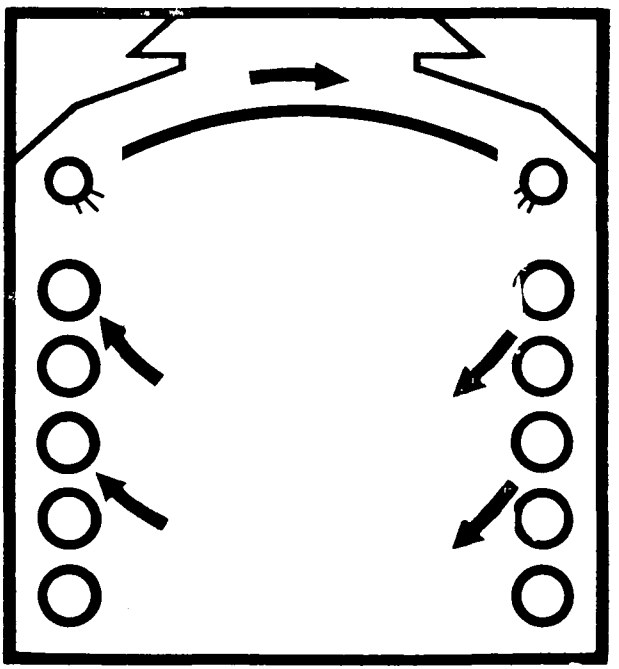
А.Н.ГОЛЕНИЩЕВ, С.В.ДОБРЫНИН, А.А.АНДРЕЕ

37.13
Г60
1014222

СУШКА И ЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ



А.Н.ГОЛЕНИЩЕВ, С.В.ДОБРЫНИН, А.А.АНДРЕЕВА

СУШКА И ЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

1014222

МОСКВА
«ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»
1984

УДК 174.093.2.06.047(035)

Голенищев А. Н., Добрынин С. В., Андреева А. А. Сушка и защитная обработка древесины.— М.: Лесн. пром-сть, 1984.— 80 с.

Приведены сведения по физическим основам сушки древесины, свойствам сушильных агентов и древесины. Описаны схемы и конструкции ряда современных лесосушильных камер. Даны рекомендации по технологии сушки, ее режимы, методы определения продолжительности. Рассмотрены вопросы атмосферной сушки и хранения, методы и способы обработки древесины защитными средствами.

Для рабочих, лаборантов и мастеров, занимающихся сушкой и защитной обработкой древесины, эксплуатацией и обслуживанием лесосушильных камер и оборудования для защиты древесины.

Табл. 39, ил. 22, библиогр.— 6 назв.

Рецензент А. С. КОЧЕТКОВ (Гипролеспром).

Анатолий Николаевич Голенищев, Сергей Васильевич Добрынин, Анна Александровна Андреева

СУШКА И ЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Редактор издательства Э. Г. Юрга
Обложка художника Л. А. Мурашовой
Художественный редактор К. П. Остроухов
Технический редактор В. В. Соколова
Корректор Ж. А. Лобанова
Вычитчик Э. Г. Юрга
ИБ № 1910

Сдано в набор 15.02.84. Подписано в печать 27.04.84. Т-10364.
Формат 60×90/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 5,0. Усл. кр.-отт. 5,38. Уч.-изд. л. 5,89. Тираж 5000 экз. Заказ 1186.
Цена 30 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Лесная промышленность».
101000, Москва, ул. Кирова, 40а

Московская типография № 8 ВГО «Союзучетиздат»
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
107078, Москва, Каланчевский туп., 3/5

Г $\frac{3002000000-072}{037(01)-84}$ 11—84

© Издательство «Лесная промышленность», 1984.

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» предусматривают обеспечение дальнейшего экономического прогресса общества, глубоких качественных сдвигов в материально-технической базе на основе интенсификации общественного производства, повышения его эффективности и ускорения научно-технического прогресса. Переход на преимущественно интенсивный путь развития — главная проблема, охватывающая все сферы народного хозяйства.

В области сушки и защиты древесины основными методами решения этой проблемы являются концентрация и специализация предприятий, четкое кооперирование между ними, иными словами, совершенствование организации производства. Эти задачи могут быть решены только при комплексном подходе, так как технологические операции сушки и защиты древесины неразрывно связаны с такими составляющими производственного процесса, как хранение, транспортировка, учет и т. д.

В связи с изложенным в книге рассмотрены вопросы защиты и сушки древесины, начиная с лесосеки и кончая защитой готовой пилопродукции. Приведена новая техника и технология сушки и защиты продукции с учетом последних достижений производственного опыта. В издательстве «Лесная промышленность» издан ряд книг, подробно излагающих конструкции современных камер, поэтому данная работа освещает указанный вопрос обзорно. В то же время атмосферная сушка, позволяющая при сравнительно небольших капитальных и энергетических затратах не только сушить, но и хранить пилопродукцию, описана более подробно. Значительное место отведено вопросам хранения пиломатериалов эксплуатационной и транспортной влажности.

Изучение технологии и режимов сушки невозможно без знания основных свойств обрабатывающей среды и древесины, главнейших физических особенностей процесса сушки, поэтому в первой главе даются краткие сведения по этим вопросам.

Разделы 1, 2, 3, 4, 8 написаны канд. техн. наук С. В. Добрыниным, разделы 5, 6, 7 — А. А. Андреевой, раздел 9 — А. Н. Голенищевым.

Авторы с благодарностью примут все замечания и пожелания относительно содержания книги и просят направлять их по адресу: 101000, Москва, Центр, ул. Кирова, 40а, издательство «Лесная промышленность».

1. СРЕДА И МАТЕРИАЛ. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Агенты сушки. Интенсивность и качество сушки пилопродукции зависят прежде всего от температуры, влажности и скорости движения газообразной среды, играющей роль тепло- и влагоносителя. Такой газообразной средой, носящей общее название агента сушки, могут быть атмосферный воздух, топочные газы или смесь их с воздухом. Кроме того, обязательная составляющая агента сушки — водяной пар, который может быть агентом сушки и в чистом виде.

Пар бывает насыщенным сухим, перегретым и мокрым. **Насыщенным сухим** называется пар, находящийся в фазовом равновесии с водой. В этом случае не происходит ни испарения воды с поверхности, ни конденсации. Температура пара в этом случае не может быть понижена без того, чтобы часть его не перешла в жидкость. Насыщенный пар имеет строго определенные давление и температуру. При атмосферном давлении температура его близка 100° С. **Перегретым** называется пар, температура которого выше температуры насыщенного пара при том же давлении. Перегретый пар способен испарять влагу из материала до тех пор, пока не сделается насыщенным. **Мокрым** называется насыщенный пар, содержащий взвешенные в нем капельки воды. Мокрый пар образуется при охлаждении насыщенного пара при постоянном давлении. Как насыщенный, так и перегретый пар прозрачен и бесцветен, мокрый — белый, непрозрачный, цвет ему придают капельки воды, содержащейся в паре.

Согласно закону Дальтона, наблюдаемое атмосферное (барометрическое) давление P представляет собой сумму парциальных (составляющих) давлений абсолютно сухого воздуха $P_{п.в}$ и пара $P_{п.п}$:

$$P = P_{п.в} + P_{п.п}.$$

Давление сушильного агента в камерах несущественно отличается от атмосферного и в среднем может быть принято 10^5 Па (1 кг/см^2). Паскаль (Па) — единица давления в Международной системе единиц (СИ). Это давление, вызванное силой 1 ньютон (Н), равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м^2. Единицы, кратные Па,— килопаскаль (1 кПа = $=10^3$ Па), мегапаскаль (1 МПа$=10^6$ Па). Соотношение между парциальным давлением пара и воздуха в большой степени зависит от температуры. При низкой температуре содержание пара в воздухе невелико, мало и его парциальное давление, даже если пар насыщенный. С повышением температуры увеличивается содержа-

ние насыщенного пара в воздухе, увеличивается и его парциальное давление ($P_{п.п}$). Соотношение между парциальным давлением насыщенного пара и сухого воздуха при 20° С — 0,025 : 0,975; при 60° С — 0,2 : 0,8; при 80° С — 0,5 : 0,5; при 90° С — 0,7 : 0,3. При 100° С смесь превращается в чистый насыщенный пар и не содержит воздуха: $P_{п.п}=10^5$ МПа.

При постоянном давлении состояние смеси воздуха и пара определяется двумя параметрами. Для технических расчетов кроме парциального давления пара и температуры имеют значение следующие параметры воздуха: абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, теплосодержание.

Абсолютной влажностью воздуха ($\rho_п$) называют плотность водяного пара, т. е. массу водяного пара в единице объема влажного воздуха. Например, в летние солнечные дни с температурой 25—30° С в 1 м³ воздуха содержится от 10 до 20 г пара ($\rho_п=0{,}01...$ $...0{,}02$ кг/м³). Максимально возможная абсолютная влажность воздуха при данной температуре называется **влагоемкостью** ($\rho_н$). С повышением температуры влагоемкость воздуха резко возрастает. Отношение фактической абсолютной влажности воздуха к влагоемкости называется **относительной влажностью воздуха**:

$$\varphi = \rho_п / \rho_н = P_п \, P_н,$$

т. е. относительная влажность равна также и отношению парциального давления пара в воздухе к давлению его насыщения при данной температуре. Величина φ может быть выражена в долях единицы (0,5; 0,6 и т. д.) или в процентах (соответственно 50%, 60% и т. д.). Термин «относительная влажность» впервые появился в метеорологии, в технике чаще применяют термин **степень насыщения.**

Влагосодержанием воздуха d называют массу водяного пара, приходящуюся на 1 кг сухой части воздуха. Влагосодержание выражают в граммах на 1 кг сухого воздуха. **Теплосодержанием** влажного воздуха называют суммарное количество тепла сухого воздуха и пара, приходящееся на единицу массы сухого воздуха. По СИ количество тепла выражается в джоулях (Дж). Старая техническая характеристика — 1 кал=4,19 Дж.

Для непосредственного измерения состояния влажного воздуха в камере применяют психрометр. Психрометром называют прибор, служащий для определения температуры и влажности воздуха и состоящий из двух термометров, причем шарик одного из них покрыт марлевым или батистовым чехлом и непрерывно увлажняется из сосуда с водой.

Для испарения воды требуется определенное количество тепла. При испарении воды со смоченного чехла специального подогрева ее не производится, т. е. извне тепло не поступает, и процесс испарения происходит за счет тепла воздуха, соприкасающегося с водой. Затрата тепла на испарение приводит к охлаждению воздуха и влаги у поверхности, испаряющей воду. Вследствие этого темпе-

ратура влажного чехла остается постоянной до тех пор, пока происходит испарение. Чувствительный элемент (шарик) термометра, соприкасаясь с чехлом, фиксирует температуру испаряющей поверхности. В современных лесосушильных камерах фиксация температуры сухого и смоченного термометров чаще производится не ртутными и спиртовыми термометрами, а термопарами и термометрами сопротивления. В этом случае появляется возможность дистанционной передачи показаний на пульт управления камерой, чувствительные элементы являются датчиками в системе автоматического управления процессом сушки.

Разность между показаниями сухого и смоченного термометров $t_с - t_м$ называется психрометрической разностью. Чем интенсивнее идет испарение со смоченного чехла термометра, тем больше он охлаждается, а следовательно, больше величина психрометрической разности. Если воздух насыщен водяными парами, то испарения не происходит, в этом случае психрометрическая разность равна нулю.

При двух известных параметрах влажного воздуха можно определить все остальные. Точные расчеты производятся по специальным формулам и созданным на их основе таблицам (табл. 1), а приближенные — по *Id*-диаграмме в координатах «теплосодержание — влагосодержание» или *tp*-диаграмме в координатах «температура — парциальное давление пара».

Пример. Показания сухого термометра $t_с = 90°$ С, смоченного $t_м = 60°$ С. Определить степень насыщения влажного воздуха.

По табл. 1 величина φ, выраженная в процентах, находится на пересечении графы для $t_с = 90°$ С и строки соответствующей психрометрической разности $t_с - t_м = 90°$ С—60° С = 30° С. Степень насыщения равна 26%.

Тот же пример можно решить с помощью *Id*-диаграммы, макет которой представлен на рис. 1. Для этого находим точку пересечения линии $t_м = 60°$ С и $\varphi = 1{,}0$. Из этой точки по линии $I = \text{const}$ поднимаемся до пересечения с линией $t_с = 90°$ С. Положение точки пересечения *A* характеризует не только $\varphi = 26\%$, но и остальные параметры воздуха: $I = 490$ кДж/кг, $d = 150$ г/кг, $P_п = 19$ кПа.

Камерная сушка древесины происходит не только в паровоздушной среде, но и в среде топочных газов. Теплоемкость сухих топочных газов мало отличается от теплоемкости сухого воздуха, поэтому при расчете процессов в газовых лесосушильных камерах пользуются теми же зависимостями, уравнениями и той же *Id*-диаграммой, что и для паровоздушной среды.

При повышении температуры воздуха увеличивается его теплосодержание, влагосодержание остается тем же, а степень насыщения φ резко снижается, т. е. резко увеличивается способность воздуха поглощать водяные пары. Например, при подогреве воздуха температурой 40° С ($\varphi = 80\%$) до 90° С φ снижается до 8%. Во втором случае каждый килограмм сухого воздуха способен поглотить на 400 г влаги больше, чем в первом.

При охлаждении воздуха относительная влажность повышается. Момент, когда она достигает 100%, называется **точкой росы.** С этого момента выделяется капельная влага. Если воздух охлаждать ниже температуры точки росы, его относительная влажность φ остается равной 100%, а влагосодержание уменьшается. Такое явление наблюдается при закатке холодных (особенно мерзлых — зимой) штабелей в камеру. Теплый воздух камеры, омывающий эти штабеля, охлаждается ниже точки росы, а капельки выделенной из воздуха влаги осаждаются на поверхности холодных досок или образуют над ними туман.

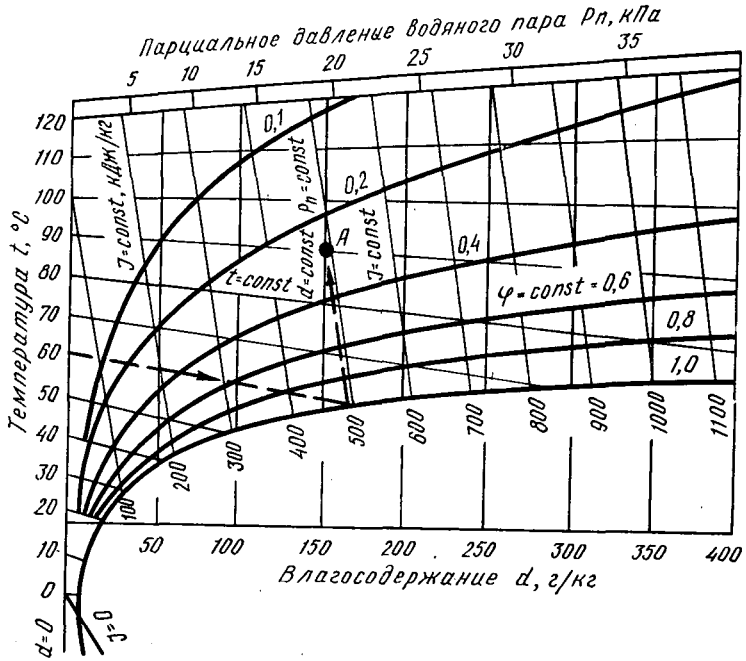


Рис. 1. Макет *Id*-диаграммы

При сушке происходит испарение влаги из древесины, влагосодержание воздуха и степень насыщения при этом увеличиваются, а температура понижается, теплосодержание воздуха не изменяется, так как тепло, затраченное на испарение в виде пара, остается в воздушной смеси. Например, при прохождении через штабеля в камерах непрерывного действия воздух при начальных параметрах $t_c = 55°$ С и $\varphi = 40\%$ выходит из штабелей с $t_c = 43°$ С и $\varphi = 80\%$. Такой воздух не утратил дальнейшей способности поглощать влагу, поэтому он вновь направляется на сушку. При этом его снова нагревают до $t_c = 55°$ С и добавляют свежего воздуха для уменьшения φ до 40%.

