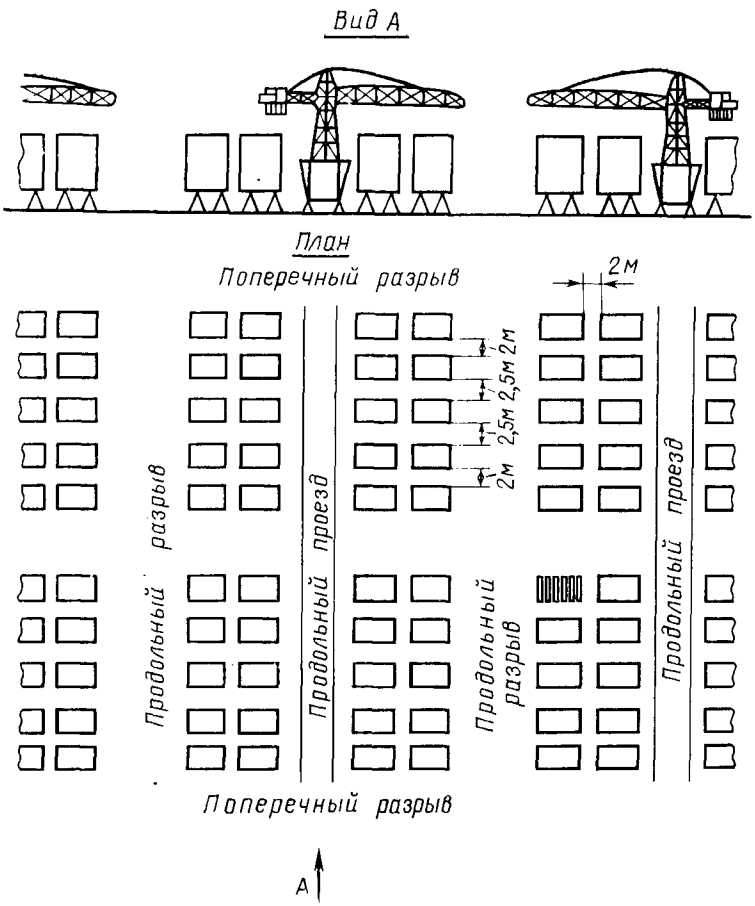


Рис. 10.3. Планировка групп штабелей при укладке башенным краном

с большим количеством атмосферных осадков и высоким стоянием грунтовых вод — не менее 75 см.

На перевалочных базах и портовых складах, куда поступают сухие пиломатериалы, при хорошей проветриваемости складов, наличии водоотводов, асфальто-бетонных покрытий подштабельных мест высота фундаментов может быть снижена до 30 см. Все фундаменты на складе следует располагать в горизонтальном положении и строго на одном уровне; они должны быть прочными и жесткими.

10.3. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА УКЛАДКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Пиломатериалы укладывают в штабеля (рядовые и пакетные) для атмосферной сушки раздельно по породам, размерно-качественным группам и степени обработки, причем обрезные пиломатериалы сортируют по толщине и

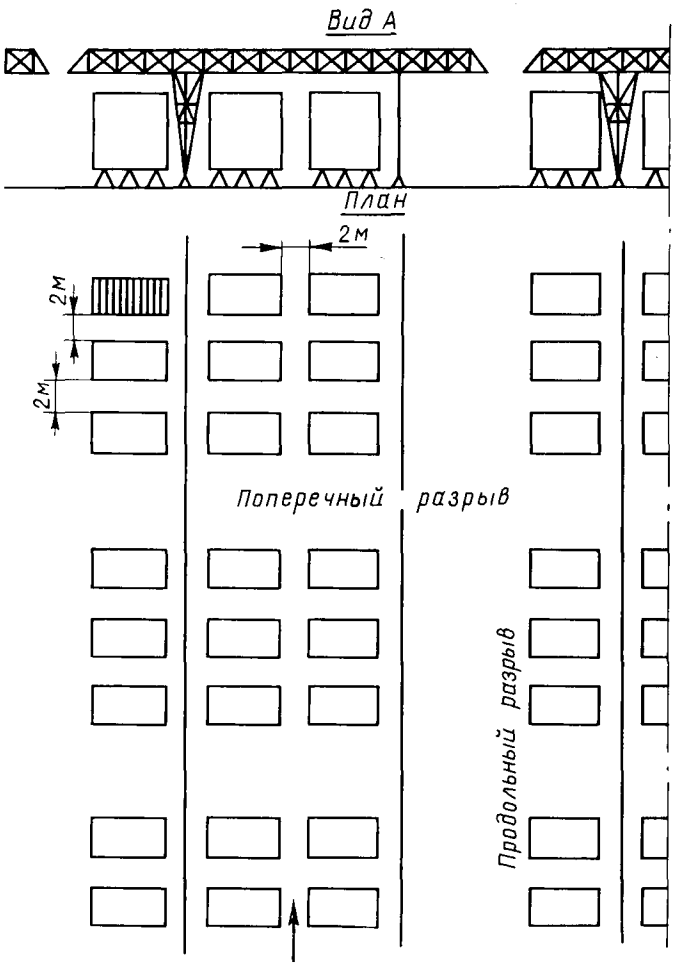


Рис. 10.4. Планировка групп штабелей при укладке козловым краном

ширине, а необрезные — по толщине. Перед укладкой кромки необрезных пиломатериалов твердых пород должны быть очищены от коры.