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

Температура сушильного агента t, °С	Психрометрическая разность Δt, °С																														Температура сушильного агента t, °С
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
30	100	93	87	79	73	66	60	55	50	44	39	34	30	25	20	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30
32	100	94	87	80	73	67	62	57	52	46	41	36	32	28	23	19	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32
34	100	94	87	81	74	68	63	58	54	48	43	38	34	30	26	22	19	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	34
36	100	94	88	81	75	69	64	59	55	50	45	40	36	32	28	25	21	18	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36
38	100	94	88	82	76	70	65	60	56	51	46	42	38	34	30	27	24	20	17	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38
40	100	94	88	82	76	71	66	61	57	53	48	44	40	36	32	29	26	23	20	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40
42	100	94	89	83	77	72	67	62	58	54	49	46	42	38	34	31	28	25	22	19	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42
44	100	94	89	83	78	73	68	63	59	55	50	47	43	40	36	33	30	27	24	21	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44
46	100	94	89	74	79	74	69	64	60	56	51	48	44	41	38	34	31	23	25	22	20	16	—	—	—	—	—	—	—	—	46
48	100	95	90	84	79	74	70	65	61	57	52	49	46	42	39	36	33	30	27	24	22	17	—	—	—	—	—	—	—	—	48
50	100	95	90	84	79	75	70	66	62	58	54	50	47	44	41	37	34	31	29	26	24	19	14	—	—	—	—	—	—	—	50
52	100	95	90	84	80	75	71	67	63	59	55	51	48	45	42	38	36	33	30	27	25	20	16	—	—	—	—	—	—	—	52
54	100	95	99	84	80	76	72	68	64	60	56	52	49	46	43	39	37	34	32	29	27	22	18	14	—	—	—	—	—	—	54
56	100	95	90	85	81	76	72	68	64	60	57	53	50	47	44	41	38	35	33	30	28	23	19	15	—	—	—	—	—	—	56
58	100	95	90	85	81	77	73	69	65	61	58	54	51	48	45	42	39	36	34	31	29	25	20	17	—	—	—	—	—	—	58
60	100	95	90	86	81	77	73	69	65	61	58	55	52	49	46	43	40	37	35	32	30	26	22	18	14	—	—	—	—	—	60
62	100	95	91	86	82	78	74	70	66	62	59	56	53	50	47	44	41	38	36	33	31	27	23	19	16	—	—	—	—	—	62
64	100	95	91	86	82	78	74	70	67	63	60	57	54	51	48	45	42	39	37	34	32	28	24	20	17	—	—	—	—	—	64
66	100	95	91	86	82	78	75	71	67	63	60	57	54	51	49	46	43	40	38	35	33	29	25	22	18	15	—	—	—	—	66
68	100	95	91	87	82	78	75	71	68	64	61	58	55	52	49	46	44	41	39	36	34	30	26	23	19	16	—	—	—	—	68
70	100	96	91	87	83	79	76	72	68	64	61	58	55	52	50	47	44	41	39	37	35	31	27	24	20	17	—	—	—	—	70
72	100	96	91	87	83	79	76	72	69	65	62	59	56	53	50	47	45	42	40	38	36	32	28	25	21	18	—	—	—	—	72
74	100	96	92	87	84	80	76	72	69	65	63	60	56	53	51	48	46	43	41	39	37	33	29	26	22	19	14	—	—	—	74
76	100	96	92	87	84	80	77	73	70	66	64	61	57	54	52	49	47	44	42	40	38	34	30	27	23	20	15	—	—	—	76
78	100	96	92	88	84	80	77	73	70	66	64	61	58	55	53	50	48	45	42	40	38	34	31	27	24	21	16	—	—	—	78
80	100	96	92	88	84	80	77	73	70	66	64	61	58	55	53	50	48	45	43	41	39	35	31	28	25	25	22	17	—	—	80
82	100	96	92	88	84	80	77	74	71	67	65	62	59	56	54	51	49	46	44	42	40	36	32	29	26	23	18	—	—	—	82
84	100	96	92	88	84	80	77	74	71	68	65	62	59	56	54	51	49	46	44	42	40	36	32	29	26	23	19	14	—	—	84
86	100	96	92	88	84	80	78	75	72	69	66	63	60	57	55	52	50	47	45	43	41	37	33	30	27	24	20	15	—	—	86
88	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	63	60	57	55	52	50	48	46	44	42	38	34	31	28	25	21	16	—	—	88
90	100	97	93	89	85	81	79	75	72	69	66	63	61	58	56	53	51	49	47	45	43	39	35	32	29	26	22	18	—	—	90
92	100	97	93	90	86	82	79	76	73	70	67	64	62	59	57	54	52	50	47	45	43	39	36	33	30	26	22	19	16	—	92
94	100	97	93	90	86	82	79	76	73	70	67	65	62	60	57	54	52	50	48	46	44	40	37	33	30	27	23	20	17	—	94
96	100	97	93	90	87	83	80	76	73	70	68	65	62	60	58	55	53	51	48	46	44	41	37	34	31	28	24	21	18	—	96
98	100	97	93	90	87	83	80	77	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	49	47	45	41	38	34	31	28	25	22	19	16	98
100	100	97	93	90	87	83	80	77	74	71	63	66	63	61	59	56	54	52	49	47	45	42	38	35	32	29	26	23	20	17	100
102	—	—	94	91	88	84	81	78	75	72	69	67	64	62	59	56	54	52	50	48	46	42	38	35	32	29	26	23	21	18	102
104	—	—	—	—	88	84	81	78	75	72	69	67	64	62	60	57	55	53	50	48	46	42	39	35	32	30	27	24	22	19	104
106	—	—	—	—	—	—	81	78	75	72	69	67	64	62	60	57	55	53	50	48	46	43	39	36	33	30	27	24	22	20	106
108	—	—	—	—	—	—	—	—	75	72	69	67	64	62	60	57	55	54	51	49	46	43	40	36	33	31	28	25	23	21	108
110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	69	67	65	63	61	58	56	54	51	49	46	43	41	37	34	32	29	26	24	21	110
112	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65	63	61	58	56	54	52	50	47	44	42	38	35	33	30	27	24	22	112
114	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61	58	56	54	52	50	48	45	42	38	35	33	30	27	25	22	114
116	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57	55	53	51	49	46	43	39	36	34	31	28	25	23	116
118	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53	51	49	46	43	40	37	34	32	29	26	23	118
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	47	44	41	38	35	32	29	26	24	120
125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41	38	35	33	30	27	25	125
130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	33	31	28	26	130

Влага в древесине. Содержание влаги в древесине определяется отношением массы влаги к массе самой древесины. Это отношение, выраженное в процентах, называется влажностью:

$$W = 100 m_{вл}/m_{сух} = 100\,(m - m_{сух})/m_{сух},$$

где m — масса влажной древесины; $m_{сух}$ — масса древесины в абсолютно сухом состоянии; $m_{вл}$ — масса влаги в образце.

На практике влажность древесины измеряется двумя способами — весовым и с помощью кондуктометрических влагомеров. Из всех известных способов весовой наиболее точный, но наиболее трудоемкий и длительный. Подробно весовой метод определения влажности рассмотрен далее.

Электрические кондуктометрические влагомеры основаны на зависимости электрического сопротивления древесины от ее влажности. Они просты, достаточно надежны в работе, могут быть с автономным источником питания или работать от сети переменного тока. Наша промышленность серийно выпускает влагомер ЭВ-2К. Точность измерения влажности в этом случае ниже, чем при весовом способе. Кроме того, влагомер измеряет влажность только между воткнутыми в древесину иголками, т. е. локально, поэтому для определения средней влажности образца необходимо сделать несколько замеров и найти среднюю величину. Важное преимущество влагомера — возможность быстрого измерения влажности, кроме того, он может быть использован для дистанционного контроля. Характерная особенность кондуктометрических влагомеров — уменьшение точности замера с увеличением влажности древесины.

Методы определения влажности партии пиломатериалов регламентированы ГОСТ 16588—71 «Пиломатериалы и заготовки. Методы определения влажности». Стандарт распространяется на пиломатериалы и заготовки хвойных и лиственных пород и устанавливает основной и контрольный методы определения средней влажности партии. Основной метод применяется при влажности пиломатериалов и заготовок до 25%, контрольный — при влажности более 25%. При основном методе используют влагомер, что исключает вырезку образцов из пиломатериалов. Пробы отбирают в количестве 3—5% от партии, но не более 50 шт., по диагонали штабеля.

Для замеров используют влагомер ЭВ-2К, имеющий два диапазона измерения с пределами 7—22% и 22—60% влажности. Абсолютная погрешность измерения в первом пределе измерения составляет ±2...±3% влажности. Во втором пределе (30—60%) она не нормируется и доходит практически до 5—10%.

Поскольку нет приборов для достаточно точного измерения высокой влажности древесины, при контрольном стандартном методе определения влажности пользуются старым весовым методом. При этом согласно ГОСТ 16558—71 количество проб должно быть не менее 5 при объеме партии до 10 м³, не менее 10 при объеме пар-

тии 10—50 м³. При большем объеме отбирают не менее 10 шт. на каждые 50 м³, но всего не более 50 шт.

В процессе сушки контроль за влажностью ведут по нескольким образцам (2—3), уложенным в штабель. Статистическая достоверность величины влажности при таких замерах недостаточна. Однако увеличение достоверности, т. е. увеличение числа контрольных образцов, приводит к большому расходу материала и увеличивает трудоемкость замеров. Ни один из вновь испытанных способов замера влажности древесины в процессе сушки также не удовлетворяет в полной мере технологическим требованиям.

Влажность древесины, подлежащей сушке (начальная влажность), колеблется в очень больших пределах. Она зависит прежде всего от породы и места взятия пробы (табл. 2). Влажность сплавной древесины больше, чем свежесрубленной, в ядровой части на 10—20%, в заболони — на 30—40%.

2. Влажность свежесрубленной древесины

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

Средняя влажность после распиловки в большой степени зависит от размеров поперечного сечения пиломатериалов. Это объясняется тем, что в толстых и широких досках процент ядровой (спелой) древесины выше. Поскольку ядровая (спелая) древесина имеет меньшую влажность в сравнении с заболонью, влажность толстых и широких пиломатериалов оказывается ниже, чем тонких и узких. Зависимость между размерами поперечного сечения и средней влажностью сосновых досок приведена в табл. 3.

3. Распределение влажности сосновых материалов в зависимости от сечения

Размеры досок, мм		Соотношение заболонной и ядровой древесины, %		Средняя влажность пиломатериалов, %
толщина	ширина	заболонной	ядровой	
13—23	50—76	69,8	30,2	111,4
13—23	90—140	56,0	44,0	105,0
13—23	150—280	32,0	68,0	74,0
25—46	90—140	35,5	64,5	75,7
25—46	150—280	21,0	79,0	61,0
50—76	90—140	27,0	78,0	68,3
50—76	150—280	13,2	86,8	50,8

В древесине различают влагу **свободную**, находящуюся в полостях клеток, и **связанную** (или гигроскопическую), содержащуюся в стенках клеток. Максимальное содержание свободной влаги, зависящее от объема полостей клеток и межклеточных пространств, колеблется для древесины разных пород от 60—70 до 200—250% по отношению к массе сухого вещества. Максимальное количество связанной влаги в древесине при $t=15...20°$ С независимо от породы равно приблизительно 30%.

Состояние древесины, при котором в ней отсутствует свободная влага, но находится максимальное количество связанной, называется **пределом насыщения волокон.**

Древесина — гигроскопичный материал, способный изменять свою влажность в зависимости от изменения влажности окружающего воздуха. Влажность, к которой стремится древесина при выдержке ее в воздухе определенного состояния, называется **устойчивой влажностью.** Древесина может достигать устойчивой влажности или увлажняясь ($W_{у.с}$) или высыхая ($W_{у.д}$). Эти процессы не вполне обратимы. При одинаковом состоянии среды устойчивая влажность при высыхании выше, чем при увлажнении. Разность между ними $\Delta W = W_{у.д} - W_{у.с}$ носит название показателя гистерезиса сорбции (сорбция — поглощение влаги, десорбция — удаление влаги из материала). Величина гистерезиса сорбции зависит главным образом от размеров образца. Для мелких древесных частиц она практически равна нулю, для образцов толщиной 15 мм и выше достигает постоянной величины — 2,5% влажности.

Устойчивую влажность измельченной древесины называют **равновесной влажностью** ($W_р$). Значения ее в зависимости от температуры t и относительной влажности окружающего воздуха φ даны на диаграмме рис. 2. Диаграмма равновесной влажности древесины связывает вместе три величины — t, φ и $W_р$; зная любые две из них, легко найти третью. Например, если $t=40°$ С и $\varphi=60\%$, то соответствующая им равновесная влажность древесины $W_р=10\%$.

Устойчивая влажность при увлажнении и высыхании для конкретных образцов и сортиментов определяется по диаграмме равновесной влажности с учетом показателя гистерезиса:

$$W_{у.д} = W_р + \Delta W/2; \quad W_{у.с} = W_р = \Delta W/2.$$

Выражение справедливо для древесины, не подвергавшейся воздействию повышенной (более 50° С) температуры. После камерной сушки гигроскопичность древесины уменьшается, поэтому при определении устойчивой влажности пользуются выражениями:

$$W_{у.д} = W_р; \quad W_{у.с} = W_р - \Delta W.$$

Для образцов промышленного размера $\Delta W=2,5\%$.

Таким образом, до какой бы влажности ни была высушена древесина, при длительном пребывании в воздушной среде определенного состояния влажность ее становится близкой к равновесной,

соответствующей состоянию среды. Исходя из этого, определяют конечную, или эксплуатационную, влажность, до которой необходимо высушивать материал. **Эксплуатационная** влажность соответствует температурно-влажностным условиям эксплуатации готовых изделий. При сушке товарных пиломатериалов неизвестно, где будет использована древесина, невозможно определить и ее эксплуатационную влажность. Поэтому их сушат до так называемой **транспортной** влажности, обеспечивающей сохранность пиломатериалов на период их хранения и транспортировки от биологического разрушения и гниения. Средняя величина транспортной влажности 19%, максимальная 23%.

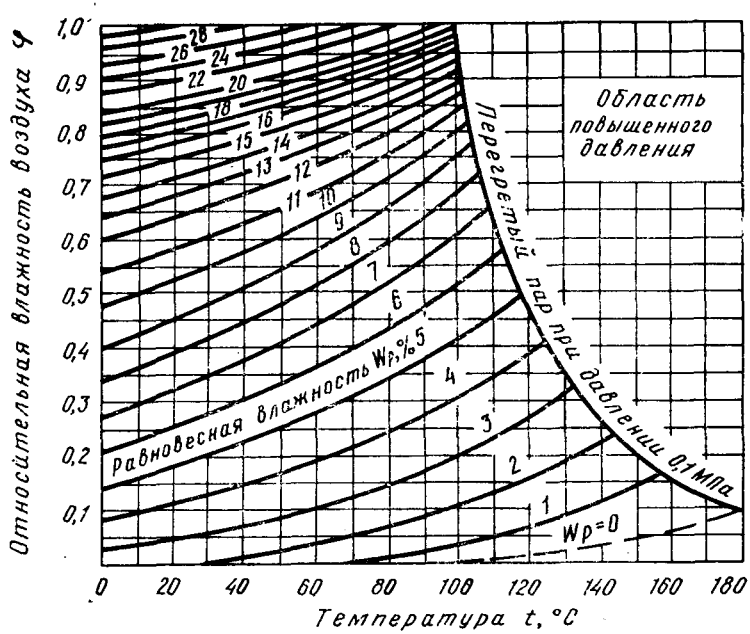


Рис. 2. Диаграмма равновесной влажности

Влажностные деформации древесины. Размеры деталей из древесины изменяются при изменении состояния среды. Температурные деформации сравнительно невелики и в практике их не учитывают. Влажностные деформации значительно больше, что является одним из отрицательных свойств древесины.

Уменьшение линейных размеров или объема древесины при высыхании называется **усушкой**, увеличение размеров и объема при повышении влажности — **разбуханием.** Величину усушки выражают обычно в процентах от линейного размера или объема образца во влажном состоянии, величину разбухания — в сухом состоянии.

Линейная усушка вследствие анизотропности (неоднородности) древесины не одинакова в разных направлениях. Тангенциальная

усушка — по направлению годичных слоев — наибольшая и достигает 8—12% при изменении влажности древесины от предела насыщения волокна ($W=30\%$) до абсолютно сухого состояния (полная усушка). Радиальная усушка — по направлению радиуса ствола — в 1,5—2 раза меньше тангенциальной. Усушка вдоль волокон составляет лишь 0,1% при удалении из древесины всей влаги. Ее, как правило, не учитывают.

Величина усушки зависит от породы древесины, а в пределах одной породы — от содержания в единице объема древесного вещества (компактности древесины). Мерой компактности в технике гидротермообработки служит **условная плотность** $\rho_{усл}$ (табл. 4),

4. 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, тополь	360	Береза	500	Ясень	540
Сосна	400	Лиственница	520	Дуб	560

под которой понимают отношение массы древесины в абсолютно сухом состоянии $m_{сух}$ к объему ее при влажности выше предела насыщения клеточных стенок $V_{п.н}$

$$\rho_{усл} = m_{сух} V_{п.н} .$$

Между условной плотностью и полной усушкой имеется приближенная связь:

$$У_{п.об} = 0{,}028\rho_{усл};\ У_{п.т} = 0{,}018\rho_{усл};\ У_{п.р} = 0{,}01\rho_{усл},$$

где $У_{п.об}$; $У_{п.т}$; $У_{п.р}$ — соответственно полная объемная, тангенциальная и радиальная усушка.

Зная породу древесины, ее условную плотность и влажность, можно рассчитать величину ожидаемой усушки:

$$У_W = K_у (30 - W),$$

где $K_у$ — коэффициент усушки, характеризующий ее величину при изменении влажности клеточных стенок на 1%.

$$K_у = У_п / 30,$$

где $У_п$ — полная усушка.

При промышленной сушке изменение размеров несколько отличается от величины, обусловленной чистой усушкой. В СССР проведены подробные исследования фактической усушки древесины основных отечественных пород, наиболее широко применяемых в промышленности и строительстве. На основании этих исследований разработаны стандарты припусков на усушку пиломатериалов хвойных и лиственных пород. В настоящее время действуют два

стандарта: ГОСТ 6782.1—75 «Пилопродукция из древесины хвойных пород. Величина усушки» и ГОСТ 6782.2—75 «Пиломатериалы из древесины лиственных пород. Величина усушки».

Физические явления в процессе сушки. При сушке древесины происходят следующие основные физические явления: теплообмен между материалом и окружающей средой; испарение влаги с поверхности материала; перемещение влаги в материале от внутренних слоев к наружным; изменение размеров древесины.

Основная задача сушки — удаление влаги из древесины в максимально короткий срок при сохранении ее целостности. Влага удаляется из древесины в результате испарения с поверхности. Интенсивность испарения ее с поверхности значительно больше интенсивности перемещения внутри древесины. Поверхностные слои древесины высыхают быстрее, чем внутренние. Создается перепад (разность) влажности по сечению образца. Чем больше величина перепада, тем интенсивнее движется влага к наружным слоям. Свойство древесины перемещать влагу под действием перепада влажности называется **влагопроводностью.**

Интенсивность испарения влаги с поверхности зависит от параметров агента сушки и скорости его движения у поверхности материала. Чем выше температура, ниже степень насыщения и больше скорость движения воздуха, тем интенсивнее испаряется влага с поверхности материала.

Влагопроводность древесины (интенсивность перемещения влаги внутри материала) зависит от ее температуры, направления перемещения влаги, породы; в пределах одной породы — от расположения влаги в стволе (например, в ядре или заболони).

Влагопроводность древесины вдоль волокон в 20—40 раз больше, чем поперек. Это явление позволяет быстро высушивать короткие заготовки. При сушке пиломатериалов вследствие хорошей влагопроводности вдоль волокон влага быстро испаряется с торцов и создается перепад влажности по длине материала, что может привести к появлению торцовых трещин. Влагопроводность древесины в радиальном направлении несколько лучше, чем в тангенциальном. Более плотный материал высыхает, как правило, медленнее, чем более пористый и легкий. Ядровые сортименты обладают меньшей влагопроводностью, т. к. их древесина плотнее заболони и содержит смолы и другие вещества, закупоривающие влагопроводящие пути.

Температура — основной регулируемый фактор, посредством которого можно резко повысить влагопроводность древесины. С повышением температуры, с одной стороны, уменьшается вязкость перемещаемой жидкости, с другой — увеличивается упругость водяных паров в клетках, что способствует интенсивному выталкиванию влаги изнутри к поверхности.

Проведение процессов сушки при температурах выше 100° С в 2,5—3 раза сокращает сроки сушки, т. к. в этом случае жидкость не испаряется, а выпаривается из древесины, т. е. влага в материале стремится перейти в газообразное состояние, повышается дав-

ление водяных паров в древесине, что способствует интенсивному перемещению влаги к наружным слоям. Следует, однако, учитывать, что применение высоких температур снижает прочность древесины и изменяет ее цвет.

Кроме перепада влажности побудителем движения влаги в древесине может быть перепад температур по сечению материала. Влага движется от горячих мест к более холодным. В процессе конвективной сушки температурный перепад препятствует перемещению влаги к поверхности и несколько замедляет сушку. Явление термовлагопроводности успешно используется при высокочастотной сушке, когда центр высушиваемого сортимента имеет температуру более высокую, чем поверхность. Процесс сушки состоит из трех периодов.

1. Период прогрева материала. Прогрев производится при высокой степени насыщения воздуха ($\varphi = 95...100\%$). В этот период испарение влаги почти отсутствует и поэтому скорость сушки можно принять равной нулю.

2. Период постоянной скорости сушки. В период постоянной скорости сушки древесина имеет высокую влажность, свободная влага испаряется с поверхности древесины. На этом этапе процесса влажность поверхности близка к пределу насыщения волокон. Свободная влага из внутренних слоев поступает в количестве, достаточном для того, чтобы поддержать ее на указанном уровне. Период постоянной скорости невелик, при камерной сушке он почти отсутствует.

3. Период падающей скорости сушки. В этот период влажность поверхностных слоев близка к равновесной влажности с окружающим воздухом, а скорость сушки постепенно уменьшается и к концу периода равна нулю, т. к. при достижении материалом равновесной влажности испарение прекращается.

Процесс камерной сушки древесины может быть изображен графически. Если на горизонтальной оси отложить время сушки, а на вертикальной — влажность древесины, процесс убыли влаги из древесины будет характеризоваться **кривой сушки** (рис. 3). Участок *ОА* — прогрев древесины идет горизонтально, т. к. влага в этот период не испаряется. Участок *АБ* — наклонная прямая линия характеризует процесс быстрого испарения влаги с поверхности древесины до критической влажности $W_к$, после чего процесс сушки замедляется (участок *БВ*) и кривая с течением времени (с уменьшением влажности древесины) становится все более пологой. Когда влажность древесины приближается к равновесной, процесс прекращается, кривая переходит в горизонтальную линию.

В процессе сушки влага удаляется сначала с поверхности, влажность внутренних слоев становится выше, чем наружных, а их стремление к усушке, наоборот, ниже. Это служит причиной появления в начальной стадии сушки **внутренних напряжений** (растягивающих в поверхностных слоях и сжимающих в центральных), которые могут привести к растрескиванию древесины.

Древесина — пластичный материал, т. е. легко изменяет форму и размеры под действием нагрузки. Пластичность ее возрастает с повышением температуры и влажности. Благодаря пластичности влажных древесных волокон при высокой температуре напряжения, возникающие в начале сушки, уменьшаются и в середине процесса исчезают.

Во второй половине сушки, когда влажность внутри древесины начинает изменяться быстрее, чем влажность на поверхности, стремление к усушке у внутренних слоев будет больше, чем у наружных. Это снова вызывает появление напряжений, но уже противоположного знака. Поверхностные слои испытывают сжимающие напряжения, центральные — растягивающие. Вследствие низкой влажности пластичность древесины во втором периоде ниже, и возникшие напряжения полностью не исчезают, а остаются и в высушенном материале.

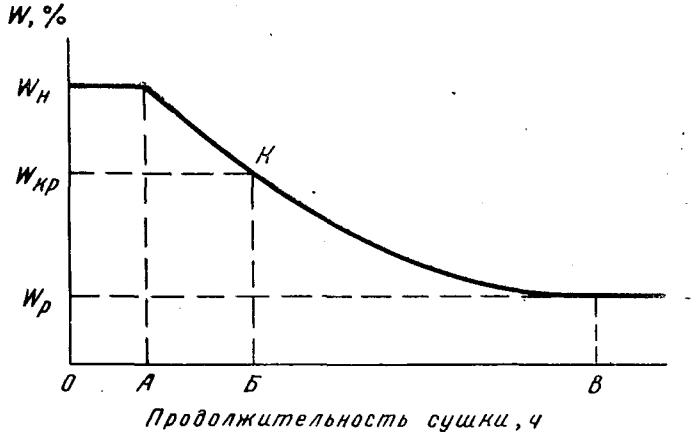


Рис. 3. График процесса сушки древесины

При неправильном проведении процесса сушки, когда испарение влаги с поверхности идет очень быстро, внутренние напряжения могут превысить предел прочности древесины, и материал растрескается.

Полностью ликвидировать внутренние напряжения невозможно. Задача сушильщика состоит в том, чтобы сделать их неопасными. Для того чтобы уменьшить напряжения в начале процесса, сушку надо начинать при высокой влажности воздуха и сравнительно невысокой температуре. К концу сушки влажность понижается, а температура повышается. Напряжения, возникающие во втором периоде сушки, могут быть уменьшены термовлагообработкой — кратковременным повышением температуры и влажности воздуха в камере. При этом пластичность древесины возрастает и напряжения уменьшаются.

Контроль за внутренними напряжениями при сушке производят по силовым секциям. Порядок его осуществления рассмотрен далее.

2. АТМОСФЕРНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Общие положения. Атмосферная сушка заключается в выдерживании сырой пилопродукции, уложенной в штабеля, на воздухе под защитой кровли. К недостаткам этого способа сушки следует отнести сезонность, большую продолжительность, высокую конечную влажность (18—20%), потребность в больших площадях и возможность грибных поражений; к достоинствам — невысокие капитальные затраты, в 3—4 раза меньшие, чем при камерной сушке, отсутствие тепловых затрат, простоту обслуживания участков сушки, возможность совмещения сушки и хранения, а также высокое качество высушенных этим способом пиломатериалов.

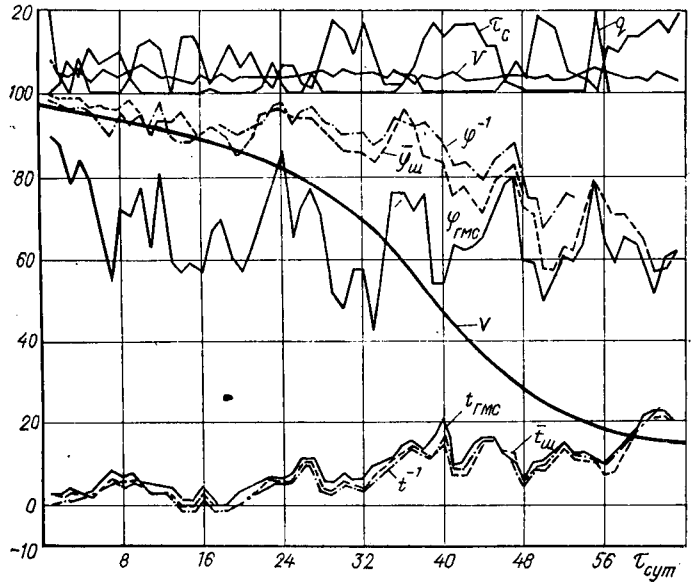


Рис. 4. Температурно-влажностный режим в штабеле сосновых пиломатериалов: $\bar{t}_{гмс}$, $\bar{\varphi}_{гмс}$ — температура и степень насыщенности воздуха вне штабеля (на ближайшей гидрометеорологической станции); $\bar{t}_ш$, $\bar{\varphi}_ш$ — то же в штабеле; τ_c, q, V — продолжительность светового дня, сумма осадков, скорость ветра; v — влажность древесины

Качество и сроки атмосферной сушки определяются состоянием воздуха в штабеле — его микроклиматом, который зависит не только от внешних климатических условий, но в определенных границах регулируется изменением плотности укладки штабелей пиломатериалов, размещением их на складе, соответствующим подбором крыш и фундаментов.

В ЦНИИМОДе проведены исследования, в результате которых установлены зависимости между состоянием воздуха в пакетном штабеле и вне его. На рис. 4 представлено изменение среднесуточных значений температуры и степени насыщенности воздуха в шта-

беле за период его сушки в мае-июне в условиях Архангельска. Фактические среднесуточные значения температуры и степени насыщенности воздуха в штабеле ($\bar{t}_ш$ и $\bar{\varphi}_ш$) взяты с диаграммных лент самописцев, установленных в штабеле. Микроклиматические исследования позволили определить пределы, в которых за счет изменения плотности укладки можно искусственно регулировать состояние воздуха в штабеле.

По графику, изображенному на рис. 5, можно определить, как при заданных климатических условиях меняется степень насыщенности воздуха в 5—7-ярусном пакетном штабеле, сформированном из сырых пиломатериалов, в зависимости от плотности его укладки. Пусть среднесуточная температура воздуха вне штабеля равна 10° С, а степень насыщенности 70%. Равновесная влажность воздуха, соответствующая этим условиям, $W_р = 14\%$. При известных $W_р$ и плотности укладки, которая выражается через ширину шпации B, в долях ширины доски, по графику (рис. 5) можно определить избыточную степень насыщенности воздуха $\varphi_и$. Под $\varphi_и$ понимается разность между среднесуточной степенью насыщенности воздуха в штабеле и вне его. Если штабель уложен без шпаций, т. е. $B = 0$, то $\varphi_и = 22\%$, при шпации равной ширине доски $\varphi_и = 11\%$. Таким образом, меняя в указанных пределах плотность штабеля, можно изменять среднесуточную степень насыщенности воздуха в штабеле от 92 до 81%.

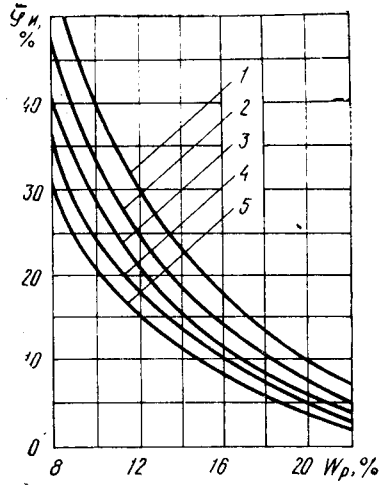


Рис. 5. Зависимость избыточной степени насыщенности ($\bar{\varphi}_н$) от состояния наружного воздуха при ширине шпации B:
1 — 0; 2 — 0,25; 3 — 0,5; 4 — 0,75; 5 — 1

Правила атмосферной сушки на складе регламентируются государственными стандартами: для пиломатериалов хвойных пород — ГОСТ 3808.1—75; для пиломатериалов лиственных пород ГОСТ 3808.2—75. В этих стандартах в зависимости от климатических условий отдельных районов территория СССР в отношении просыхания пиломатериалов условно подразделена на четыре зоны.

Рекомендации по конструкциям штабелей даны в стандартах в зависимости от климатических зон. В той же зависимости представлена и ориентировочная продолжительность атмосферной сушки в табл. 5.

Основные правила укладки пиломатериалов в штабеля. Каждый штабель пиломатериалов должен быть уложен на фундамент, который выполняется из переносных элементов — железобетонных и бетонных опор (рис. 6) и железобетонных или деревянных прогонов. Допускается применять деревянные опоры, пропитанные ан-

5. Продолжительность сушки пиломатериалов на открытых складах до влажности 22%

Время укладки пиломатериалов для сушки	Номер климатической зоны	Продолжительность сушки, дни, 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	26—30	34—36	43—51
» »	4	13—15	17—22	22—30
Июнь, июль	1	13—17	22—43	43—55
» »	2	10—13	15—22	34—51
» »	3	9—10	17—34	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 указана продолжительность сушки пиломатериалов (сосна, ель, кедр, пихта) в днях со средними положительными температурами для пакетных штабелей. Для рядовых штабелей продолжительность сушки увеличивается на 10%, для лиственницы — на 60%.

тисептическими препаратами с целью защиты от гниения. Высота фундамента не менее 50 см (рис. 6, *а*). В местностях с максимальной высотой снежного покрова более 50 см фундамент должен иметь высоту 75 см (рис. 6, *б*). На складах при наличии водоотводов и асфальтобетонных покрытий подштабельных мест высота фундаментов может быть снижена до 30 см.

Пиломатериалы укладывают в пакет или штабель с прокладками и шпациями раздельно по сечениям (необрезные по толщине) и породам. Максимальная высота штабеля не должна превышать 12 м.

В рядовые штабеля укладывают пиломатериалы шириной не более 150 мм. Для пиломатериалов внутрисоюзного потребления ниже III сорта и экспортных ниже IV ширина не ограничивается.

Для равномерного просыхания пиломатериалов и лучшей вентиляции посередине рядового штабеля на всю его высоту устраивают вертикальный канал шириной не менее 40 см. Горизонтальные каналы высотой 15 см устраивают на уровне 100 и 215 см от нижнего ряда пиломатериалов.

В рядовых штабелях ширину шпаций между смежными досками в каждом ряду устанавливают в зависимости от климатических условий: при ширине пиломатериалов до 150 мм ширина шпаций для 1—2-й климатических зон равна 100—125 мм, для 3—4-й климатических зон 75—100 мм; при ширине 160—280 мм — соответственно 150—175 и 125—150 мм.

Пакетный штабель для сушки пиломатериалов состоит из отдельных сушильных пакетов, одинаковых по размерам поперечно-

го сечения и уложенных на фундамент в несколько горизонтальных рядов. Длина пакета определяется максимальной длиной пиломатериалов, укладываемых в пакет, а ширина и высота — возможностью применяемых подъемно-транспортных механизмов.

Разрывы между вертикальными стопами пакетов в штабеле не менее 25 см. Межпакетные прокладки, разделяющие ярусы пакетов по вертикали, изготовляют сечением 100×100 мм. Допускается применение прокладок толщиной 75 мм.

Межрядовые прокладки, разделяющие горизонтальные ряды досок в пакете, изготовляют из древесины без гнили и синевы толщиной 22 и 25 мм и шириной 40—50 мм. Длина их должна быть

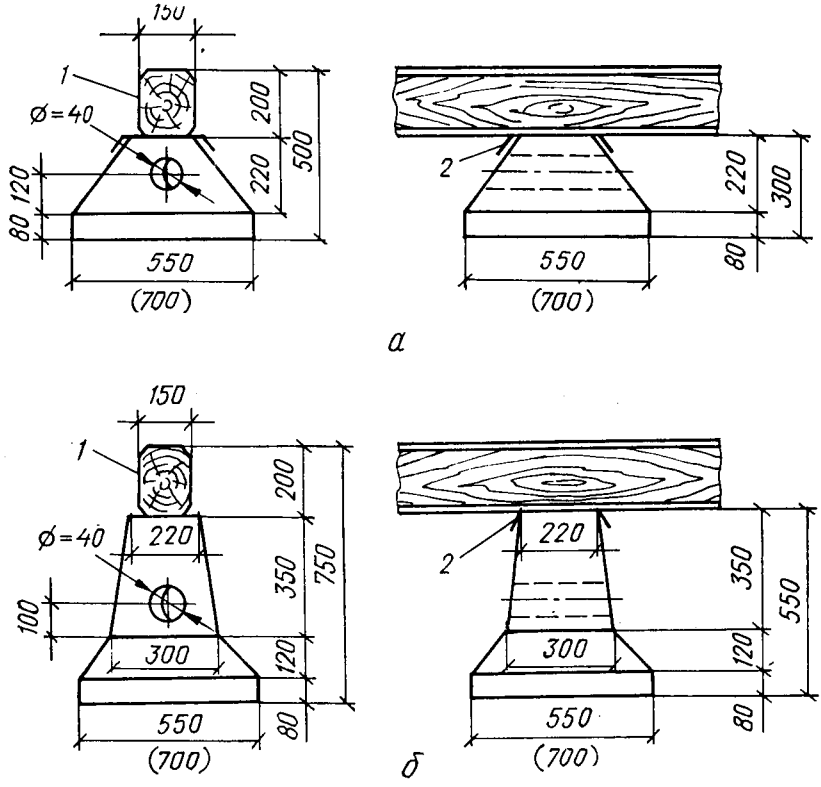


Рис. 6. Фундамент штабеля:
1 — прогон; *2* — прокладка из рубероида

равна ширине пакета. Количество прокладок по длине пакета и расстояние между ними должно соответствовать прогонам фундамента. Крайние прокладки укладывают на расстоянии 450±100 мм от торцов пакета. Прокладки в пакете должны образовывать вертикальные ряды, смещение прокладок от вертикали, проходящей через центр ряда, не должно превышать ±30 мм.

Ширина шпаций между отдельными досками в пакете должна быть не менее 50 мм для сосновых и кедровых пиломатериалов и не менее 35 мм для остальных хвойных пород. При укладке хвойных пиломатериалов толщиной от 50 мм и более в весенне-летний период в 3-й и 4-й климатических зонах ширина шпаций не должна превышать размера равного 0,4 ширины доски. Для антисептированных пиломатериалов ширину шпаций допускается уменьшать до 25 мм. Каждый штабель по окончании формирования покрывают крышей.

Особенности атмосферной сушки пиломатериалов и заготовок лиственных пород (по ГОСТ 7319—74). Пиломатериалы по ГОСТ 2695—71 и заготовки по ГОСТ 7897—71 для создания оптимальных условий атмосферной сушки в зависимости от твердости древесины и толщины сортимента разделяются на три сушильные группы (табл. 6).

6. Сушильные группы пиломатериалов

Породы	Толщина, мм	Сушильные группы
Твердые:		
кольцесосудистые (дуб, ясень, ильм, вяз) и рассеяннососудистые (граб, клен)	Свыше 50	1
	25—50	1
	До 25	2
рассеяннососудистые (бук, береза, орех, платан, груша)	Свыше 50	1
	25—50	2
	До 25	2
Мягкие рассеяннососудистые (осина, липа, ольха, тополь, ива)	Свыше 50	2
	25—50	3
	До 25	3

Заготовки кольцесосудистых пород необходимо укладывать в штабеля под навесами, за исключением заготовок I и II сортов толщиной до 25 мм и III сорта толщиной свыше 25 мм, которые допускается укладывать на открытой площадке. Заготовки рассеяннососудистых пород II и III сортов необходимо укладывать в штабеля на открытых площадках. Заготовки II сорта толщиной свыше 25 мм укладывают в штабеля как под навесами, так и на открытых площадках. Заготовки I сорта укладывают под навесами. Допускается укладывать на открытых площадках заготовки I сорта толщиной до 25 мм. Лыжные заготовки укладывают как на открытых площадках, так и под навесами.

Торцы пиломатериалов и заготовок лиственных пород должны быть покрыты влагозащитной замазкой из древесной или каменноугольной смолы, битума, пека, битумной эмульсии, парафина, поливинилацетатной дисперсии. Буковые пиломатериалы и заготовки после их выпиловки подвергают стерилизационной пропарке, после чего антисептируют и защищают торцы специальными замазками.

При формировании сушильных штабелей прокладки изготовляют из древесины мягких лиственных пород влажностью не более 18%. Крайние прокладки для рядовых штабелей изготовляют шириной 60 мм и укладывают в штабель так, чтобы их кромки выступали над торцами пиломатериалов и заготовок на 20 мм.

Ширину шпаций в зависимости от сушильной группы и климатической зоны определяют по табл. 7.

7. Ширина шпаций при укладке лиственных пиломатериалов

Сушильная группа	Ширина пиломатериалов и заготовок, мм	Ширина шпаций, мм, для климатических зон			
		1	2	3	4
1	До 100	50—60	40—50	30—40	20—30
	100—150	60—70	50—60	40—50	30—40
	Выше 150	70—80	60—70	50—60	40—50
2	До 100	60—70	50—60	40—50	30—40
	100—150	70—80	60—70	50—60	40—50
	Выше 150	80	70—80	60—70	50—60
3	До 100	110—120	80—90	70—80	60—70
	100—150	130—150	90—100	80—90	70—80
	Выше 150	150—170	100—110	90—100	80—90

Механизация работ на открытых складах. Пиломатериалы для атмосферной сушки укладывают вручную (в рядовые штабеля) или механизированным способом (в пакетные штабеля). При ручной укладке сменные нормы выработки представлены в табл. 8.