Пиломатериалы в штабеля (пакеты) следует укладывать горизонтальными рядами, отделяемыми друг от друга прокладками (рейками), изготовленными из сухой и здоровой древесины хвойных пород, толщиной 22 и

25 мм, шириной 40—50 мм. Длина прокладок должна быть равна ширине штабеля (пакета). Крайние прокладки должны быть уложены на расстоянии 45±10 см от торцов пиломатериалов. Число прокладок по длине и расстояние между ними должно соответствовать числу опорных брусьев (прогонов) и расстоянию между ними в фундаменте. Все прокладки смежных по высоте рядов пиломатериалов необходимо располагать в вертикальном направлении. Смещение от линий, проходящих через оси опорных брусьев фундамента, не должно превышать ±3 см.

При пакетной укладке штабель для сушки состоит из сушильно-транспортных пакетов, одинаковых по размерам и уложенных на фундамент в несколько горизонтальных рядов (рис. 10.5). Длина пакета определяется максимальной длиной пиломатериалов, укладываемых в пакет, ширина и высота — возможностью применяемых подъемно-транспортных средств.

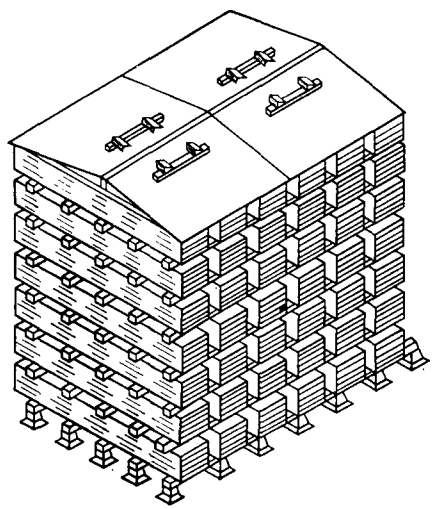


Рис. 10.5. Устройство пакетного штабеля

Все пакеты пиломатериалов одного размера должны быть одинаковой ширины и высоты. Плоскости пакета, образуемые кромками и торцами пиломатериалов, должны быть отвесны. Короткие пиломатериалы по длине ряда укладывают встык; при этом внешние торцы их нужно выравнивать по соответствующим торцам пакета.

В горизонтальном ряду пиломатериалы укладывают со шпациями: шириной не менее 50 мм — сосновые и кедровые; не менее 35 мм — остальные породы. Для антисептированных пиломатериалов ширину шпаций можно уменьшить до 25 мм. Шпации по высоте должны образовать ряд вертикальных каналов.

При формировании штабеля пакеты укладывают в несколько горизонтальных рядов. При этом пакеты каждого ряда отделяют друг от друга межпакетными прокладками, сечение которых должно быть не менее 100××100 мм. Число межпакетных прокладок должно соответствовать числу прокладок над прогонами (опорами фундамента).

В одном штабеле следует применять межпакетные прокладки одного сечения. Между пакетами в каждом горизонтальном ряду должны быть устроены разрывы не менее 25 см. По высоте штабеля межпакетные разрывы должны образовывать вертикальные каналы. Допускается укладка штабелей с межпакетными (вертикальными) разрывами неравномерной ширины, увеличивающимися от края к середине штабеля.

Пакеты и штабеля должны быть прямоугольного сечения, а их поверхности, образуемые кромками и торцами пиломатериалов,— ровными. На од-

10.2. Зависимость ширины шпаций от климатических условий

Ширина пиломатериалов, мм	Ширина шпаций, мм, для климатических зон	
	1—2	3—4
До 150	100—125	75—100
160—280	150—175	125—150

ной из торцовых поверхностей пакетов или штабелей допускается выход концов пиломатериалов за выровненную поверхность не более чем на 300 мм. Число выступающих концов не должно превышать 5 % общего числа пиломатериалов, выходящих торцами на эту поверхность.

В рядовые штабеля надо укладывать пиломатериалы шириной не более 150 мм. Для пиломатериалов внутрисоюзного потребления ниже 3-го сорта и экспортных ниже 4-го сорта ширина не ограничивается. Пиломатериалы внутрисоюзного потребления от отборного до 3-го сортов и экспортные от 1-го до 4-го сортов включительно укладывают так, чтобы торцы лежали на второй от края прокладке. Допускается укладывать эти пиломатериалы в рядовые штабеля с выступающими за прокладку концами, если они предназначены к отгрузке в текущий сезон.

В рядовые штабеля пиломатериалы укладывают на прокладки из тех же досок и брусьев. При этом для пиломатериалов внутрисоюзного потребления ниже 3-го сорта и экспортных ниже 4-го сорта крайние прокладки располагают заподлицо с торцами досок и брусков.

Для равномерного просыхания пиломатериалов и лучшей вентиляции посередине штабеля на всю его высоту должен быть вертикальный канал шириной не менее 400 мм. Кроме вертикального в рядовых штабелях должны быть горизонтальные каналы шириной не менее 150 мм на высоте 1 и 2,15 м от нижнего ряда пиломатериалов. Ширина шпаций между смежными досками в каждом ряду устанавливается в зависимости от климатических условий согласно табл. 10.2.

Допускается применять также шпации неравномерной ширины, увеличивающейся от стенок штабеля к середине, но в среднем она должна быть уже той ширины, которая установлена для разных климатических зон в табл. 10.2.

10.4. КРЫШИ ШТАБЕЛЕЙ

Каждый штабель по окончании формирования должен быть покрыт крышей. Для нее используют доски без гнили и синевы или другой кровельный материал. Конструкция крыши определяется типом штабеля.

При формировании пакетных штабелей влажных пиломатериалов каждый вертикальный ряд пакетов (или несколько рядов) покрывают односкатной или двускатной секционной съемной крышей. Уклон крыши должен быть не менее 60 мм на 1 м ее длины. Щели между крышами должны быть перекрыты.