8. Сменные нормы выработки на одного рабочего, шт. досок

Ширина, мм	Толщина, мм						
	63	50—47	44	38	32—37	22—25	16—19
275	—	—	—	—	—	884	1040
250	—	—	—	—	—	926	1086
225	—	—	—	—	810	984	1145
200	—	—	—	874	852	1042	1220
175	720	—	—	900	908	1130	1310
165	737	—	—	915	940	1160	1340
150	753	—	876	950	984	1220	1410
140	772	—	935	980	1020	1260	1460
125	809	900	967	1040	1110	1341	1491
115	840	975	1003	1086	1130	1358	1512
100	898	1010	1145	1170	1220	1396	1557
75	—	—	—	—	—	1537	1815

Укладку и разборку пакетных штабелей производят консольно-козловыми и башенными кранами и автопогрузчиками. Наиболее качественную укладку, а следовательно, и наиболее качественную сушку позволяют осуществить консольно-козловые краны. Башенные краны дают наибольшую удельную загрузку площади склада.

Их применение целесообразно при ограниченных площадях. Укладка автопогрузчиком требует наименьших капитальных затрат на атмосферную сушку в целом, но при этом использование площади склада также наименьшее.

Формирование и разборку штабелей кранами производят посредством крановых захватов вилочного ЗВ-3 и портального ЗП-2М типов. Захват ЗВ-3 рекомендуется для консольно-козловых кранов, ЗМ-2М — для башенных. Для защиты пакетных штабелей от осадков рекомендуется применять инвентарные крыши, укладываемые механизированным способом.

Качество атмосферной сушки пиломатериалов. До настоящего времени атмосферная сушка остается одним из наиболее качественных способов сушки пиломатериалов.

Поскольку режим атмосферной сушки определяется в основном климатическими условиями, то естественна большая разница качества сушки в зависимости от климатической зоны. Так, средний переход в низшие сорта экспортных пиломатериалов составляет в 4-й климатической зоне для еловых пиломатериалов 3,16%, для сосновых 3,95%; во 2-й климатической зоне соответственно 2,15 и 2,35%; в 1-й зоне — 0,43 и 0,52%.

Основные причины перехода тонких пиломатериалов (до 24 мм) в низшие сорта — продольное коробление по пласти и торцовые трещины. Сосновые пиломатериалы зимней укладки нередко поражаются синевой. Наиболее часто встречающийся порок при атмосферной сушке тонких широких пиломатериалов — торцовые трещины. Для пиломатериалов средних толщин (25—40 мм) основные причины снижения сортности — крыловатость (при ширине доски до 150 мм) и торцовые трещины (при ширине более 150 мм). При атмосферной сушке толстых пиломатериалов (более 40 мм) наиболее часто встречающиеся пороки — крыловатость (при ширине досок до 150 мм) и пластевые трещины (при ширине более 150 мм).

Наиболее эффективное средство защиты пиломатериалов от пластевых трещин — применение мягких режимов. В условиях атмосферной сушки это достигается применением более плотной укладки штабелей за счет уменьшения шпаций. Опасность поражения пиломатериалов пластевыми трещинами в большей степени относится к 3-й и 4-й климатическим зонам, поэтому ГОСТ 3808.1—75 ограничивает максимальные шпации для штабелей толстых пиломатериалов.

Лучшее средство защиты пиломатериалов от торцового растрескивания — обмазывание торцов твердеющими составами.

В качестве покровной жидкости рекомендуется поливинилацетатная дисперсия. Стоимость обработки 1 м^3 пиломатериалов этой дисперсией при средней длине доски 4 м составляет 25 коп. Опыт показал, что обработка торцов сосновых пиломатериалов дисперсией снижает количество торцовых трещин с 50 до 4% при сечении 50×100 мм, с 31 до 4% — при сечении 40×125 мм.

Покоробленность пиломатериалов при сушке вызывается или особенностями строения древесины (поперечная крыловатость) или внешними механическими нагрузками, вызванными некачественной укладкой (продольная по пласти). Особенно подвержены покоробленности пиломатериалы сечением (44—50) × (100—125) мм. Средний переход по крыловатости составляет для данных пиломатериалов 6—7%. Появление крыловатости продольной покоробленности по пласти может быть сведено к минимуму путем формирования пакетов с меньшими шпациями и применением дополнительных пакетных прокладок.

3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР

Классификация камер. Камерная сушка пилопродукции более совершенна по сравнению с атмосферной. При камерной сушке снижается продолжительность процесса высыхания, она позволяет получать материал любой заданной конечной влажности. В нашей стране применяется большое количество отечественных и импортных лесосушильных установок.

По **принципу действия** они разделяются на камеры **периодического** и **непрерывного** действия. В камерах периодического действия весь материал одновременно загружается и выгружается. В это время процесс сушки прерывается. Режим сушки изменяется во времени, оставаясь в данный момент одинаковым по всему сушильному объему камеры. В камерах непрерывного действия процесс сушки не прерывается. Материал поступает с одного конца камеры, который называется сырым, или загрузочным, и выходит с другого, сухого, или выгрузочного конца. Режим сушки в камерах непрерывного действия изменяется по длине камеры, имеющей обычно вид туннеля.

В зависимости от **характера сушильного агента** камеры делятся на воздушные, газовые и действующие на перегретом паре. В воздушных камерах сушильным агентом служит влажный воздух при температуре ниже 100° С, в газовых камерах — смесь влажного воздуха и топочных газов, в камерах, действующих на перегретом паре (высокотемпературных камерах),— перегретый пар температурой выше 100° С.

Воздушные камеры позволяют получать материал любого заданного качества сушки. Газовые камеры непрерывного действия по внутренним напряжениям и показателям распределения влажности позволяют получать материал того же качества, что и в воздушных камерах непрерывного действия. Однако при использовании в качестве топлива древесины и при недостаточной очистке топочных газов происходит загрязнение поверхности пилопродукции, поэтому применение их для сушки экспортных пиломатериалов не рекомендуется. При использовании газовых камер периодического действия при добавлении каждой новой порции топоч-

ного газа приходится удалять в атмосферу часть агента сушки. Это затрудняет строгое поддерживание заданного режима, приводит к дополнительному расходу тепла. Газовые камеры рекомендуется использовать при сушке пиломатериалов по III категории качества. Камеры, действующие на перегретом паре, рекомендуется использовать для сушки до низкой конечной влажности пилопродукции целевого назначения, поскольку высокая температура вызывает потемнение древесины и снижает прочность на скалывание и раскалывание на 30—35%.

Для того чтобы сделать камеры более гибкими, легко приспосабливающимися для сушки пиломатериалов любого назначения, их конструкции предусматривают возможность сушки как во влажном воздухе, так и в перегретом паре. Такие камеры называются паровоздушными.

По **принципу устройства ограждений** камеры разделяются на стационарные и сборные. Стационарные камеры — это специально построенные здания, частями которых служат ограждения (стены, пол, перекрытия, двери) камер. В сборных камерах блоки ограждений изготовляются фабрично-заводским способом и собираются на месте. Стационарные камеры изготавливают из кирпича, бетона и железобетона, ограждения сборных камер металлические с теплоизоляцией из шлаковаты. Поскольку продолжительность монтажа сборных камер значительно меньше продолжительности строительства стационарных, при проектировании новых сушильных мощностей чаще ориентируются на сборные камеры. Следует, однако, учесть, что удельные капитальные затраты, приходящиеся на 1 м^3 просушиваемых материалов, при изготовлении сборных камер выше, чем стационарных.

Камеры периодического действия. Воздушные и паровоздушные камеры периодического действия по принципу циркуляции воздуха можно разделить на камеры с естественной и принудительной циркуляцией.

Камеры с **естественной циркуляцией** отличаются простотой обслуживания, отсутствием затрат электроэнергии. Однако скорость циркуляции воздуха по штабелю очень мала — 0,1—0,3 м/с, что приводит к сильному увлажнению воздуха при прохождении через штабель и неравномерности просыхания пиломатериалов по высоте штабеля. В настоящее время в промышленности можно встретить лишь старые камеры системы Грум-Гржимайло. Камеры с естественной циркуляцией вновь не строятся.

Камеры с **принудительной циркуляцией** подразделяются на эжекционные камеры и с прямым побуждением циркуляции, осуществляемой вентиляторами.

На рис. 7 дана схема эжекционной камеры с принудительно-реверсивной циркуляцией, создаваемой эжекторами, расположенными над штабелем. Часть воздуха (15—30%) из сушильного пространства выносным вентилятором нагнетается в распределительный канал *1*, из канала через насадки *2* выбрасывается эжектирующий воздух в эжекционный воздуховод *3*, образуемый

изогнутым экраном *4* и потолком камеры. Эжектирующий воздух подсасывает циркулирующий воздух, вышедший из штабеля. Полученная в воздуховоде смесь через калорифер *6* попадает в штабель *7*, уложенный без шпаций. Поочередный пуск воздуха в каналы позволяет реверсировать циркуляцию, что заметно улучшает равномерность сушки. Через увлажнительные трубы *5* производится впуск пара для увеличения влажности сушильного агента.

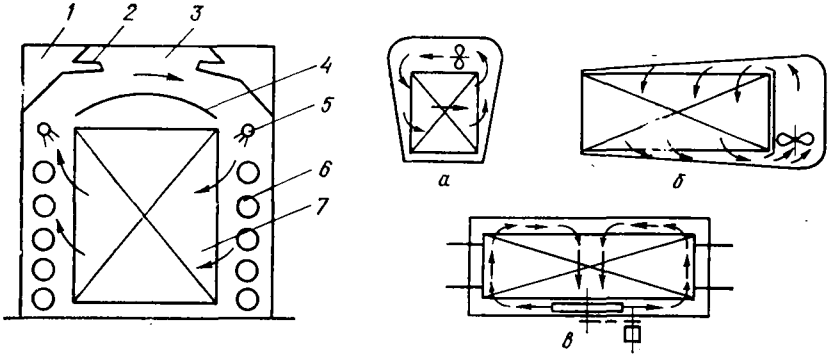


Рис. 7. Эжекционная сушильная камера

Рис. 8. Аэродинамические схемы основных типов лесосушильных камер периодического действия с прямым побуждением циркуляции:

а — с поперечно-вертикальной циркуляцией с верхним расположением вентиляторов; *б* — с поперечно-горизонтальной циркуляцией с торцовым расположением вентиляторов; *в* — с поперечно-горизонтальной циркуляцией с боковым расположением вентиляторов

Основное преимущество эжекционных камер — возможность в 3—4 раза сократить количество воздуха, проходящего через вентилятор, по сравнению с камерами, где циркуляция осуществляется непосредственно вентиляторами. Однако, несмотря на перемещение сравнительно небольших объемов воздуха, применение вентиляторов и воздуховодов значительно уменьшенных сечений увеличивает удельный расход электроэнергии. Этот недостаток особенно заметен при повышении скорости циркуляции через штабель до 1,5—2 м/с.

Эжекционные камеры изготавливаются только в стационарном исполнении. Перегретый пар в качестве сушильного агента в них не используется.

Камеры с прямым побуждением циркуляции, осуществляемой непосредственно вентиляторами, в зависимости от направления движения сушильного агента можно разделить на три группы: с поперечно-вертикальной циркуляцией с верхним расположением вентиляторов и наклонными боковыми стенками (рис. 8, *а*); с поперечно-горизонтальной циркуляцией с торцовым (по отношению к штабелю) расположением вентиляторов (рис. 8, *б*); с поперечно-горизонтальной циркуляцией с боковым расположением вентиляторов (рис. 8, *в*).

9. Техническая характеристика камер периодического действия

Показатель	Эжекционно-реверсивная	СПЛК-2	СПВ-62	СПВ-62м	СПМ-1К	СПМ-2К	Гипродрев — ЛТА	Урал-72	УЛ-2
Габаритные размеры штабеля, мм:									
длина	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6600
ширина	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
высота	2600	2600	2600	3000	3000	3000	2600	2600	2600
Число штабелей, загружаемых в камеру (сушилку)	2	2	1	1	2	4	4	1	2
Вместимость камеры в условном пиломатериале, м³	28,8	28,8	14,4	16,7	33,3	66,5	57,6	14,7	28,8
Годовая производительность, м³, при режиме:									
высокотемпературном	—	—	2400	2800	5600	11100	—	—	4800
форсированном	2860	2860	—	1650	3300	6600	6000	2000	2960
нормальном	2200	2200	—	1250	2500	5000	4400	1500	2200
мягком	—	—	—	—	1400	2800	—	—	—
Побудитель циркуляции агента сушки	Центробежный вентилятор Ц4-70 № 12	Осевой реверсивный № 12,5	Осевой реверсивный № 10	Вентилятор серии У-12 № 12,5	Вентилятор серии У-12 № 12,5	Вентилятор серии У-12 № 12,5	Вентилятор серии У-12 № 10	Центробежный вентилятор специальной конструкции № 10	Осевой реверсивный вентилятор серии У-12 № 12,5
Число вентиляторов	1	2	4	3	2	4	6	1	6
Характеристика вентилятора:									
производительность, тыс. м³/ч	46	23—45	25	26—38	26—48	26—48	35	45	—
давление, Па	До 1000	До 400	До 280	До 380	До 400	До 400	300	—	—
частота вращения, мин⁻¹	818	970; 640; 480	1100	830/560	970; 640; 480	970; 640; 480	1450	1450; 960	960
Характеристика электродвигателя для привода вентилятора:									

тип	Трехскоростной			Двухскоростной	Трехскоростной		Четырехскоростной		
	А02-71-4	А02-71-8/ /6/4	А02-41-4	А02-52-6/4	А02-71/8/ /6/4	А02-71/8 /6/4	А02-51-4	А0102-12-12/8/6/4	4А112МИ
мощность, кВт	22	10,5; 8,3	4	6,3; 4,2	10,5; 8,3	10,5; 8,3	7,5	55/75	5,5
частота вращения, мин$^{-1}$	1460	1460; 965 730	1460	1450; 960	1460; 965; 730	1460; 965 730	1450	1450; 960	1500
число, шт.	1	2	4	3	2	4	6	1	6
Установленная мощность электродвигателей, кВт	22	21; 16,6; 14,2	16	18,9; 12,6	21; 16,6	42; 33,2	45	55/75	33
Скорость циркуляции агента сушки через штабель, м/с	1—2	1,5—3	2,5	1,5—3	1,5—3 (регулируемая)	1,5—3	1,7—2,9 (в зависимости от толщины материала)	2,4—3,3 (регулируемая)	4,5
Средний часовой расход электроэнергии, кВт, при режиме:									
высокотемпературном	—	—	12,3	11,7	10,2	20,4	—	—	—
форсированном	15,2	14,7	—	14,8	14,4	28,8	36,4	39	28
нормальном	18,5	16,6	—	16,6	16,2	32,4	40,0	—	33
мягком	—	—	—	—	18,0	36,0	—	—	—
Характеристика теплового оборудования:									
тип	Чугунные ребристые трубы $l=2$ м		Пластинчатые калориферы КФС-5	Специальные биметаллические калориферы	Специальные стальные трубчатые калориферы		Пластинчатые КФБ-11П и ребристые трубы	—	КВБ-11
число, шт.	120	73	16	4	8	16	12+68	—	—
поверхность нагрева, м^2	480	292	327	200	425	850	1147+272	—	550—650
Давление пара при вводе в камеру, МПа	0,4—0,5	0,3—0,5	0,5—0,6	0,4—0,5	0,3—0,6	0,3—0,6	0,3—0,5	—	—
Максимальный расход пара, кг/ч, при режиме:									
высокотемпературном	—	—	500	400	600	1200	—	—	1000

Продолжение

Показатель	Эжекционно-реверсивная	СПЛК-2	СПВ-62	СПВ-62м	СПМ-1К	СПМ-2К	Гипродрев — ЛТА	Урал-72	УЛ-2
форсированном	450	420	—	200	450	900	540	—	—
нормальном	400	350	—	180	400	800	443	—	—
мягком	—	—	—	—	300	600	—	—	—
Средний расход пара, кг/ч, при режиме:									
высокотемпературном	—	—	360	355	475	950	—	—	—
форсированном	400	360	—	180	350	700	450	14*	—
нормальном	340	300	—	160	300	600	369	—	210
мягком	—	—	—	—	225	450	—	—	—
Габаритные размеры, мм:									
длина	17450	9820	7250	7100	9000	12000	14440	12800	13830
ширина	4200	6500	3365	3200	5980	16580	6200	3200	3000
высота	4800	4460	5300	5500	5100	5100	5210	4350	4400
Масса, кг	—	—	13720	8700	23400	48000	—	17000	20050
Капитальные затраты, тыс. р.	12,82	19,25	30,0	26,6	34,2	96,6	43,13	—	—
В том числе:									
оборудование	6,57	12,42	29,4	26,0	32,0	70,0	13,80	20,0	—
строительно-монтажные работы	6,25	6,83	0,6	0,6	2,2	26,6	29,33	—	—

* Для камер с увлажнительным устройством.

Камеры с верхним и торцовым расположением вентиляторов находят большее распространение, поскольку позволяют получить более равномерный поток сушильного агента по штабелю в сравнении с камерами с боковым расположением вентиляторов. Камеры с верхним расположением вентиляторов при равной производительности занимают меньше площади, но требуют большей высоты, чем камеры с торцовым расположением вентиляторов.

Камеры периодического действия — наиболее многочисленная группа камер. В табл. 9 приведена техническая характеристика отечественных камер периодического действия, рекомендуемых к использованию в настоящее время. С принципом действия и устройством этих камер можно ознакомиться по литературе [1, 3, 4]. Ниже описаны лишь некоторые образцы сборно-металлических камер, выпускаемых серийно.

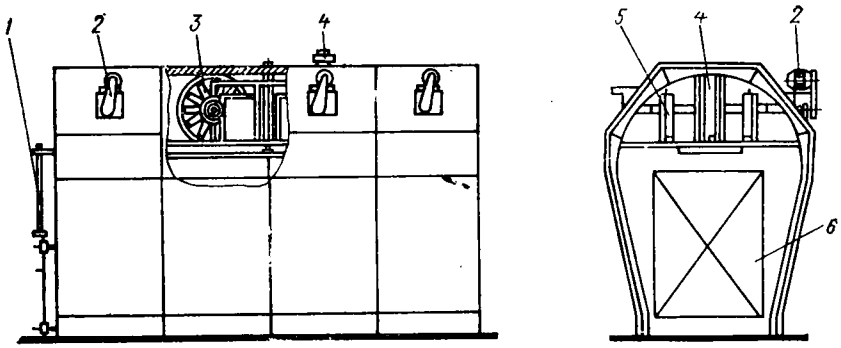


Рис. 9. Сборно-металлическая камера СПВ-62:
1 — дверь; *2* — электродвигатель; *3* — выхлопная труба; *4* — приточно-вытяжные трубы; *5* — калорифер; *6* — штабель

Высокотемпературная камера СПВ-62 (рис. 9) серийно выпускается Петрозаводским заводом «Тяжбуммаш». 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. м^3 усл. пиломатериалов в год.

Это одноштабельная камера с поперечно-вертикальной циркуляцией с верхним расположением вентиляторов. Она состоит из четырех секций. Секция представляет собой сварной стальной каркас длиной 1,75 м, обшитый изнутри алюминиевыми листами. Между обшивками находится теплоизоляционный слой из стекловолокнистых матов толщиной 100 мм. Секции между собой соединяются болтами.

В камере установлено четыре осевых реверсивных вентилятора серии У-12 № 10 производительностью 2500 м^3/ч при 1150 об/мин. Приводит вентилятор электродвигатель мощностью 4 кВт. Тепловое оборудование камеры — 16 пластинчатых калори-

феров из нержавеющей стали с общей поверхностью нагрева 327 м².

Влага, получаемая в период прогрева пиломатериалов, и избыточное давление пара удаляются из камер через гидравлический затвор, соединенный с камерой специальной трубой (в полу). 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. Камера характеризуется высокой равномерностью циркуляции агента сушки по всему объему штабеля и имеет скорость 3 м/с. Она укомплектована системой автоматического регулирования сушки.

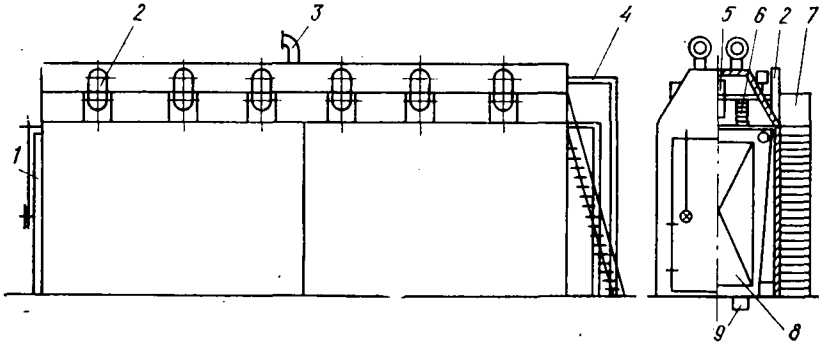


Рис. 10. Камера УЛ-2:

1 — дверь; *2* — электродвигатель; *3* — приточно-вытяжная система; *4* — паровая магистраль; *5* — вентилятор; *6* — калорифер; *7* — лестница; *8* — штабель; *9* — сбор конденсата

Универсальная лесосушильная камера УЛ-2 разработана на основе камеры СПВ-62. Камера двухштабельная (рис. 10), система воздухообменных устройств и тепловая мощность калориферов позволяют применять мягкие, нормальные, форсированные и высокотемпературные режимы. Температура и влажность воздуха в камере регулируются в автоматическом и дистанционном режимах, через каждые 30 мин в камере автоматически осуществляется реверс вентиляторов, что способствует равномерности просыхания пиломатериалов.

Сушилка паровая металлическая двухкамерная СПМ-2К представляет собой здание, рассчитанное на размещение на открытой площадке, и состоит из двух камер периодического действия, отапливаемых коридора управления и лаборатории (рис. 11). Камеры, входящие в состав сушилки, универсальные паровые с поперечно-горизонтальной циркуляцией с торцовым расположением вентиляторов. Циркуляция агента сушки осуществляется двумя осевыми реверсивными вентиляторами от двухскорост-

ных электродвигателей. Равномерное распределение потока достигается направляющими лопатками.

Тепловое оборудование камеры состоит из увлажнительной трубы и биметаллического восьмисекционного калорифера. Четыре секции стоят вертикально в вентиляторном помещении, а остальные четыре образуют вертикальную стенку между штабелями. Камеры запроектированы паровоздушными. При работе на влажном воздухе их воздухообмен с атмосферой обеспечивают приточно-

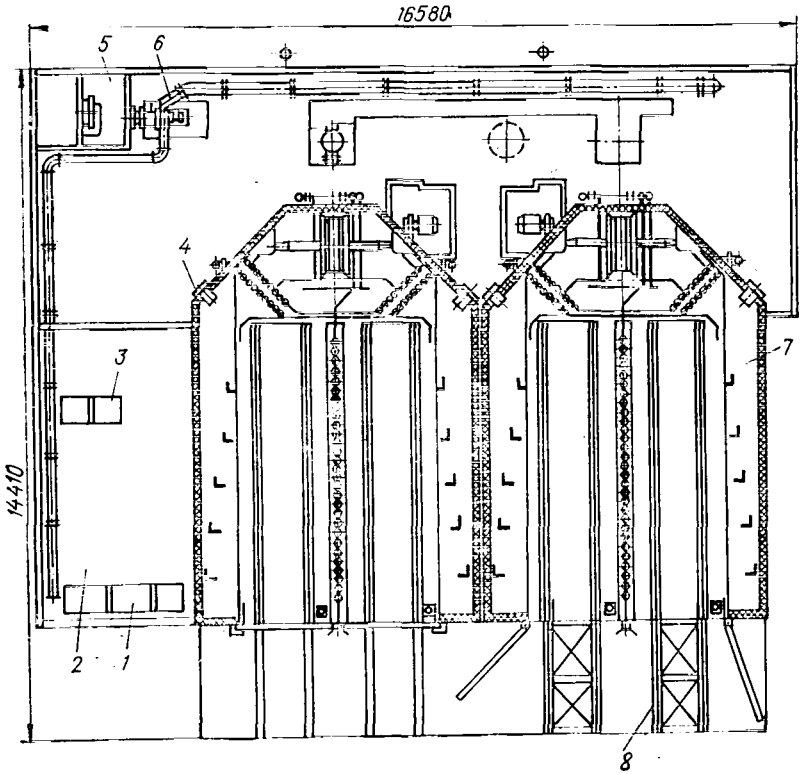


Рис. 11. Сушилка СПМ-2К:

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

вытяжные трубы. При работе на перегретом паре эти трубы перекрываются герметичными задвижками, а излишек циркулирующего пара удаляется из камеры выхлопной трубой через гидравлический затвор.

Качество сушки в камерах соответствует I и II категориям, камера обеспечивает высококачественную сушку на всех режимах с наименьшими эксплуатационными затратами.

Камера «Урал-72» — универсальная, реверсивная, аэродинамическая бескалориферная лесосушильная камера. Генератором тепла в ней служит ротор центробежного вентилятора, который создает мощный воздушный поток. Циркуляция по замкнутому кругу внутри камеры, воздушный поток преодолевает различные сопротивления, его кинетическая энергия превращается в тепловую, и в результате этого он нагревается. Таким образом, ротор вентилятора выполняет две задачи — создает тепло и перемещает сушильный агент.

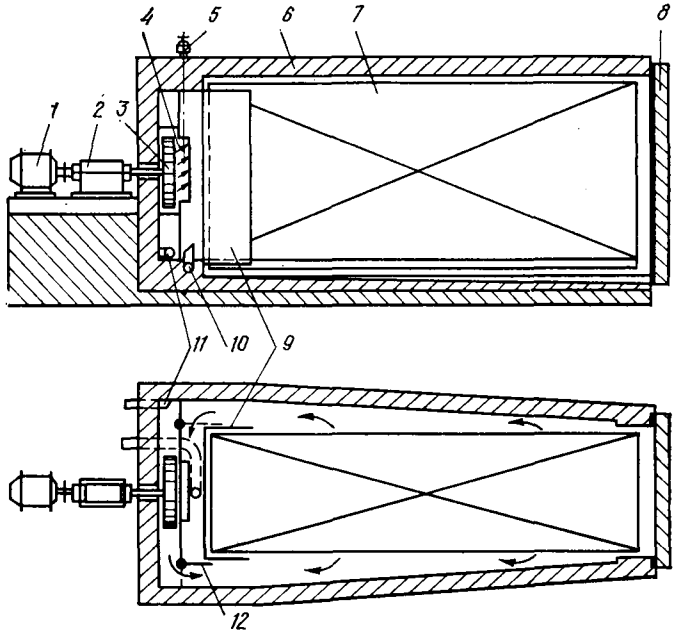


Рис. 12. Камера «Урал-72»:

1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — вентилятор; *4* — жалюзийная заслонка; *5* — исполнительный механизм; *6* — ограждения; *7* — штабель; *8* — дверь; *9* — приторцовый экран; *10* — приточная вентиляция; *11* — вытяжная вентиляция; *12* — шибер

Камера (рис. 12) имеет поперечно-горизонтальную реверсивную циркуляцию. Температура в камере регулируется изменением частоты вращения вентилятора и живого сечения всасывающего канала ротора вентилятора с помощью жалюзийной решетки. Изменение направления циркуляции осуществляется двумя подвижными реверсирующими экранами, поворот которых позволяет направлять поток из вентилятора в правый и левый околоштабельные циркуляционные каналы. Камера цельнометаллическая, сварной конструкции, выполнена из листовой стали, внутренняя обшивка из нержавеющей стали. Теплоизоляция — слой шлаковаты толщиной 250 мм. Камера предназначена для сушки по II и III категориям качества пиломатериалов, идущих на изготовление столярно-

строительных изделий, и рекомендуется для предприятий, не имеющих технологического пара.

Камеры непрерывного действия. По характеру движения сушильного агента относительно материала и расположению штабелей камеры непрерывного действия можно подразделить на про-

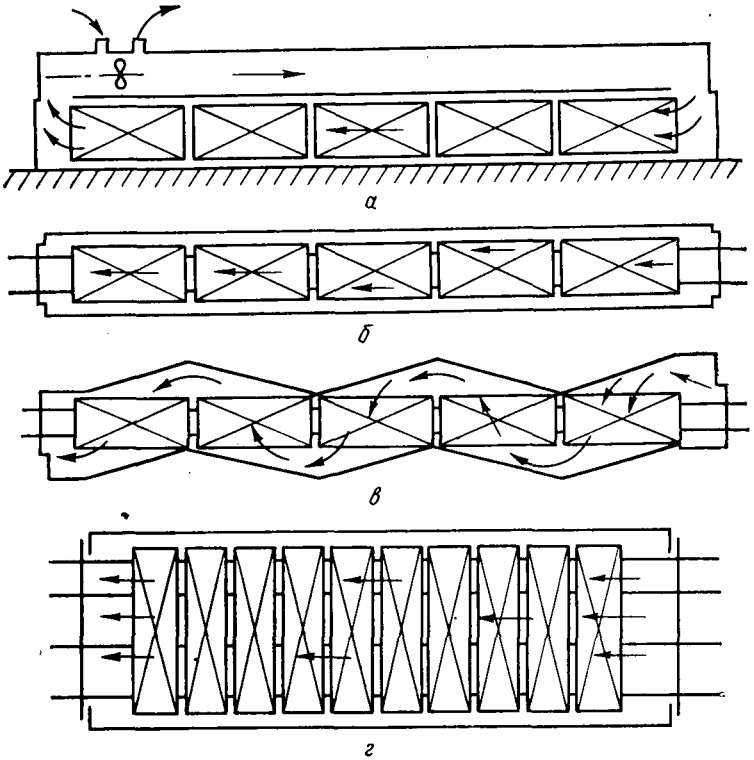


Рис. 13. Схемы противоточных камер непрерывного действия:
а — продольный разрез; *б, в, г* — вид сверху

тивоточные (рис. 13) и камеры с позонной циркуляцией воздуха (рис. 14).

Противоточные камеры в свою очередь разделяются на три группы: камеры с продольной загрузкой штабелей и прямолинейной циркуляцией (рис. 13, *б*), в которых циркуляция возможна только благодаря укладке пиломатериалов со шпациями камеры с продольной загрузкой и зигзагообразной циркуляцией (рис. 13, *в*), в которых поток воздуха направляется в штабеля зигзагообразными стенами или системой экранов, примыкающих к прямым стенам; материал в эти камеры укладывается без шпаций; камеры с поперечной загрузкой и прямолинейной циркуляцией (рис. 13, *г*); штабель в этом случае занимает всю площадь поперечного сечения камеры, а материал укладывается без шпаций, поскольку воздух может двигаться вдоль прокладок.

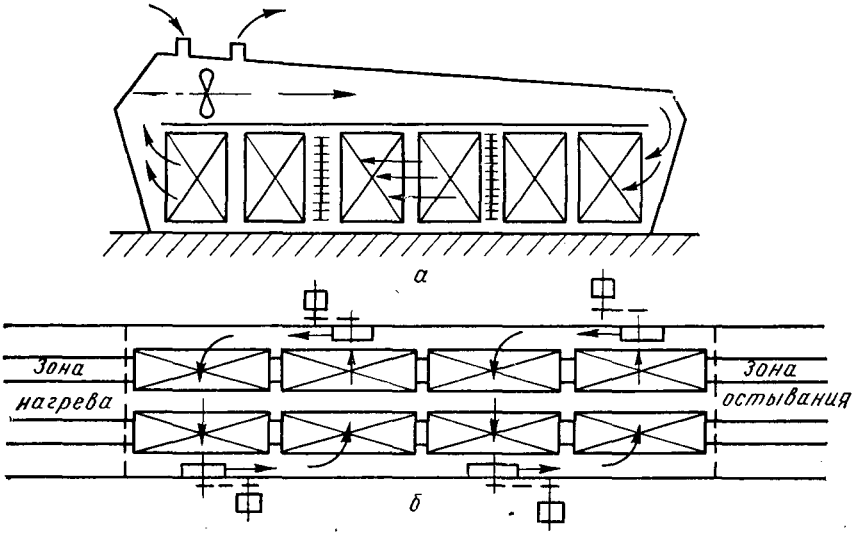


Рис. 14. Схемы камер непрерывного действия с позонной циркуляцией:
а — поперечно-вертикальной; *б* — поперечно-горизонтальной

10. Техническая характеристика

Показатель	ЦНИИМОД-32	Газовая на древесном топливе	ЦНИИМОД-49
Внутренние размеры (длина × ширина × высота), м	—	36,7×2,6×5,6	24×6,85×5,08
Вместимость 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, шт.	7	5	11
Вместимость камеры в условных пиломатериалах, м³	100	72	158,5
Габаритный объем всех штабелей, м³	182,4	152	334,4
Калориферы:			
тип	Пластинчатый КФБ-8	—	Пластинча
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	—	—	40000
Годовая производительность камеры в условных пиломатериалах, м³	8800	5200	14200

* Из них по два штабеля в аванкамерах.

Камеры с позонной циркуляцией воздуха можно разделить на две группы: камеры с поперечно-вертикальной циркуляцией с верхним расположением вентиляторов (рис. 14, *а*); камеры с поперечно-горизонтальной циркуляцией с боковым расположением вентиляторов (рис. 14, *б*).

В последние годы в СССР камеры с поперечной загрузкой устанавливаются только сборные; это импортные финские камеры фирмы «Валмет» и отечественные СП-5КМ.

Камера СП-5КМ (рис. 15) — непрерывного действия с противоточной циркуляцией и поперечной загрузкой штабелей, предназначена для сушки мягкими режимами до транспортной влажности хвойных пиломатериалов. Камеры выпускаются блоками по пять камер в блоке. Здание сушильного блока монтируется из металлических панелей. Наружные стеновые и потолочные панели утепляются минераловатными матами.

В сушильной зоне камеры расположено 10 штабелей. Особенность камеры — наличие аванкамер для предварительного прогрева штабелей пиломатериалов со стороны загрузки, а также для кондиционирования и частичного остывания высушиваемых пиломатериалов со стороны выгрузки. Сушильный штабель формируется из двух пакетов, уложенных друг на друга. Он перемещается вдоль камер по роликовому конвейеру из пяти рядов роликовых

камер непрерывного действия

ЦНИИМОД-56	СП-5КМ	ЛатНИИЛХП	Фирмы «Валмет»	«Валмет» с повышенной высотой штабелей	СМ-4К
26,6×6,85×5,0	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
199,6	232,8	173	155,2	—	142
421,2	529,2	365	352,8	836,4	816
тый КФБ-8	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	—
40000	60000	75000	65000	66000	—
10800	7500	—	8300	15000	15750

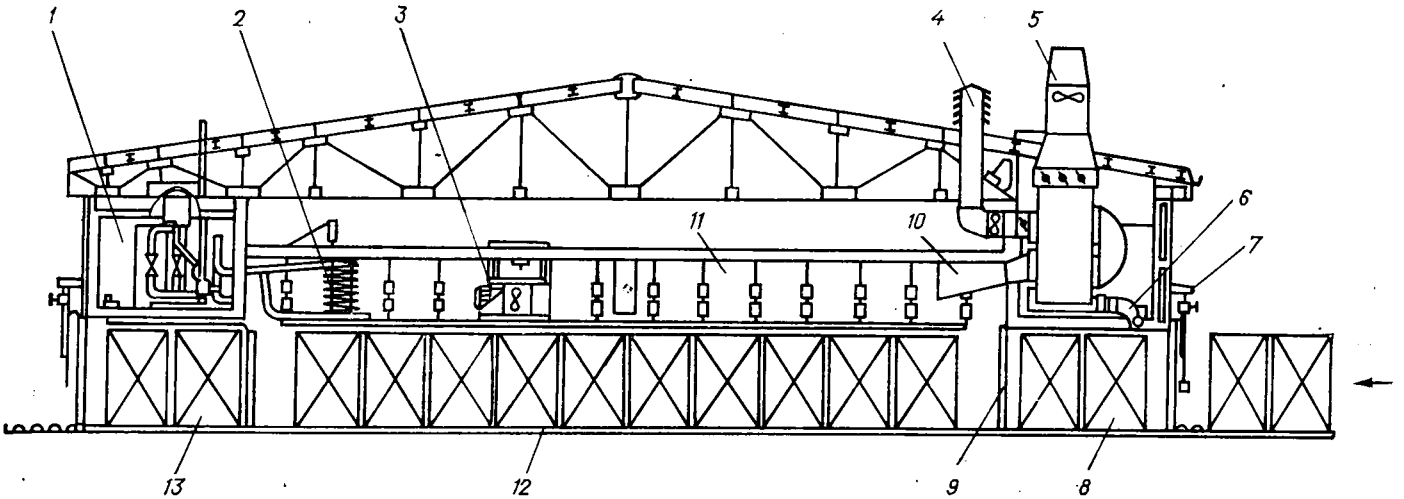


Рис. 15. Камера СП-5КМ:

1 — коридор управления; *2* — калорифер; *3* — вентилятор; *4* — забор свежего воздуха; *5* — рекуператор; *6* — забор воздуха из аванкамеры; *7* — дверь с механической тележкой; *8* — загрузочная аванкамера; *9* — штора; *10* — поступления свежего воздуха в камеру; *11* — рециркуляционный канал; *12* — ролики; *13* — выгрузочная камера

шин, установленных с наклоном по ходу движения, цепно-штанговым механизмом, позволяющим сохранять промежутки между штабелями в местах установки штор, отделяющих аванкамеры.

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. 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 тепловентиляционного 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 теплорекуператорную установку сначала проходит два штабеля, установленных в зоне нагрева пиломатериала. Такое техническое решение не совсем удачно, т. к., 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 теплорекуператорной установке отдает свежему воздуху значительно меньшее количество тепла (вследствие уменьшения перепада температур), в результате чего эффективность использования нагревательных поверхностей снижается. В настоящее время проводятся работы по улучшению конструкции камеры СП-5КМ.