Крыша имеет свесы в сторону ската не менее 500 мм для штабелей высотой до 10 м и не менее 700 мм — для штабелей высотой более 10 м. В сто-

рону промежутков между смежными вертикальными рядами пакетов свесы должны быть не менее 100 мм. Схема съемной крыши с грузозахватным устройством конструкции ЦНИИМОДа показана на рис. 10.6.

Над рядовыми штабелями сооружают временную разборную крышу из панелей или досок. Панели могут быть изготовлены из досок или другого кровельного материала. Минимальный уклон составляет: для крыш из досок — 120 мм на 1 м, для крыш из панелей — 80 мм на 1 м. Уклон крыши создается разной высотой подголовников, на устройство которых используется тот же пиломатериал, который уложен в штабель, и отрезки досок. Подголовники должны быть расположены над рядами фундаментных опор.

Настилать доски на крышу необходимо в два ряда по толщине и длине с перекрытием стыка кромок первого ряда досками второго ряда и с напу-

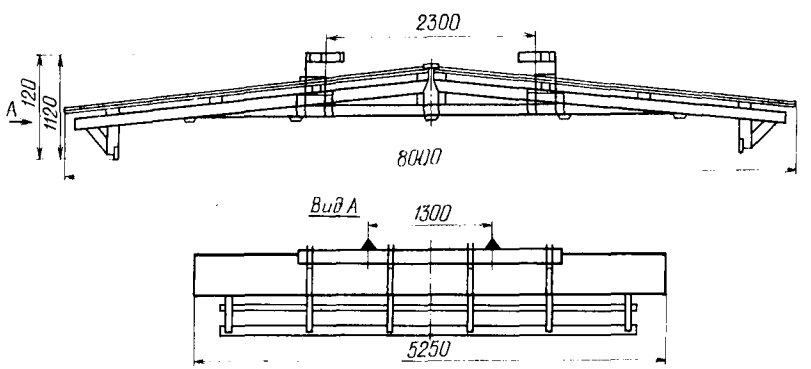


Рис. 10.6. Схема съемной крыши

сками концов досок верхнего ряда на концы досок нижнего ряда. Панели также укладывают с напуском, а щели между панелями перекрывают.

Для устойчивости крышу крепят к прокладкам проволокой, шпагатом или другим крепежным материалом. Скат должен быть обращен в проезды. Крыша имеет свесы в сторону промежутков между штабелями не менее 50 см, в сторону проездов — не менее 75 см.

10.5. ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

Правила атмосферной сушки пиломатериалов и заготовок из древесины лиственных пород регламентируются ГОСТ 7319—80. Пиломатериалы по ГОСТ 2695—71 и заготовки по ГОСТ 7897—71 для создания оптимальных условий атмосферной сушки и хранения в зависимости от твердости древесины и толщины сортимента разделяются на три сушильные группы (табл. 10.3).

При укладке в штабеля для атмосферной сушки соблюдают следующие требования:

10.3. Размерно-качественные группы (по ГОСТ 7319—80)

Породы	Толщина, мм	Сушильные группы
Твердые		
Кольцесосудистые (дуб, ясень, ильм, вяз) и рассеяннососудистые (граб, клен)	Св. 50	1
	25—50	1
	До 25	2
Рассеяннососудистые (бук, береза, орех, платан, груша)	Св. 50	1
	25—50	2
	До 25	2
Мягкие		
Рассеяннососудистые (осина, липа, ольха, тополь, ива)	Св. 50	2
	25—50	3
	До 25	3

10.4. Ширина шпаций в рядовых штабелях и пакетах

Сушильная группа	Ширина пиломатериалов и заготовок, мм	Ширина шпаций, мм, для климатических зон			
		1	2	3	4
I	До 100	50—60	40—50	30—40	20—30
	100—150	60—70	50—60	40—50	30—40
	От 150 и выше	70—80	60—70	50—60	40—50
II	До 100	60—70	50—60	40—50	30—40
	100—150	70—80	60—70	50—60	40—50
	От 150 и выше	80	70—80	60—70	50—60
III	До 100	110—120	80—90	70—80	60—70
	100—150	130—150	90—100	80—90	70—80
	От 150 и выше	150—170	100—110	90—100	80—90

пиломатериалы и заготовки, поступающие на склад при температуре 5 °С и выше, антисептируют в день выпиловки, а их торцы покрывают влагозащитной замазкой;

пиломатериалы и заготовки зимней выработки антисептируют и их торцы покрывают замазкой до наступления температуры 5 °С;

буковые пиломатериалы и заготовки антисептируют после пропарки и их торцы защищают от растрескивания;

все пиломатериалы и заготовки после выпиловки укладывают: при температуре 5 °С и выше в суточный срок; при температуре ниже 5 °С — в трехдневный срок.

Кромки дубовых, буковых, грабовых и ильмовых необрезных пиломатериалов всех толщин при хранении более года в районах Украинской ССР, Кавказа и Приморья очищают от коры или обрабатывают инсектицидами.

Заготовки кольцесосудистых пород укладывают в штабеля под навесами, за исключением заготовок 1-го и 2-го сортов толщиной до 25 мм и 3-го сорта толщиной свыше 25 мм, которые допускается укладывать на открытой пло-

щадке. Заготовки 3-го сорта толщиной до 25 мм укладывают на открытой площадке.