Камеры с позонной поперечной циркуляцией конструкции ЛатНИИЛХП могут быть рекомендованы для сушки пиломатериалов при форсированных режимах по невысоким категориям качества. В них отмечается большая неравномерность сушки.

4. ФОРМИРОВАНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА СУШИЛЬНЫХ ШТАБЕЛЕЙ

Правила формирования пакетов и штабелей. При камерной сушке используются штабеля двух типов: **пакетный**, формируемый при помощи подъемно-транспортных средств из двух или четырех пакетов, предварительно уложенных на пакетоформирующей машине или вручную; **беспакетный**, формируемый на пакетоформирующей машине или вручную.

Форма поперечного сечения пакетов и штабелей должна быть прямоугольной, торцы досок выровнены по вертикали. Длина пакета или штабеля определяется максимальной длиной укладываемых пиломатериалов, ширина и высота — типом сушильных камер

и параметрами механизмов, применяемых при укладке. Рекомендуемые размеры пакетов и штабелей, м: ширина 1,8—2,4; высота 2,6—5; длина 6,5—6,8.

Доски в пакетах или штабеле укладываются горизонтальными рядами со шпациями или без них. Разреженная укладка со шпациями применяется лишь в камерах устаревших конструкций (с естественной циркуляцией или в противоточных с продольной загрузкой штабелей).

При укладке пиломатериалов необходимо соблюдать следующие правила: подштабельное основание должно быть жестким, прочным, его опорная поверхность должна быть горизонтальна; в один горизонтальный ряд необходимо укладывать доски одной толщины, допустимые отклонения размеров при толщине до 35 мм±1 мм, при толщине свыше 35 мм±2 мм; влажность прокладок, которые по назначению подразделяются на межрядовые — для разделения рядов пиломатериалов и межпакетные — для разделения пакетов при формировании штабеля, не должна превышать 18%.

В прокладках 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; наклон волокон, не превышающий 10%; трещины шириной не более 0,5 мм и глубиной не более 5 мм.

Сечение межрядовых прокладок 25×40, межпакетных 90×75 мм. Длина устанавливается в зависимости от ширины штабеля. Отклонения от установленных размеров допускаются следующие: для межрядовых прокладок — по толщине ±1 мм, по ширине и длине ±5 мм; для межпакетных прокладок по толщине, ширине и длине ±5 мм.

Количество прокладок в ряду устанавливается в зависимости от породы древесины, толщины и длины пиломатериала (табл. 11).

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

Толщина пиломатериалов, мм	Хвойные породы				Лиственные породы			
	Длина 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

Прокладки по высоте укладываются друг на друга, крайние прокладки укладываются заподлицо с торцами пиломатериалов, концы прокладок не должны выступать за боковые поверхности штабеля более чем на 5—10 мм. Необрезные доски укладываются комлями в разные стороны. Узкие доски укладываются в середи-

ну, широкие — по краям штабеля, короткие — в середине. Стыкуемые доски укладываются не менее чем на двух прокладках.

Механизация трудоемких операций в лесосушильных цехах. Затраты на формирование, транспортировку и разборку сушильных штабелей составляют 30—40% себестоимости камерной сушки пиломатериалов. Работы эти тяжелы и трудоемки, кроме того, они во многом определяют качество сушки, поэтому вопросам механизации работ в лесосушильных цехах, повышению качества укладки уделяется большое внимание.

Формирование штабелей при годовом объеме сушки свыше 40 тыс. м³/год рационально производить на пакетоформирующих машинах. В нашей стране работает несколько образцов таких машин — ПФМ-10, ПФМ-10-2 и др. (табл. 12). Машина ПФМ-10-2 формирует пакеты для камерной и атмосферной сушки, т. е. пакеты без шпаций и со шпациями.

12. Техническая характеристика погрузочно-транспортных средств в лесосушильных цехах

Оборудование	Габаритные размеры (длина × ширина × высота), м	Производительность	Скорость главного движения, м/мин	Мощность, кВт	Масса, т
Линия формирования пакетов досок для сушки ПФМ-10	6,9×1,9×1,5*	32—16 досок/мин	—	45,7	33
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 ***	0,35	10	3,7
Подштабельная тележка для камер с продольной загрузкой	6,9×1,8×0,38	—	—	—	1,5
Подштабельная тележка для камер с поперечной загрузкой	6,8×1,9×0,35	—	—	—	1,5
Трек	1,8×0,22×0,16	—	—	—	0,034
Электрифицированная траверсная тележка ЭТ2-6,5М	6,5×3,9×1,65	15 т ***	21,6/7,8	7,2	2,9
Электрифицированная траверсная тележка ЭТ-4,5	4,5×4,38×1,8	8 т ***	19,8/24	6,2	3,3
Электрифицированная траверсная тележка ЭТП6,8-1,8	9,9×2,7×1,2	—	—	—	—

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

Применение ПФМ-10-2 при формировании сушильных пакетов повышает производительность труда в 1,5—2,5 раза и снижает себестоимость работ на 10—20 коп/м³ пиломатериалов по сравнению

с ручным способом. Сборка штабелей, сформированных из пакетов, осуществляется также механизированно кранами и автопогрузчиками. Для укладки беспакетных штабелей высотой до 5 м готовится к выпуску пакетоформирующая линия (ПФЛ).

Общие недостатки пакетоформирующих машин — большие габариты и высокая стоимость, поэтому на мелких и средних предприятиях используют простейшие средства механизации. Наиболее распространен погрузочный лифт (вертикальный подъемник), позволяющий верх укладываемого штабеля поддерживать на одном уровне, удобном для укладки. На укладке штабеля работают два человека. По мере выкладки штабеля платформа лифта вместе со штабелем опускается вниз. Лифт можно применять не только для формирования, но и для разборки штабелей. В этом случае по мере уменьшения высоты пакета платформа поднимается. Перемещение штабелей производится на подштабельных тележках, треках или по роликовым шинам.

В сушильных камерах используют в основном рельсовый транспорт. Для укладки штабелей в лесосушильных цехах применяют разборные вагонетки из треков. Масса одного трека около 80 кг, высота трека вместе с поперечным брусом обычно 275 мм. В зависимости от длины досок штабель помещают на три или две пары треков с таким расчетом, чтобы средняя нагрузка на колесо не превышала 1,5 т.

Основное преимущество треков в том, что, сняв поперечины, их легко убрать с рельсов без обгонного пути и дать возможность проехать груженому штабелю. Кроме того, применение треков удобно при загрузке штабелей разной длины. Однако большой недостаток их — отсутствие хорошей опорной базы, что приводит к короблению нижних рядов досок.

Там, где производится загрузка штабелей одной длины и есть место для обгонных путей, лучше использовать подштабельные тележки со сварными рамами в размер штабеля. Главное преимущество тележек — хорошее подштабельное основание, позволяющее до минимума снизить коробление нижних рядов досок высушиваемого штабеля.

Для перемещения штабелей с одного пути на другой служат траверсные тележки. Штабель пиломатериалов закатывают на траверсную тележку, на которой проложен путь такой же ширины, как в камерах и на погрузочно-разгрузочных площадках. Траверсная тележка с находящимся на ней штабелем передвигается вдоль камер. Она может быть остановлена против нужного рельсового пути камеры или площадки.

В камерах непрерывного действия с поперечной загрузкой сравнительно недавно вместо рельсовых путей стали применять роликовые шины, уложенные вдоль камеры с уклоном 1 : 150. Штабеля перемещаются под действием гравитационных сил, а останавливаются тормозным устройством, вмонтированным в конструкцию роликовых шин. Основанием штабеля в этом случае служат отрезки швеллеров, уложенные полками вниз.

Преимущества роликовых шин: быстрая перезагрузка камер, не требуется возврата транспортных средств на загрузочный конец, наиболее полно используется высота сушильного пространства. Однако роликовые шины требуют тщательного ухода и защиты от коррозии. Необходимо очень строго выдерживать величину уклона. Несоблюдение этих условий приводит к тому, что под действием только гравитационных нагрузок штабеля не продвигаются и их приходится подталкивать автопогрузчиком, что ведет к деформации пакетов и увеличению брака по продольному короблению. При сушке на роликовых шинах тонких досок три — четыре нижних ряда, как правило, бывают сильно покоробленными. Для устранения этого недостатка нижний ряд штабеля необходимо набирать из досок толщиной не менее 50 мм.

В новых камерах с повышенной высотой штабеля фирмы «Валмет» осуществлен обратный переход с роликовых шин на подштабельные тележки. Перемещаются они также под действием гравитационных сил, для чего рельсы установлены с уклоном 1 : 230. Останавливаются тележки специальными упорами, действующими с помощью гидравлических цилиндров.

5. РЕЖИМЫ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Режим сушки — это определенное сочетание температуры и влажности сушильного агента, которое поддерживается в сушильной камере в период сушки. Температура и влажность сушильного агента во время сушки не остаются постоянными, а изменяются в зависимости от изменения (уменьшения) влажности древесины.

Режимы могут быть жесткие и мягкие. Если у двух режимов одинаковая влажность, более жестким будет тот режим, который имеет более высокую температуру. При одинаковой температуре более жестким будет режим с меньшей влажностью. Таким образом, можно сказать, что жесткость режима увеличивается с повышением температуры и снижением влажности сушильного агента.

Правильно назначенным режимом сушки считается такой, который обеспечивает минимальный срок сушки, сохранение целостности древесины и соответствие других показателей качества, необходимых для использования древесины по назначению. Руководящими материалами по камерной сушке пиломатериалов и стандартами (ГОСТ 19773—74, ГОСТ 18867—73) режимы сушки в зависимости от температурного уровня разделены на мягкие, нормальные, форсированные и высокотемпературные.

Первые три группы режимов (мягкие, нормальные и форсированные) относятся к низкотемпературному процессу (табл. 13). При низкотемпературном процессе в качестве сушильного агента применяют влажный воздух или газовоздушную смесь температурой до 100° С. Температура более 100° С у режимов низкотемпературного процесса допускается лишь в отдельных случаях на последней стадии процесса, когда влажность древесины уже меньше

13. Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов

Индекс режима	Влажность древесины, %	Номер режима и параметры (t, °С, Δt, φ) воздуха														
		1			2			3			4			5		
		t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ
	>30	90	4	0,85	82	3	0,88	75	3	0,87	69	3	0,87	63	2	0,91
А	30—20	95	7	0,76	87	6	0,78	80	6	0,77	73	6	0,76	67	5	0,78
	<20	120	32	0,32	108	27	0,35	100	26	0,35	91	24	0,36	83	22	0,36
	>30	90	5	0,81	82	4	0,84	75	4	0,84	69	4	0,83	63	3	0,86
Б	30—20	95	9	0,70	87	8	0,72	80	8	0,70	73	7	0,72	67	6	0,75
	<20	120	34	0,29	108	29	0,32	100	28	0,32	91	25	0,34	83	23	0,34
	>30	90	7	0,75	82	6	0,77	75	5	0,80	69	5	0,79	63	4	0,82
В	30—20	95	11	0,65	87	10	0,66	80	9	0,66	73	8	0,69	67	7	0,71
	<20	120	36	0,26	108	31	0,30	100	29	0,30	91	26	0,33	83	24	0,32
	>30	90	9	0,69	82	8	0,71	75	7	0,73	69	6	0,76	63	5	0,78
Г	30—20	95	13	0,60	87	12	0,60	80	11	0,61	73	10	0,63	67	9	0,64
	<20	120	37	0,25	108	33	0,27	100	31	0,27	91	28	0,30	83	25	0,30
	>30	90	11	0,63	82	10	0,65	75	9	0,66	69	8	0,68	63	7	0,70
Д	30—20	95	15	0,54	87	14	0,55	80	13	0,55	73	12	0,56	67	11	0,58
	<20	120	38	0,24	108	35	0,24	100	33	0,25	91	30	0,26	83	27	0,28

Индекс режима	Влажность древесины, %	Номер режима и параметры (t, °С, Δt, φ) воздуха														
		6			7			8			9			10		
		t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ	t	Δt	φ
	>30	57	2	0,90	52	2	0,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—
А	30—20	61	5	0,78	55	4	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<20	77	21	0,36	70	20	0,35	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	>30	57	3	0,85	52	3	0,84	47	2	0,90	42	2	0,89	38	2	0,88
Б	30—20	61	6	0,74	55	5	0,76	50	5	0,75	45	4	0,79	41	4	0,77
	<20	77	22	0,34	70	21	0,33	62	18	0,36	57	17	0,36	52	16	0,36
	>30	57	4	0,81	52	4	0,80	47	3	0,84	42	3	0,83	38	3	0,82
В	30—20	61	7	0,70	55	7	0,68	50	6	0,70	45	5	0,74	41	5	0,72
	<20	77	23	0,32	70	22	0,31	62	19	0,33	57	18	0,34	52	17	0,33
	>30	57	5	0,76	52	5	0,75	47	4	0,79	42	4	0,77	38	4	0,76
Г	30—20	61	9	0,62	55	8	0,64	50	7	0,66	45	6	0,69	41	6	0,67
	<20	77	25	0,29	70	23	0,29	62	20	0,31	57	19	0,31	52	18	0,30
	>30	57	6	0,72	52	6	0,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Д	30—20	61	10	0,59	55	9	0,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<20	77	26	0,27	70	24	0,27	—	—	—	—	—	—	—	—	—

20%. Высокотемпературный процесс представляют высокотемпературные режимы, предусматривающие сушку в перегретом паре при атмосферном давлении. Температура сухого термометра на протяжении всего процесса выдерживается выше 100° С, а смоченного — около 100° С.

Как у низкотемпературного, так и у высокотемпературного процесса уровень температуры определен в зависимости от породы

и толщины пиломатериалов. Но для того чтобы правильно определить режим сушки, необходимо знать еще назначение высушиваемого материала, а также характер воздействия режима на свойства древесины. Так, если нужно полностью сохранить прочность и цвет древесины, следует применять мягкие режимы. Если необходимо сохранить прочность и не имеет значения некоторое изменение цвета, можно применять нормальные режимы. При сушке форсированными режимами снижается прочность древесины на скалывание и раскалывание в пределах 15—20% и отмечается уже значительное потемнение, а высокотемпературные режимы снижают прочность на скалывание и раскалывание на 25—30%, древесина меняет цвет (темнеет), поэтому применять форсированные и высокотемпературные режимы сушки целесообразно и выгодно лишь в тех случаях, когда указанное снижение прочности и изменение цвета не имеют значения.

14. Рекомендации по выбору режимов низкотемпературного процесса сушки (М — мягкий, Н — нормальный, Ф — форсированный режимы)

Порода	Категория режима	Толщина 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	9-8
	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	—

Примечания: 1. Режимы, указанные в табл. 16, относятся к пиломатериалам средней ширины. Для узких пиломатериалов, когда отношение ширины к толщине меньше 2, режим выбирают по ближайшей меньшей группе толщин, а для широких, с отношением ширины к толщине более 6, назначается режим рекомендуемого номера, но предшествующего индекса (например, вместо индекса Д индекс Г). 2. В камерах со слабой циркуляцией следует применять режимы рекомендуемого таблицей номера, но следующего индекса (например, вместо индекса Б индекс В). 3. Режимы применяются также в газовых камерах, оборудованных индивидуальными топками. В газовых камерах с групповыми топками рекомендуется применять специальные нормальные и форсированные режимы с постоянной температурой смоченного термометра. 4. Указанные режимы применяют и в камерах непрерывного действия с позонной циркуляцией. В этом случае в первой зоне загрузочного конца камеры поддерживают параметры первой ступени режима, а в зоне сухого конца — последней ступени режима.

15. 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	>50	<50
			Мягкие режимы ($t_м$=40° С)				
1-М	18—25	До 22	55	15	0,40	0,80	0,70
2-М	18—25	Св. 22 до 30	53	13	0,46	0,82	0,72
3-М	18—25	» 40 » 40	51	11	0,51	0,84	0,74
4-М	18—25	» 40 » 50	50	10	0,54	0,86	0,76
5-М	18—25	» 50 » 65	49	9	0,58	0,88	0,78
6-М	18—25	» 65 » 75	48	8	0,61	0,90	0,80
7-М	10—12	До 22	58	18	0,34	0,80	0,70
8-М	10—12	Св. 22 до 30	55	15	0,40	0,82	0,72
9-М	10—12	» 30 » 40	53	13	0,46	0,84	0,74
10-М	10—12	» 40 » 50	52	12	0,48	0,86	0,76
11-М	10—12	» 50 » 65	51	11	0,51	0,88	0,78
12-М	10—12	» 65 — 75	50	10	0,54	0,90	0,80
			Нормальные режимы ($t_м$=67° С)				
1-Н	18—25	До 22	92	25	0,34	0,75	0,65
2-Н	18—25	Св. 22 до 30	88	21	0,40	0,77	0,67
3-Н	18—25	» 30 » 40	85	18	0,45	0,79	0,69
4-Н	18—25	» 40 » 50	83	16	0,49	0,81	0,71
5-Н	18—25	» 50 » 65	81	14	0,53	0,83	0,73
6-Н	18—25	» 65 » 75	79	12	0,58	0,85	0,75
7-Н	10—12	До 22	100	33	0,25	0,75	0,65
8-Н	10—12	Св. 22 до 30	95	28	0,31	0,77	0,67
9-Н	10—12	Св. 30 до 40	92	25	0,34	0,79	0,69
10-Н	10—12	» 40 » 50	88	21	0,40	0,81	0,71
11-Н	10—12	» 50 » 65	85	18	0,45	0,83	0,73
12-Н	10—12	» 65 » 75	83	16	0,49	0,85	0,75
			Форсированные режимы ($t_м$=75° С)				
1-Ф	10—12	До 22	110	35	0,25	0,75	0,65
2-Ф	10—12	Св. 22 до 30	105	30	0,30	0,77	0,67
3-Ф	10—12	» 30 » 40	101	26	0,35	0,79	0,69
4-Ф	10—12	» 40 » 50	98	23	0,40	0,81	0,71
5-Ф	10—12	» 50 » 65	95	20	0,44	0,83	0,73
6-Ф	10—12	» 65 » 75	92	17	0,50	0,85	0,75

Указанные в табл. 15 температура t и влажность φ характеризуют состояние сушильного агента при входе его в штабель. Контроль температуры и влажности осуществляется психрометрами, поэтому в табл. 15 указывается еще и психрометрическая разность $\Delta t = t_с - t_м$, представляющая собой разность между показаниями двух термометров — сухого и смоченного. По показаниям $t_с$ и Δt с помощью психрометрической таблицы (см. табл. 1) контролируется φ.

У каждого режима в процессе сушки предусматривается трехкратное изменение состояния воздуха. Такое изменение носит название «ступень режима». Переход с одной ступени на другую про-

исходит при определенной влажности древесины (30 и 20%). Влажность, при которой осуществляется переход с одной ступени режима на другую, называется переходной. Режимы сушки низкотемпературного процесса для камер периодического действия выбираются по табл. 14.

Режимы сушки, рекомендуемые для противоточных камер непрерывного действия, представлены в табл. 15. Таблицей регламентируются режимы для пиломатериалов мягких хвойных пород (сосны, кедра, пихты). Для еловых пиломатериалов режим выбирают для предшествующей группы толщин, а для пиломатериалов мягких лиственных пород — по ближайшей большей группе толщин.

Режимы высокотемпературного процесса (высокотемпературные) и рекомендации по их выбору приведены в табл. 16 и 17.

16. 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

17. Рекомендации по выбору высокотемпературных режимов сушки

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

Использование высокотемпературных режимов предусматривается только для пиломатериалов хвойных и мягких (береза, осина) лиственных пород.

Примеры выбора режимов: 1. Надо высушить березовые доски толщиной 30 мм для изготовления мебели. Начальная влажность 60%. Камера периодического действия СПМ-2К. По табл. 16 выбираем режим сушки — нормальный 4-Г. По табл. 15 находим параметры режима:

при $W_н$>30% t = 69° С, Δt=60° С, φ=0,76%
при W=30...20% t = 73° С, Δt=10° С, φ=0,63%
при W<20% t = 91° С, Δt=28° С φ=0,30%

Первая ступень режима назначается после начального прогрева древесины и выдерживается до тех пор, пока пиломатериал не просохнет до $W=30\%$. После этого переходят на параметры второй ступени режима и продолжают сушку. При достижении пиломатериалом влажности 20% переходят на последнюю (третью) ступень режима и продолжают сушку до достижения пиломатериалом конечной влажности, в нашем случае 7—8%.

2. Надо высушить в камере непрерывного действия с противоточной закаткой СП-5КМ еловые пиломатериалы толщиной 50 мм от начальной влажности 55% до конечной 18%. В нашем случае параметры режима сушильного агента должны соответствовать параметрам режима 3-М (табл. 17), т. е. в сухом (разгрузочном) конце камеры $t_1=51°$ С, $\Delta t=11°$ С, $\varphi_1=0{,}51\%$ и степень насыщенности φ_2 на сыром (загрузочном) конце камеры должна быть 0,84%.

6. ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ

После того как назначен режим сушки и пиломатериал загружен в камеру, начинается процесс сушки. Сначала материал прогревают до той температуры, которая должна быть на первой ступени назначенного режима. Пока материал полностью не прогреется, влага из него не должна испаряться, т. к. преждевременное начало сушки приводит к пересыханию наружных слоев древесины и увеличивает опасность растрескивания.

При прогреве в камере поддерживается температура на 5° С выше температуры новой ступени режима, и если начальная влажность материала больше 25% — 100%-ная влажность воздуха (показания сухого и смоченного термометров одинаковы). Если влажность материала меньше 25%, его прогревают воздухом, состояние которого равновесно средней влажности материала, т. е. такое, при котором не происходит подсушивания материала.

На время прогрева приточно-вытяжные каналы камеры должны быть закрыты, а вентиляторы должны работать. Продолжительность прогрева зависит от породы, толщины, начальной влажности древесины, равномерности циркуляции сушильного агента и времени года. Например, лиственные породы имеют бо́льшую плотность, поэтому длительность прогрева лиственных пиломатериалов больше, чем хвойных. В летнее время длительность прогрева меньше, принята равной 1—1,5 ч, а зимой 1,5—2 ч на сантиметр толщины материала и т. д.

В камерах непрерывного действия прогрев осуществляется непосредственно в сыром (загрузочном) конце камеры, поэтому очень важно на загрузочном конце камеры контролировать влажность сушильного агента φ_2, чтобы не происходило подсушивания материала.

От прогрева к первой ступени режима сушки переходят постепенно, т. к. при резком уменьшении температуры даже при 100%-

ной влажности воздуха в камере из материала начинает испаряться влага, что может привести к растрескиванию.

Контроль и регулирование температуры и влажности в камере осуществляется или автоматически при помощи дистанционных приборов, или контроль выполняют при помощи обычных контрольных психрометров, а регулирование производит непосредственно дежурный сушильщик. Режим (в частности температуру) регулируют путем увеличения или уменьшения подачи теплоносителя в калорифер, влажность же регулируют открытием и закрытием вентилей пароувлажнительных труб, открытием и закрытием заслонок приточно-вытяжных каналов.

Управление сушильными камерами, несмотря на сравнительную простоту, часто проводится неправильно. В большинстве случаев неправильно используются именно приточно-вытяжные каналы. Сушильщики забывают, что воздухообмен камеры должен осуществляться для удаления из камеры только избытка влаги. Между тем очень часто приточно-вытяжные каналы держат открытыми или приоткрытыми, когда по показанию психрометра в камере нет избытка влаги и даже ощущается ее недостаток. Совершенно недопустимо, когда недостаток влаги стараются восполнить при открытых приточно-вытяжных каналах.

В камерах непрерывного действия режим сушки регулируют только в последней зоне на сухом (разгрузочном) конце камеры. В остальных зонах камеры режим устанавливают в зависимости от количества испаряемой из материала влаги. В газовых камерах режим регулируют изменением соотношения в газовой смеси горячих топочных газов, свежего воздуха и отработанных газов, выбрасываемых наружу. Для увеличения влажности агента сушки необходимо уменьшить выброс отработанных газов из камеры и уменьшить приток горячих газов из топки. Наблюдения за режимом сушки производят каждый час, показания приборов записывают в журнал.

Процесс сушки ведут до достижения пиломатериалом заданной конечной влажности. Контроль за влажностью осуществляется по контрольным образцам. В каждый штабель необходимо закладывать по два контрольных образца длиной 1—1,2 м. Один образец закладывают в зону наиболее активной сушки, второй — в зону замедленной сушки. Контрольные образцы выпиливают из досок, характерных для партии высушиваемых пиломатериалов, по схеме рис. 16.

Начальную влажность пиломатериалов определяют при помощи секций, которые вырезают из той же доски, что и контрольный образец. Торцы контрольных образцов сразу после выпиловки необходимо покрыть масляной краской во избежание их увлажнения. После этого образцы взвешивают с точностью до 5 г и закладывают в штабель, чтобы они не соприкасались с пластями досок, не выступали за боковую поверхность штабеля и легко вынимались. Секции, вырезанные для определения начальной влажности, очищают от опилок и заусенцев, взвешивают с точностью до 0,01 г

(древесина секций не должна содержать сучков, засмолков, гнили и трещин). Секции для просушивания помещают в сушильный шкаф. Температуру в шкафу поддерживают на уровне 100—105° С. Секции высушивают до постоянной массы. Влажность секций, %, подсчитывают с точностью до 1% по формуле

$$W_{нач} = 100(m_{нач} - m_{сух}) / m_{сух},$$

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

Среднее значение влажности, вычисленное по двум секциям, принимают за начальную влажность $W_{нач}$ контрольного образца и заносят в штабельную карточку. Так как в каждом штабеле по два контрольных образца, их среднюю влажность принимают за начальную влажность пиломатериалов в штабеле.

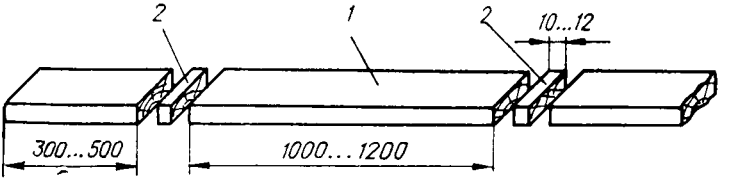


Рис. 16. Схема выпиловки контрольного образца *1* и секций влажности *2*

Контрольные образцы периодически вынимают из штабеля (в камерах непрерывного действия тогда, когда штабель продвинется к сухому концу) и взвешивают. По массе контрольных образцов определяют текущую влажность, %, пиломатериалов в штабеле:

$$W_т = 100M_т / M_{сух},$$

где $M_т$ — масса образца в момент определения влажности, г; $M_{сух}$ — масса контрольного образца в абсолютно сухом состоянии.

Контрольные образцы, как правило, высыхают быстрее, чем материал в штабеле. Разница между влажностью контрольных образцов и материала достигает к концу сушки 2—3%. Поэтому при определении времени окончания сушки это необходимо учитывать.

При сушке пиломатериалов по I и II категориям качества периодически осуществляется контроль за полными внутренними напряжениями в материале. Для контроля в штабель в быстро сохнущие места одновременно с контрольными образцами влажности и примерно такой же длины (1—1,2 м) закладывают 1—2 силовых отрезка. Торцы отрезков покрывают густой масляной краской. От отрезков на расстоянии 10 см от торцов периодически отпиливают торцовые срезы (секции), из которых на ленточнопильном станке вырезают силовые образцы по схеме, приведенной на рис. 17. О характере напряжений и примерной их величине судят по направлению и величине изгиба зубцов. Нормальным считается по-

ложение зубцов перпендикулярное основанию образца. Изгиб зубцов наружу указывает на наличие растягивающих, а изгиб внутрь — сжимающих напряжений в поверхностных зонах доски. Чем больше отклонения зубцов, тем больше напряжения.

Если необходимо контролировать перепад влажности по толщине материала, из силового отрезка рядом с секцией для определения напряжений выпиливают секцию для определения послойной влажности. Секцию раскалывают по схеме, показанной на рис. 18. Перепад влажности по толщине вычисляют по формуле

$$\Delta W = W_{вн} - W_{пов},$$

где $W_{вн}$ — влажность внутреннего слоя древесины секции, %; $W_{пов}$ — влажность поверхностных слоев (средняя) древесины секции.

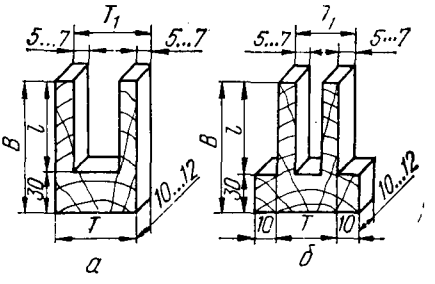


Рис. 17. Схема вырезки образцов для контроля остаточных напряжений:

а — для пиломатериалов (заготовок) толщиной до 40 мм; *б* — для пиломатериалов (заготовок) толщиной более 40 мм; *B* — ширина пиломатериалов (заготовки); *T* — расстояние, характеризующее нормальное положение зубцов, мм; T_1 — расстояние, характеризующее отклонение зубцов после выпиловки, мм

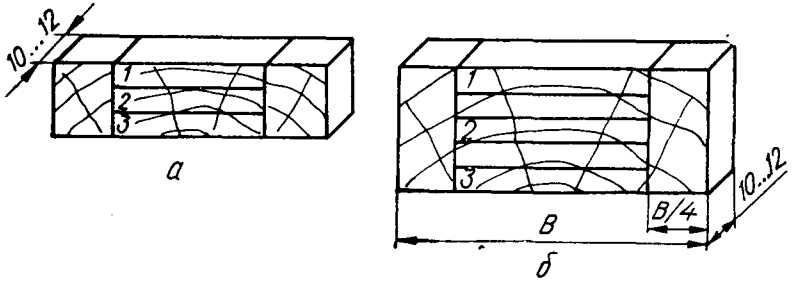


Рис. 18. Схема раскроя секций для определения перепада влажности по толщине пиломатериалов (заготовок):

а — для пиломатериалов (заготовок) толщиной до 32 мм; *б* — для пиломатериалов (заготовок) толщиной свыше 32 мм; *B* — ширина пиломатериалов (заготовок); *1*, *3* — поверхностные слои древесины секции; *2* — внутренние слои древесины секции

Влажность внутреннего слоя и поверхностных слоев (взвешиваемых вместе) определяют по ГОСТ 16588—79 (методы 2 и 3).

По значению текущей влажности, наличию и величине в пиломатериалах внутренних напряжений и перепада влажности по толщине определяют время проведения промежуточной и конечной влаготеплообработок пиломатериала, время окончания процесса

18. Дефекты сушки, причины появления и меры предупреждения

Возможные дефекты	Причины возникновения	Меры предупреждения
Неравномерное просыхание материала по штабелю	1. Неодинаковый температурно-влажностный режим по штабелю. 2. Неисправность вентиляторов. 3. Неравномерная циркуляция агента сушки. 4. Нарушения правил укладки пиломатериалов в штабель. 5. Плохая герметичность дверей. 6. Неполная загрузка камер.	1. Исправность вентиляторов. 2. Правильно организованная циркуляция агента сушки. 3. Наличие в камере всех экранов. 4. Полная загрузка камер штабелями. 5. Правильная укладка пиломатериалов в штабель.
Коробление	1. Нарушение правил укладки пиломатериалов в штабеля. 2. Пересушка пиломатериалов.	1. Соблюдение правил укладки пиломатериалов в штабеля: наличие жесткого основания; применение калиброванных прокладок; укладка по длине штабеля необходимого количества прокладок; выравнивание торцов штабеля; укладка в один ряд пиломатериалов одной толщины. 2. Тщательный контроль текущей влажности пиломатериалов.
Растрескивание	1. Жесткий режим сушки. 2. Недостаточный контроль за режимом сушки. 3. Выкатка пиломатериалов из камеры в зимнее время без предварительного остывания.	1. Правильный выбор режима сушки. 2. Усиление контроля за соблюдением режима сушки. 3. Уменьшение интенсивности испарения влаги с торцов за счет правильной установки направляющих экранов в камерах. 4. В зимнее время при отсутствии остывочного помещения на штабеля, выкаченные из камеры, накидывать брезент или влагонепроницаемую бумагу.
Ослабление и выпадение сучков	1. Усушка древесины сучка начинается раньше, т. к. с торцовой поверхности сучка влага испаряется быстрее, чем с поверхности доски. 2. Сучок имеет более плотную древесину, а следовательно, большую усадку.	1. Применять режимы сушки согласно Руководящим материалам. 2. Пиломатериал не пересушивать.

Возможные дефекты	Причины возникновения	Меры предупреждения
Появление на пиломатериале плесени	1. Слабая циркуляция агента сушки через штабель. 2. Температура по мокрому термометру в начале сушки меньше 40° С.	1. Соблюдение правил формирования штабелей. 2. Нормальная циркуляция агента сушки через штабель. 3. Применение режимов сушки с температурой по мокрому термометру в начале процесса 40° С.

сушки. Промежуточную и конечную влаготеплообработки проводят согласно рекомендациям Руководящих материалов.

Нарушения в проведении процесса сушки, такие как неправильно выбранный (назначенный) режим или его несоблюдение, отсутствие контроля за состоянием древесины, приводят к появлению дефектов сушки (табл. 18).

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ КАМЕРНОЙ СУШКИ

Продолжительность сушки пиломатериалов определяют по формулам:

в камерах периодического действия, когда сушку проводят мягкими, нормальными и форсированными режимами, а также в камерах непрерывного действия с продольной закаткой штабелей

$$\tau = \tau_{исх} A_р A_ц A_в A_к; \quad (1)$$

в камерах периодического действия при сушке высокотемпературными режимами

$$\tau = \tau_{исх} A_п A_ц A_в A_т A_к; \quad (2)$$

в камерах непрерывного действия с поперечной закаткой

$$\tau = \tau_{исх} A_п A_ц A_в A_к, \quad (3)$$

где $\tau_{исх}$ — исходная продолжительность сушки в зависимости от типа камер (табл. 19, 20, 21); $A_р$, $A_ц$, $A_в$, $A_к$, $A_п$, $A_т$ — коэффициенты, учитывающие: $A_р$ — категорию режимов сушки (для мягких режимов 1,7; нормальных 1,0; форсированных 0,8); $A_ц$ — интенсивность циркуляции агента сушки (табл. 22, 23, 24, 25); $A_в$ — начальную и конечную влажность (табл. 26, 27); $A_к$ — качество сушки (табл. 28, 29); $A_п$ — породу древесины (табл. 30, 31); $A_т$ — фактическую температуру сушильного агента, если она отличается от заданной по режиму.

Значения всех коэффициентов, кроме коэффициента $A_т$, в том случае, когда определяющие их факторы имеют промежуточные

19. Исходная продолжительность сушки $\tau_{исх}$, ч, пиломатериалов в камерах периодического действия при низкотемпературном процессе и в камерах непрерывного действия с продольной закаткой штабелей

Толщина пиломатериалов S_1, мм	Ширина пиломатериалов S_2, мм					
	40—50	60—70	80—100	110—130	140—180	более 180
	Сосна, ель, пихта, кедр					
До 16	23	25	26	27	27	27
19	29	31	32	33	33	33
22	34	37	39	39	39	40
25	50	52	54	55	55	55
32	66	71	75	76	78	79
40	71	79	84	86	88	88
50	—	95	101	103	107	108
60	—	103	114	122	125	130
70	—	—	147	161	178	194
75	—	—	171	194	215	238
100	—	—	340	354	379	432
	Осина, липа, тополь					
До 16	29	31	33	34	34	34
19	36	38	39	40	40	40
22	43	45	47	53	54	54
25	59	62	64	66	67	68
32	73	80	84	88	89	91
40	81	87	93	96	99	102
50	—	98	109	116	119	123
60	—	112	128	140	152	164
75	—	—	253	282	311	344
	Бук, клен, берест, ясень, ильм					
До 16	58	59	61	63	63	63
19	65	68	71	73	73	74
22	73	77	80	81	82	83
25	91	94	96	99	101	102
32	102	109	115	118	13Л	122
40	114	126	140	152	159	167
50	—	170	199	225	239	255
60	—	250	296	339	367	396
75	—	—	591	657	728	805

Толщина пиломатериалов S_1, мм	Ширина пиломатериалов S_2, мм					
	40—50	60—70	80—100	110—130	140—180	более 180
	Лиственница					
До 16	66	68	68	69	70	70
19	74	77	79	81	81	82
22	80	84	86	89	90	90
25	101	103	104	106	107	107
32	122	129	136	142	146	149
40	135	160	180	196	205	215
50	—	220	258	291	310	329
60	—	315	385	440	476	513
70	—	—	635	717	787	864
75	—	—	854	1019	1049	1161
100	—	—	1492	1551	1667	1903
	Береза, ольха					
До 16	36	36	37	37	38	39
19	44	45	47	47	48	48
22	50	51	53	54	55	55
25	67	73	78	81	83	84
32	81	85	88	91	92	94
40	93	96	100	101	105	107
50	—	115	130	141	149	158
60	—	155	187	213	231	249
75	—	—	377	420	463	514
	Дуб, орех, граб					
До 16	84	85	85	87	87	88
19	88	91	94	95	96	97
22	97	101	104	105	106	107
25	117	125	132	136	138	140
32	146	173	193	206	214	221
40	183	234	269	293	307	321
50	—	365	431	488	520	551
60	—	562	679	777	841	905
75	—	—	1086	1209	1340	1483

20. Исходная продолжительность сушки $\tau_{исх}$, ч, пиломатериалов в камерах периодического действия при высокотемпературном процессе

Толщина пиломатериалов S_1, мм	Ширина пиломатериалов S_2, мм					
	40—50	60—70	80—100	110—130	140—180	более 180
19	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
22	5,5	5,7	6,0	6,2	6,4	6,8
25	6,5	7.0	7,4	7,9	8,3	8,8
32	9,5	11,0	11,6	12,5	13,5	14,3
40	14,7	16,2	17,7	19,4	20,4	21,5
50	—	25,5	28,7	32,5	34,5	37,0
60	—	40,0	45,0	52,0	57,3	61,6

21. Исходная продолжительность сушки $\tau_{исх}$, ч, пиломатериалов в противоточных камерах непрерывного действия

Толщина пиломатериалов S_1, мм	Ширина пиломатериалов S_2, мм					
	40—50	60—70	80—100	110—130	140—180	более 180
			Мягкие режимы			
16	26	29	30	31	32	32
19	33	37	40	41	43	45
22	42	47	51	52	54	56
25	49	56	61	65	67	69
32	67	78	87	93	97	101
38	77	94	109	120	125	133
40	87	103	120	131	137	147
44	108	123	137	148	158	168
50	—	133	161	179	193	204
60	—	172	208	242	262	283
63	—	—	217	258	284	303
70	—	—	255	302	334	363
75	—	—	279	337	368	406
			Нормальные режимы			
16	20	21	22	22	23	23
19	23	26	28	29	30	30
22	28	31	34	24	36	36
25	30	34	38	40	40	42
32	36	42	47	48	52	54
40	46	53	62	66	70	75
50	—	68	79	87	93	98
60	—	82	96	110	119	130
70	—	—	115	134	146	160
75	—	—	124	147	160	175
			Форсированные режимы			
16	12	12	14	14	14	14
19	15	17	17	17	18	18
22	18	20	22	22	22	23
25	21	23	26	26	28	28
32	28	32	36	37	38	40
40	35	40	46	50	52	54
50	—	55	60	66	71	75
60	—	65	76	87	94	100
70	—	—	93	108	118	128
75	—	—	100	119	129	141

Примечание к табл. 19, 20, 21. Продолжительность сушки необрезных пиломатериалов определяют по графе, характеризующей наибольшую ширину.