Заготовки рассеяннососудистых пород 2-го и 3-го сортов укладывают в штабеля на открытых площадках, заготовки 2-го сорта толщиной свыше 25 м — в штабеля под навесами и на открытых площадках, заготовки 1-го сорта — под навесами. Допускается укладывать на открытых площадках заготовки 1-го сорта толщиной до 25 мм. Лыжные заготовки укладывают на открытых площадках и под навесами.

Ширину шпаций в рядовых штабелях и пакетах можно определять в зависимости от сушильной группы пиломатериалов и заготовок и климатических зон по табл. 10.4.

Заготовки лиственных пород следует укладывать на атмосферную сушку в штабеля только под навесами, устроенными в соответствии с требованиями ГОСТ 7319—80.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматизация** производства и промышленная электроника. Энциклопедия современной техники. М., 1965, т. 4, с. 18.

2. **Андреева А. А., Богданов Е. С.** О требованиях к качеству сушки пиломатериалов до транспортной влажности.— В кн.: Контроль и управление качеством продукции. Архангельск, 1978, с. 38—41.

3. **Бирюков В. А.** Процессы диэлектрического нагрева и сушки древесины. М.— Л., 1961. 148 с.

4. **Богданов Е. С.** Автоматизация процессов сушки пиломатериалов. М., 1979. 175 с.

5. **Богданов Е. С.** Контроль и управление режимом сушки в камерах непрерывного действия. М., 1976. 35 с.

6. **Богданов Е. С.** Контроль влажности пиломатериалов при сушке. М., 1974. 36 с.

7. **Богданов Е. С., Новиков В. В., Варламов Г. К.** Применение пневматических средств автоматизации для регулирования процесса сушки древесины.— Деревообрабатывающая промышленность, 1974, № 12, с. 9—10.

8. **Гашкова А. К.** Влияние влажности на качество столярно-строительных изделий из древесины. М., 1974. 80 с.

9. **Дьяконов К. Ф., Гукалов А. М.** Пособие по сушке пиломатериалов. М., 1978. 191 с.

10. **Кобликова А. Г.** Методы дистанционного контроля средней влажности древесины в процессе камерной сушки.— В кн.: Сушка древесины. Архангельск, 1968, с. 356—365.

11. **Копелович А. П.** Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов. М., 1960. 190 с.

12. **Кречетов И. В.** Сушка древесины топочными газами. М.— Л., 1961. 270 с.

13. **Кречетов И. В.** Сушка и защита древесины. М., 1975. 400 с.

14. **Леонтьев Н. Л.** Техника испытаний древесины. М., 1970. 160 с.

15. **Литвин А. М.** Основы теплоэнергетики. М., 1973. 165 с.

16. **Меркушев И. М.** Аэродинамические характеристики основных типов лесосушильных камер периодического действия.— Деревообрабатывающая промышленность, 1973, № 2, с. 3—5.

17. **О требованиях** к качеству сушки пиломатериалов/А. А. Андреева, Е. С. Богданов, С. И. Акишенков, А. Т. Быстров.— Деревообрабатывающая промышленность, 1978, № 10, с. 3—5.

18. **Пейч Н. Н., Бороненко З. В.** Справочник по сушке древесины. М., 1966. 278 с.

19. **Романов В. Г.** Технические требования к контрольным и регулирующим приборам камерной сушки пиломатериалов. М., 1973. 31 с.

20. **Романов В. Г., Соколов П. В.** Дистанционный контроль и автоматизация регулирования режимов сушки древесины в камерах. М., 1974. 168 с.

21. **Руководящие** материалы по камерной сушке пиломатериалов. Архангельск, 1977. 152 с.

22. **Серговский П. С.** Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М., 1975. 400 с.

23. **Серговский П. С.** Режимы и проведение камерной сушки пиломатериалов. М., 1976. 136 с.

24. **Соколов П. В.** Сушка древесины. М., 1968. 364 с.

25. **Соколов П. В.** Проектирование сушильных и нагревательных установок для древесины. М., 1965. 332 с.

26. **Техника** проектирования систем автоматизации технологических процессов. М., 1976. 495 с.

27. **Уголев Б. Н.** Древесиноведение с основами лесного товароведения. М., 1975. 384 с.

28. **Урванов Г. Р.** Исследование и опытное внедрение температурного метода дистанционного контроля за влажностью древесины.— Сборник трудов СвердНИИДрева, 1970, вып. 5, с. 112—122.

29. **Цикерман Л. Я., Шимкович В. В.** Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматики. М., 1971. 312 с.

30. **Шубин Г. С.** Физические основы и расчет процессов сушки древесины. М., 1973. 246 с.

Приложение 1. Таблица для определения степени насыщенности по показаниям ртутных и электрических психрометров

Температура сушильного агента, °С	Психрометрическая														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30	100	93	87	79	73	66	60	55	50	44	39	34	30	25	20
32	100	94	87	80	73	67	62	57	52	46	41	36	32	28	23
34	100	94	87	81	74	68	63	58	54	48	43	38	34	30	26
36	100	94	88	81	75	69	64	59	55	50	45	40	36	32	28
38	100	94	88	82	76	70	65	60	56	51	46	42	38	34	30
40	100	94	88	82	76	71	66	61	57	53	48	44	40	36	32
42	100	94	89	83	77	72	67	62	58	54	49	46	42	38	34
44	100	94	89	83	78	73	68	63	59	55	50	47	43	40	36
46	100	94	89	84	79	74	69	64	60	56	51	48	44	41	38
48	100	95	90	84	79	74	70	65	61	57	52	49	46	42	39
50	100	95	90	84	79	75	70	66	62	58	54	50	47	44	41
52	100	95	90	84	80	75	71	67	63	59	55	51	48	45	42
54	100	95	90	84	80	76	72	68	64	60	56	52	49	46	43
56	100	95	90	85	81	76	72	68	64	60	57	53	50	47	44
58	100	95	90	85	81	77	73	69	65	61	58	54	51	48	45
60	100	95	90	86	81	77	73	69	65	61	58	55	52	49	46
62	100	95	91	86	82	78	74	70	66	62	59	56	53	50	47
64	100	95	91	86	82	78	74	70	67	63	60	57	54	51	48
66	100	95	91	86	82	78	75	71	67	63	60	57	54	51	49
68	100	95	91	87	82	78	75	71	68	64	61	58	55	52	49
70	100	96	91	87	83	79	76	72	68	64	61	58	55	52	50
72	100	96	91	87	83	79	76	72	69	65	62	59	56	53	50
74	100	96	92	87	84	80	76	72	69	65	63	60	56	53	51
76	100	96	92	87	84	80	77	73	70	66	64	61	57	54	52
78	100	96	92	88	84	80	77	73	70	66	64	61	58	55	53
80	100	96	92	88	84	80	77	73	70	66	64	61	58	55	53
82	100	96	92	88	84	80	77	74	71	67	65	62	59	56	54
84	100	96	92	88	84	80	77	74	71	68	65	62	59	56	54
86	100	96	92	88	84	80	78	75	72	69	66	63	60	57	55
88	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	63	60	57	55
90	100	97	93	89	85	81	79	75	72	69	66	63	61	58	56
92	100	97	93	90	86	82	79	76	73	70	67	64	62	59	57
94	100	97	93	90	86	82	79	76	73	70	67	65	62	60	57
96	100	97	93	90	87	83	80	76	73	70	68	65	62	60	58
98	100	97	93	90	87	83	80	77	74	71	68	65	63	60	58
100	100	97	93	90	87	83	80	77	74	71	68	66	63	61	59
102	—	—	94	91	88	84	81	78	75	72	69	67	64	62	59
104	—	—	—	—	88	84	81	78	75	72	69	67	64	62	60
106	—	—	—	—	—	—	81	78	75	72	69	67	64	62	60
108	—	—	—	—	—	—	—	—	75	72	69	67	64	62	60
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	69	67	65	63	61
112	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65	63	61
114	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61
116	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
118	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(φ %) сушильного агента при скорости движения его 1,5 — 2,5 м/с

разность Δt, °С															Температура сушильного агента, °С
15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30
19	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32
22	19	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	34
25	21	18	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36
27	24	20	17	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38
29	26	23	20	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
31	28	25	22	19	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42
33	30	27	24	21	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44
34	31	28	25	22	20	16	—	—	—	—	—	—	—	—	46
36	33	30	27	24	22	17	—	—	—	—	—	—	—	—	48
37	34	31	29	26	24	19	14	—	—	—	—	—	—	—	50
38	36	33	30	27	25	20	16	—	—	—	—	—	—	—	52
39	37	34	32	29	27	22	18	14	—	—	—	—	—	—	54
41	38	35	33	30	28	23	19	15	—	—	—	—	—	—	56
42	39	36	34	31	29	25	20	17	—	—	—	—	—	—	58
43	40	37	35	32	30	26	22	18	14	—	—	—	—	—	60
44	41	38	36	33	31	27	23	19	16	—	—	—	—	—	62
45	42	39	37	34	32	28	24	20	17	—	—	—	—	—	64
46	43	40	38	35	33	29	25	22	18	15	—	—	—	—	66
46	44	41	39	36	34	30	26	23	19	16	—	—	—	—	68
47	44	41	39	37	35	31	27	24	20	17	—	—	—	—	70
47	45	42	40	38	36	32	28	25	21	18	—	—	—	—	72
48	46	43	41	39	37	33	29	26	22	19	14	—	—	—	74
49	47	44	42	40	38	34	30	27	23	20	15	—	—	—	76
50	48	45	42	40	38	34	31	27	24	21	16	—	—	—	78
50	48	45	43	41	39	35	31	28	25	25	22	17	—	—	80
51	49	46	44	42	40	36	32	29	26	23	18	—	—	—	82
51	49	46	44	42	40	36	32	29	26	23	19	14	—	—	84
52	50	47	45	43	41	37	33	30	27	24	20	15	—	—	86
52	50	48	46	44	42	38	34	31	28	25	21	16	—	—	88
53	51	49	47	45	43	39	35	32	29	26	22	18	—	—	90
54	52	50	47	45	43	39	36	33	30	26	22	19	16	—	92
54	52	50	48	46	44	40	37	33	30	27	23	20	17	—	94
55	53	51	48	46	44	41	37	34	31	28	24	21	18	—	96
55	53	51	49	47	45	41	38	34	31	28	25	22	19	16	98
56	54	52	49	47	45	42	38	35	32	29	26	23	20	17	100
56	54	52	50	48	46	42	38	35	32	29	26	23	21	18	102
57	55	53	50	48	46	42	39	35	32	30	27	24	22	19	104
57	55	53	50	48	46	43	39	36	33	30	27	24	22	20	106
57	55	54	51	49	46	43	40	36	33	31	28	25	23	21	108
58	56	54	51	49	46	43	41	37	34	32	29	26	24	21	110
58	56	54	52	50	47	44	42	38	35	33	30	27	24	22	112
58	56	54	52	50	48	45	42	38	35	33	30	27	25	22	114
—	57	55	53	51	49	46	43	39	36	34	31	28	25	23	116
—	—	—	53	51	49	46	43	40	37	34	32	29	26	23	118
—	—	—	—	—	50	47	44	41	38	35	32	29	26	24	120
—	—	—	—	—	—	—	—	41	38	35	33	30	27	25	125
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	33	31	28	26	130

Приложение 2. Требования по технике безопасности и производственной санитарии в сушильном цехе

Общие требования. К работе паровых и газовых сушильных камер допускаются лица, достигшие 18 лет, знающие их устройство, правила технической эксплуатации и способы безопасного выполнения рабочих операций.

Коридоры управления, лаборатория, топочные помещения газовых камер оборудуют системой вентиляции, обеспечивающей поддержание температуры не выше 25 °С. Трубопроводы для подвода пара с наружной температурой выше 60 °С теплоизолируют; фланцы соединений трубопроводов и калориферов защищают экранами.

Загрузку и выгрузку сушильных камер, а также передвижения вагонеток (треков) с сушильными штабелями в цехе механизируют. Рельсовые пути устраивают с тупиками, чтобы вагонетки не сходили с рельсов. Зазоры в стыках не должны превышать 10 мм. Состояние рельсовых путей сушильных блоков проверяют не реже раза в полгода. Головки рельсов траверсной тележки, погрузочной площадки, сушильных камер и помещения для остывания материала располагают на одном уровне. Траверсная тележка должна иметь устройство, фиксирующее положение трека на ней. Расстояние от траверсной тележки, находящейся в крайнем положении, до строительных конструкций должно быть не менее 0,8 м.

Движущиеся части оборудования сушильных установок закрывают ограждениями. Штабеля пиломатериалов укладывают на треки или вагонетки вручную на высоту не более 1,5 м. Высокие штабеля укладывают и разбирают только с помощью механизмов и приспособлений.

Сушильные камеры оборудуют системой дистанционного контроля и управления процессом сушки (или системой автоматического регулирования). При работе в сушильном цехе строго соблюдают правила пожарной безопасности.

Необходимо проводить периодическое обучение персонала по охране труда и технике безопасности, а также инструктировать персонал по технике безопасности и производственной санитарии. Обслуживающий персонал сушильного цеха подвергается вредному воздействию повышенной температуры и влажности, особенно в камере во время ее работы. Поэтому необходимо соблюдать следующие основные правила:

дежурных операторов сушильных установок, которые заходят в камеру во время ее работы, обеспечивать специальными брезентовыми костюмами;

сушильные камеры оборудовать электрическим освещением напряжением 12—18 В. При отсутствии освещения при входе в камеру пользоваться аккумуляторными фонарями или переносными низковольтными лампами с сеткой и бронированным шнуром;

двери в камеру снабжать наружными и внутренними ручками. Калитки-дверцы в воротах камер (любых конструкций и назначений) оборудовать затворами, открывающимися снаружи и изнутри;

при входе в камеру следить, чтобы дверь случайно не закрылась снаружи. Во время пребывания в горячей камере у ее дверей должен находиться дежурный;

полы в камерах делать ровными, без выбоин и выступов. Решетки в камерах располагать на уровне головок рельсов при расстоянии между соседними брусками не более 3 см. Люки и отверстия в полу ограждать специальными устройствами;

воздуховоды, газоходы, топки и двери камер герметизировать;

зольное помещение топки оборудовать вентиляцией и дверями, ведущими наружу;

в цехе устраивать санитарный пост и стенды с наглядными пособиями по технике безопасности.

Требования при обслуживании газовых камер. При устройстве и эксплуатации топочных помещений необходимо соблюдать следующие требования:

перед каждым топочным отверстием устанавливать экраны, предохраняющие рабочих от теплового излучения;

шиберы, перекрывающие газоходы, снабжать приспособлениями для их переключения непосредственно с пола помещения; контргрузы шиберов ограждать;

подачу топлива в топочное помещение и топки механизировать;

заслонки, с помощью которых регулируют пуск газов в камеры и их отсос, оборудовать запорными устройствами, исключающими случайное переключение;

не ходить по своду топки во время ее работы;

в работающие газовые камеры заходить только в противогазе и защитном костюме.

Противопожарные мероприятия. При эксплуатации сушильных камер необходимо выполнять следующие противопожарные требования:

регулярно убирать вспомогательные помещения и сушильные камеры, не допускать скопления отходов и мусора;

своевременно смазывать подшипники у вентиляторов и электродвигателей во избежание их перегрева;

в переносных осветительных установках применять ток напряжением не более 12 В;

не допускать применения открытого огня (свечи, керосиновые фонари и паяльные лампы), курения в цехе;

сварочные работы выполнять только с разрешения представителей пожарной охраны.

В газовых лесосушильных камерах, кроме того, необходимо:

постоянно 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 завалов больших масс топлива, способствующих взрыву;

золу из зольного помещения удалять не раньше, чем через 5 сут после выгребания ее из топки.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абсолютно сухая древесина 11
Амплитуда колебания 148
Антисептирование 170
Атмосферная сушка 170, 178
Аэродинамические показатели камер непрерывного действия 64
Аэродинамические характеристики вентиляторов 101, 103

Б

Бытовые помещения 81

В

Влага
— гигроскопическая 11
— свободная 11
Влаготеплообработка
— конечная 115
— начальная 112
— промежуточная 116
Влагомеры
— ДВС-2М 166
— усадки штабеля 168
— ЭВА-2 165
Влагосодержание
— воздуха 7
— топочных газов 10
Влагоемкость 7
Влажность древесины
— — абсолютная 7
— — конечная 116
— — начальная 113
— — относительная 13
— — равновесная 14
— — стандартная 12
— — начальная 113
— — текущая 114
Влажность воздуха
— — абсолютная 7
— — относительная 7
Вентиляторы
— осевые серии ЦАГИ 99
— осевые реверсивные 101
— центробежные 97

Г

Гистерезис сорбции 14
Гидравлический затвор 38

Д

Давление 5
Датчики температуры 151
Дефекты сушки:
выплавление смолы 124
изменение цвета 124
коробление 123
трещины поверхностные 123
трещины внутренние 125
Динамические параметры камер 147
Дистанционный контроль 157
Диэлектрическая проницаемость 23
Древесная паренхима 10

Е

Естественная циркуляция 28

З

Закон регулирования процесса сушки 148

И

Инерционность термометров сопротивления 151
Интерполяция 129
Исполнительные механизмы 155

К

Калориферы пластинчатые
— — КВБ 91
— — КФБО 91
— — КФСО 91
Календарное планирование 140
Камеры непрерывного действия
— — — Валмет-1 73
— — — Валмет-3 77
— — — ЛатНИИЛХП 66
— — — МЛТИ 64
— — — НБ-1, НБ-2 62
— — — СП-5КМ 74
— — — СП-4К 64
— — — с горизонтальной позонной циркуляцией 66
— — — с двухзонной противоположной циркуляцией 69
— — — с противоточной циркуляцией 62
— — — с противоточно-прямоточной циркуляцией 64
— — — ЦНИИМОД-32 67
— — — ЦНИИМОД-49, ЦНИИМОД-56 62
Камеры периодического действия
— — — ВИАМ-4 30
— — — газовые 28
— — — ЛТА-Гипродрев 51
— — — с паровым обогревом 28
— — — СПВ-62 37
— — — СПВ-62М 39
— — — СПЛК-2 41

— — — СПМ-2К 45
— — — с электрическим обогревом 28
— — — УЛ-2 30, 34
— — — УРАЛ-72 52
— — — ЦНИИМОД-23 30
— — — эжекционные 31
Категории качества сушки 121
Климатические зоны 170
Конденсатоотводчики
— с опрокинутым поплавком 93
— термодинамические 93
— термостатические 93
Кондиционирующая обработка древесины 116
Контрольный образец 106
Коэффициент
— избытка воздуха 10
— объемного заполнения 136
— пересчета в условный материал 138
— полезного использования потока 67
— разбухания 15
— температуропроводности 21
— теплопередачи калориферов 94
— теплопроводности 21
— усадки штабеля 168
— усушки 17

Л

Либриформа 10
Лигнин 23
Лифт Л-6, 5-15 88

М

Малоинерционные термометры сопротивления 151
Микрофибриллы 11

Н

Напряжения в древесине
— — внутренние 122
— — остаточные 123

П

Пакетоформирующие машины ПФМ-10 87
Пар
— водяной 5
— насыщенный 5
— перегретый 5
Планировки групп штабелей 172—174
Плотность (объемная масса) 11
— средняя 4
— условная 12
Побудительная циркуляция 28
Подштабельная тележка 88
Предел прочности древесины 16
Приборы для контроля и автоматического регулирования 160
Продолжительность высокотемпературного прогрева 129
Продолжительность сушки
— — в камерах периодического действия 128
— — в камерах непрерывного действия 132
Производительность камер
— — в условном материале 138
— — в фактически высушиваемом материале 135
— — плановая 137
Прокладки
— межпакетные 105
— межрядовые 105
Психрометр 157
Психрометрическая разность 143

Р

Регулирующие клапаны 154
Регуляторы режима сушки
— — многоканальные 143, 162
— — одноканальные 143, 159
— — — «Роса» 164
Режимы сушки
— — высокотемпературные 108
— — двухступенчатые 109
— — мягкие 107
— — нормальные 107
— — трехступенчатые 108
— — форсированные 107

С

Секция
— влажности 106
— послойной влажности 122
Силовые образцы 122
Склад пиломатериалов 171
Смоляные ходы 11
Степень
— насыщенности 6
— перегрева 5
Сушка
— вакуумная 26
— индуктивная 28
— конвективно-атмосферная 25
— конвективно-тепловая 25
— кондуктивная 25
— радиационная 25
— ротационная 26

Т

Температура
— предела охлаждения 8
— точки росы 8
Температуропроводность 19
— трахеид 10
Тепловое оборудование 91

Тепловое расширение 19
Теплоемкость
— древесины 20
— сухого воздуха 7
Теплорекуператор 74
Теплосодержание 7
Термометр сопротивления 151
Траверсная тележка
— — ЭТ-4,5 90
— — ЭТ2-6,5 89
— — ЭТП-6,8-1,8 90
Требования
— к качеству сушки 121
— к территории склада 171

У

Усадка
— линейная 14
— объемная 14
Условный пиломатериал 138
Управление камерой 113
Устройство
— для установки датчиков 158
— пакетного штабеля 175
Учетная документация 141

Ф

Фибриллы 11

Х

Характеристики
— лесосушильных камер
— — — динамические 145
— — — статические 145
— — — технические 32—35
— промышленных термометров сопротивления 151
— — штатов 139
Хранение сухих пиломатериалов 126

Ц

Целлюлоза 23

Ш

Шпации 104
Штабель
— беспакетный 104
— пакетный 104

Э

Экранизация штабелей 35
Энтальпия 17

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава 1. Основные свойства сушильных агентов 4

1.1. Характеристики газообразных агентов сушки и свойства водяного пара 4
1.2. Свойства и диаграммы состояния влажного воздуха 6
1.3. Свойства топочных газов и *Id*α-диаграмма 10

Глава 2. Основные свойства древесины 10

2.1. Строение 10
2.2. Плотность и влажность 11
2.3. Усушка 14
2.4. Механические свойства 16
2.5. Тепловые свойства 19
2.6. Электрические свойства 22
2.6.1. Электропроводность 22
2.6.2. Диэлектрические свойства 23

Глава 3. Способы сушки древесины 24

Глава 4. Камеры периодического действия 28

4.1. Назначение, классификация и общие требования к камерам . . 28
4.2. Конструкции и технические характеристики современных отечественных камер 31
4.2.1. Модернизированная эжекционная двухштабельная камера 31
4.2.2. Высокотемпературная камера СПВ-62 37
4.2.3. Одноштабельная камера СПВ-62М 39
4.2.4. Камера СПЛК-2 41
4.2.5. Сушилка паровая металлическая двухкамерная СПМ-2К . . 45
4.2.6. Двухштабельная камера СПМ-1К 47
4.2.7. Камера Гипродрев-ЛТА 51
4.2.8. Камера «УРАЛ-72» 52
4.3. Схемы некоторых зарубежных камер 53

Глава 5. Камеры непрерывного действия 61

5.1. Назначение, общие требования, классификация и технические характеристики 61
5.2. Схемы и конструкции 70
5.2.1. Стационарные камеры с противоточной циркуляцией . . . 70
5.2.2. Сборно-металлические камеры 73

Глава 6. Технологические схемы лесосушильных цехов, механизация транспортных и погрузочно-разгрузочных работ, оборудование камер 81

6.1. Примеры технологических схем 81
6.2. Средства механизации 87
6.3. Тепловое оборудование и вентиляторы 91
6.3.1. Тепловое оборудование 91
6.3.2. Вентиляторы 97

Глава 7. Технология камерной сушки пиломатериалов 103

7.1. Укладка пиломатериалов в штабеля 103
7.2. Проведение процесса сушки 106
7.2.1. Определение начальной и текущей влажности древесины . . 106
7.2.2. Режимы сушки 107
7.2.3. Загрузка камеры и начальный прогрев древесины 112
7.2.4. Управление камерой 113
7.2.5. Влаготеплообработка древесины 115
7.2.6. Кондиционирующая обработка древесины 116
7.3. Требования к качеству сушки 116
7.3.1. Транспортная и эксплуатационная влажность пиломатериалов и заготовок 116
7.3.2. Требования к качеству сушки и методы контроля показателей качества 121
7.4. Дефекты сушки и мероприятия для их снижения 123
7.4.1. Видимые дефекты 123
7.4.2. Мероприятия для предупреждения и снижения растрескивания и коробления 125
7.5. Хранение пиломатериалов после сушки 126

Глава 8. Продолжительность сушки и производительность камер. Планирование и учет в лесосушильных цехах 127

8.1. Укрупненный метод расчета продолжительности 128
8.1.1. Определение продолжительности низкотемпературной сушки в камерах периодического действия 128
8.1.2. Определение продолжительности высокотемпературной сушки в камерах периодического действия 130
8.1.3. Определение продолжительности сушки в камерах непрерывного действия 132
8.2. Расчет производительности лесосушильных камер 135
8.2.1. Производительность камер в фактически высушиваемом материале 135
8.2.2. Производительность камер в условном материале 138
8.3. Планирование работы лесосушильных цехов, учетная документация 139
8.3.1. Характеристика штатов сушильного цеха 139
8.3.2. Календарное планирование в сушильном цехе 140
8.3.3. Учетная документация для лесосушильных цехов 141

Глава 9. Методы и средства контроля и регулирования процесса сушки 142

9.1. Общие требования к системам контроля и регулирования параметров среды 142
9.2. Статические и динамические характеристики лесосушильных камер 145
9.3. Выбор регуляторов, качество регулирования 147
9.4. Выбор датчиков, регулирующих органов и исполнительных механизмов 151
9.4.1. Выбор датчиков температуры 151
9.4.2. Выбор регулирующих органов и исполнительных механизмов 152
9.5. Приборы и автоматические регуляторы 157
9.5.1. Дистанционный контроль температуры и влажности агента сушки 157
9.5.2. Одноканальные двухпозиционные регуляторы 159

9.5.3. Многоканальные регуляторы 162
9.5.4. Регуляторы «Роса» 164
9.6. Приборы для контроля влажности пиломатериалов 165

Глава 10. Атмосферная сушка пиломатериалов 170

10.1. Общие требования 170
10.2. Устройство и планировка территории склада 171
10.3. Основные правила укладки пиломатериалов 174
10.4. Крыши штабелей 176
10.5. Особенности атмосферной сушки пиломатериалов из древесины лиственных пород 177

Список литературы 180
Приложение 1. Таблица для определения степени насыщенности (φ %) сушильного агента при скорости движения его 1,5—2,5 м/с по показаниям ртутных и электрических психрометров 182
Приложение 2. Требования по технике безопасности и производственной санитарии в сушильном цехе 184
Предметный указатель 186

Евгений Сергеевич Богданов
Василий Алексеевич Козлов
Николай Николаевич Пейч

СПРАВОЧНИК ПО СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Редактор издательства Т. Н. Леонтьева
Художественный редактор В. Н. Журавский
Художник В. И. Тикунов
Технический редактор Н. М. Серегина
Корректор Г. К. Пигров
Вычитка Л. Я. Фаенсон

ИБ № 1271

Сдано в набор 02.03.81. Подписано в печать 20.07.81. Т-23021 Формат 60×90/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 12,0. Усл. кр.-отт. 12,0. Уч.-изд. л. 14,69. Тираж 23000 экз. Заказ 748. Цена 1 руб.

Издательство «Лесная промышленность»,
101000, Москва, ул. Кирова, 40а

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14