22. Значения коэффициента $A_ц$ [см. формулу (1) на с. 53] для камер с реверсивной циркуляцией

Произведение $\tau_{исх}$, $A_р$, ч	Скорость циркуляции $w_{мат}$, м/с							
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
20	3,14	1,80	1,00	0,78	0,63	0,54	0,49	0,46
40	2,40	1,65	1,00	0,81	0,67	0,59	0,54	0,52
60	2,03	1,58	1,00	0,84	0,71	0,64	0,60	0,58
80	1,76	1,42	1,00	0,85	0,76	0,72	0,68	0,67
100	1,56	1,32	1,00	0,88	0,81	0,79	0,78	0,77
140	1,31	1,15	1,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
180	1,15	1,10	1,00	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92
220 и более	1,08	1,05	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95

23 Значения коэффициента $A_ц$ [см. формулу (2) на с. 53] для камер с реверсивной циркуляцией

$w_{мат}$, м/с	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$A_ц$	1,40	1,18	1,0	0,85	0,76	0,70

Примечание к табл. 24, 25. При нереверсивной циркуляции приведенные значения $A_ц$ умножаются на 1,1.

между указанными в таблицах значения, находят интерполяцией. Коэффициент $A_т$ определяют расчетным путем по выражению

$$A_т = (A_{т1}\Delta W_1 + A_{т2}\Delta W_2)/(W_н - W_к),$$

где $A_{т1}$, $A_{т2}$ — коэффициенты, характеризующие первую и вторую ступень режима (находят их по диаграммам рис. 19); ΔW_1 — разность между начальной и переходной влажностью, %: $\Delta W_1 = W_н - 20\%$; ΔW_2 — разность между переходной и конечной влажностью, %: $\Delta W_2 = 20 - W_к$.

Примеры. 1. Определить продолжительность сушки τ сосновых обрезных досок сечением 25×150 мм, высушиваемых нормальным режимом по II категории качества от начальной влажности 80% до конечной 10% в камере ЦНИИМОД-23 (циркуляция реверсивная, $w_{мат}=1$ м/с).

Так как камера периодического действия, продолжительность сушки определяем по формуле (1). Находим: $\tau_{исх}=55$ ч (табл. 19), $A_р=1$. По произведению $\tau_{исх}A_р=55\cdot1=55$ определяем $A_ц$ (табл. 23). При скорости циркуляции по материалу $w_{мат}=1$ м/с для любого результата, полученного от произведения $\tau_{исх}A_р$, $A_ц=1$. Следовательно, и в предлагаемом примере $A_ц=1$. $A_в=1{,}29$ (табл. 26), $A_к=1{,}15$ (табл. 28). Подставляя найденные значения, получим $\tau=55\cdot1\cdot1\cdot1{,}28\cdot1{,}15=81{,}6$ ч.

2. Определить продолжительность сушки еловых необрезных пиломатериалов толщиной 50 мм по III категории качества фор-

24. Значения коэффициента $A_ц$ [см. формулу (3) на с. 53] для камер различных конструкций

Толщина пиломатериалов S_1, мм	С поперечной штабелевкой и прямолинейной циркуляцией				С зигзагообразной циркуляцией				С продольной штабелевкой и прямолинейной циркуляцией	
	$w_{габ.р}$, м/с	$A_ц$ при режимах			$w_{габ.р}$, м/с	$A_ц$ при режимах			$w_{габ.р}$, м/с	$A_ц$ при режимах S
		1	2	3		1	2	3		
16	0,6	1,94	2,24	2,80	0,3	2,30	2,60	—	0,9	1,89
	0,8	1,50	1,71	2,40	0,4	1,62	1,88	—	1,0	1,64
	1,0	1,18	1,37	1,97	0,5	1,36	1,44	2,60	1,2	1,32
	1,2	0,97	1,12	1,68	0,6	1,15	1,22	1,99	1,4	1,10
	1,4	0,85	0,95	1,44	0,7	1,00	1,14	1,65	1,6	0,97
	1,6	0,77	0,84	1,26	0,8	0,90	0,91	1,43	2,0	0,79
	2,0	0,71	0,66	0,97	0,9	0,83	0,80	1,27	2,4	0,64
	2,8	0,68	0,49	0,72	1,0	0,78	0,72	1,15	2,8	0,53
22	0,6	1,77	1,94	2,47	0,2	3,00	—	—	0,9	1,61
	0,8	1,32	1,45	2,03	0,3	1,85	2,20	—	1,0	1,43
	1,0	1,03	1,16	1,68	0,4	1,39	1,60	2,90	1,2	1,17
	1,2	0,88	0,95	1,41	0,5	1,12	1,20	1,86	1,4	1,01
	1,4	0,80	0,81	1,18	0,6	0,97	1,03	1,47	1,6	0,90
	1,6	0,77	0,71	1,01	0,7	0,86	0,90	1,27	2,0	0,73
	2,0	0,72	0,56	0,80	0,8	0,79	0,78	1,13	2,4	0,60
	2,8	0,70	0,48	0,67	0,9	0,75	0,70	1,03	2,8	0,52
32	0,6	1,46	1,68	2,20	0,2	2,40	—	—	0,9	1,36
	0,8	1,07	1,27	1,75	0,3	1,48	1,94	2,80	1,0	1,21
	1,0	0,93	1,00	1,40	0,4	1,11	1,32	1,80	1,2	1,04
	1,2	0,88	0,84	1,16	0,5	0,95	1,05	1,39	1,4	0,94
	1,4	0,86	0,75	0,98	0,6	0,86	0,92	1,15	1,6	0,88
	1,6	0,84	0,72	0,90	0,7	0,82	0,84	1,03	2,0	0,80
	2,0	0,80	0,68	0,80	0,8	0,80	0,80	0,94	2,4	0,74
	2,8	0,77	0,66	0,76	0,9	0,80	0,76	0,88	2,8	0,69
40	0,6	1,25	1,58	2,01	0,2	2,0	—	—	0,9	1,27
	0,8	0,99	1,18	1,57	0,3	1,26	1,77	2,40	1,0	1,15
	1,0	0,90	0,96	1,24	0,4	1,01	1,22	1,59	1,2	1,06
	1,2	0,87	0,85	1,04	0,5	0,93	0,97	1,22	1,4	0,93
	1,4	0,85	0,80	0,94	0,6	0,88	0,89	1,06	1,6	0,89
	1,6	0,83	0,76	0,88	0,7	0,85	0,83	0,98	2,0	0,84
	2,0	0,82	0,73	0,82	0,8	0,84	0,81	0,92	2,4	0,80
	2,8	0,82	0,70	0,79	0,9	0,83	0,80	0,88	2,8	0,76
50	0,6	1,04	1,50	1,82	0,2	1,65	—	—	0,9	1,17
	0,8	0,92	1,10	1,40	0,3	1,08	1,60	2,00	1,0	1,06
	1,0	0,88	0,93	1,08	0,4	0,94	1,10	1,36	1,2	0,96
	1,2	0,86	0,86	0,96	0,5	0,90	0,91	1,11	1,4	0,92
	1,4	0,85	0,83	0,90	0,6	0,88	0,86	0,99	1,6	0,90
	1,6	0,84	0,80	0,86	0,7	0,88	0,84	0,93	2,0	0,86
	2,0	0,83	0,76	0,83	0,8	0,87	0,83	0,88	2,4	0,84
	2,8	0,82	0,73	0,83	0,9	0,87	0,82	0,87	2,8	0,81
60	0,6	0,94	1,40	1,65	0,2	1,35	2,60	2,80	0,9	1,12
	0,8	0,89	1,04	1,27	0,3	0,99	1,45	1,76	1,0	1,03
	1,0	0,86	0,92	1,00	0,4	0,91	1,04	1,26	1,2	0,95
	1,2	0,85	0,89	0,92	0,5	0,89	0,92	1,06	1,4	0,91
	1,4	0,84	0,85	0,89	0,6	0,88	0,88	0,96	1,6	0,90
	1,6	0,84	0,82	0,85	0,7	0,87	0,86	0,91	2,0	0,87
	2,0	0,83	0,78	0,83	0,8	0,87	0,86	0,90	2,4	0,85
	2,8	0,82	0,76	0,82	0,9	0,87	0,85	0,89	2,8	0,82

Толщина пиломатериалов S_1, мм	С поперечной штабелевкой и прямолинейной циркуляцией				С зигзагообразной циркуляцией				С продольной штабелевкой и прямолинейной циркуляцией	
	$w_{габ.р}$, м/с	$A_ц$ при режимах			$w_{габ.р}$, м/с	$A_ц$ при режимах			$w_{габ.р}$, м/с	$A_ц$ при режимах S
		1	2	3		1	3	3		
75	0,6	0,88	1,27	1,45	0,2	1,06	2,07	2,50	0,9	1,04
	0,8	0,85	0,98	1,11	0,3	0,92	1,23	1,55	1,0	0,98
	1,0	0,85	0,92	0,96	0,4	0,88	1,01	1,13	1,2	0,93
	1,2	0,84	0,90	0,91	0,5	0,88	0,94	0,99	1,4	0,91
	1,4	0,84	0,86	0,88	0,6	0,87	0,91	0,93	1,6	0,90
	1,6	0,84	0,84	0,85	0,7	0,87	0,90	0,90	2,0	0,88
	2,0	0,83	0,80	0,84	0,8	0,87	0,89	0,90	2,4	0,86
	2,8	0,82	0,77	0,84	0,9	0,87	0,89	0,90	2,8	0,84

Примечание. Цифры 1, 2, 3 обозначают режимы соответственно мягкие, нормальные, форсированные.

25. Значения поправочного коэффициента к величине $A_ц$ для необрезного материала

Скорость $w_{габ.р}$, м/с	Толщина пиломатериалов S_1, мм, при режимах					
	мягких			нормальных и форсированных		
	до 25	32—40	50 и более	до 25	32—40	50 и более
0,6	0,68	0,80	0,90	0,63	0,64	0,72
0,8	0,73	0,86	0,93	0,65	0,82	0,82
1,0	0,80	0,91	0,95	0,67	0,76	0,88
1,2	0,84	0,94	0,97	0,72	0,82	0,92
1,4	0,88	0,96	0,98	0,75	0,88	0,95
1,6	0,90	0,97	0,99	0,80	0,91	0,97
2,0	0,95	0,99	1,00	0,85	0,96	1,00
2,8	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98	1,00

сированным режимом в камере ВК-1 (циркуляция реверсивная, $w_{мат}=2$ м/с). Начальная влажность материала 60%, конечная 12%. Продолжительность τ определяем по формуле (1). Находим: $\tau_{исх}=108$ ч (табл. 19), $A_р=0{,}8$. Произведение $\tau_{исх}A_р=108\cdot0{,}8=87$ ч. В табл. 23 для полученного произведения значение коэффициента $A_ц$ отсутствует, поэтому определяем его интерполяцией, для чего из ближнего большего значения коэффициента при произведении $\tau_{исх}A_р=100$ и скорости по материалу $w_{мат}=2$ м/с, равного 0,81, вычитаем ближнее наименьшее значение коэффициента при $\tau_{исх}A_р=80$ и $w_{мат}=2$ м/с, равное 0,76, т. е. 0,81—0,76=0,05. Полученную разницу 0,05 делим на количество отсутствующих результатов произведения $\tau_{исх}A_р$, т. е. (100—80=20) на 20: 0,05 : 20= =0,0025; полученный результат, умножив на 7, прибавляем к значению коэффициента при $\tau_{исх}A_р=80$, т. е. к 0,76: $0{,}76+0{,}0025\cdot7=$ $=0{,}76+0{,}0175=0{,}7775$. Таким образом, для произведения $\tau_{исх}A_р=$ $=87$ ч $A_ц=0{,}7775$. $A_в=1{,}0$ (табл. 26), $A_к=1{,}05$ (табл. 28). Подставляя найденные значения в формулу (1), получим $\tau=108\cdot0{,}8\times$ $\times0{,}7775\cdot1{,}0\cdot1{,}05=71$ ч.

26. Значения коэффициента $A_в$ в формуле (1)

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	0,49	0,57	0,65	0,75

Значения коэффициента $A_в$ в формуле (2)

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	0,51	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

27. Значения коэффициента $A_в$ в формуле (3)

Начальная влажность $W_н$, %	Толщина пиломатериалов S_1, мм	Нормальные и форсированные режимы					Мягкие режимы		
		Конечная влажность $W_к$, %							
		8	10	12	18	20—22	10—12	18	20—22
120	16	2,30	2,23	2,20	2,20	2,20	1,84	1,72	1,65
	19	2,22	2,14	2,09	2,06	2,06	1,70	1,54	1,46
	22	2,14	2,06	2,00	1,96	1,94	1,60	1,41	1,32
	25	2,08	1,99	1,92	1,86	1,83	1,54	1,33	1,23
	32	1,98	1,87	1,78	1,66	1,64	1,46	1,22	1,13
	40	1,91	1,77	1,68	1,52	1,49	1,43	1,18	1,08
	50	1,81	1,68	1,57	1,39	1,32	1,43	1,18	1,08
	60 и выше	1,69	1,58	1,43	1,19	1,15	1,43	1,18	1,08
110	16	2,09	2,01	1,99	1,99	1,99	1,70	1,58	1,51
	19	2,03	1,95	1,91	1,87	1,87	1,59	1,43	1,35
	22	1,98	1,89	1,84	1,79	1,71	1,52	1,32	1,23
	25	1,93	1,85	1,77	1,71	1,69	1,46	1,26	1,15
	32	1,86	1,76	1,66	1,55	1,50	1,41	1,17	1,07
	40	1,80	1,68	1,57	1,43	1,39	1,38	1,11	1,03
	50	1,74	1,60	1,50	1,32	1,25	1,38	1,11	1,03
	60 и выше	1,61	1,45	1,35	1,12	1,05	1,38	1,11	1,03
100	16	1,90	1,85	1,80	1,80	1,80	1,56	1,44	1,37
	19	1,84	1,77	1,72	1,69	1,69	1,48	1,32	1,24
	22	1,80	1,72	1,66	1,61	1,60	1,41	1,22	1,13
	25	1,78	1,69	1,62	1,55	1,53	1,37	1,16	1,06
	32	1,74	1,63	1,54	1,42	1,40	1,33	1,09	1,00
	40	1,70	1,57	1,47	1,32	1,28	1,31	1,06	0,96
	50	1,65	1,52	1,41	1,23	1,16	1,31	1,06	0,96
	60 и выше	1,58	1,43	1,32	1,08	1,00	1,31	1,06	0,96
90	16	1,69	1,63	1,59	1,59	1,59	1,42	1,30	1,22
	19	1,66	1,59	1,54	1,50	1,50	1,35	1,19	1,11
	22	1,64	1,56	1,50	1,44	1,44	1,31	1,12	1,03
	25	1,63	1,55	1,47	1,41	1,39	1,29	1,08	0,97
	32	1,62	1,51	1,42	1,30	1,27	1,26	1,01	0,94
	40	1,59	1,46	1,36	1,22	1,18	1,25	1,00	0,89
	50	1,55	1,42	1,31	1,14	1,07	1,25	1,00	0,89
	60 и выше	1,54	1,38	1,28	1,05	0,97	1,25	1,00	0,89
80	16	1,50	1,43	1,40	1,40	1,40	1,28	1,16	1,09
	19	1,49	1,42	1,37	1,34	1,34	1,23	1,07	0,99
	22	1,48	1,40	1,34	1,29	1,28	1,21	1,02	0,93
	25	1,48	1,39	1,32	1,25	1,23	1,20	0,99	0,89
	32	1,48	1,37	1,28	1,18	1,14	1,18	0,94	0,85
	40	1,47	1,35	1,25	1,11	1,06	1,18	0,93	0,83
	50	1,45	1,32	1,21	1,03	0,96	1,18	0,93	0,83
	60 и выше	1,44	1,29	1,18	0,95	0,87	1,18	0,93	0,83
70	16	1,31	1,23	1,21	1,20	1,19	1,14	1,02	0,95
	19	1,31	1,22	1,19	1,16	1,14	1,12	0,96	0,88
	22	1,32	1,23	1,17	1,12	1,11	1,01	0,92	0,82
	25	1,32	1,24	1,16	1,10	1,07	1,11	0,90	0,80
	32	1,33	1,22	1,13	1,03	1,00	1,10	0,86	0,77
	40	1,34	1,23	1,12	0,99	0,94	1,10	0,85	0,74
	50	1,35	1,22	1,11	0,93	0,86	1,10	0,85	0,74
	60 и выше	1,37	1,22	1,11	0,89	0,80	1,10	0,85	0,74

Начальная влажность $W_н$, %	Толщина пиломатериалов S_1, мм	Нормальные и форсированные режимы					Мягкие режимы		
		Конечная влажность $W_к$, %							
		8	10	12	18	20—22	10—12	18	20—22
60	16	1,10	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,81
	19	1,12	1,05	1,00	0,98	0,97	1,00	0,84	0,76
	22	1,14	1,06	1,00	0,95	0,94	1,00	0,81	0,72
	25	1,16	1,07	1,00	0,93	0,91	1,00	0,79	0,69
	32	1,20	1,09	1,00	0,88	0,86	1,00	0,76	0,67
	40	1,23	1,11	1,00	0,85	0,81	1,00	0,75	0,65
	50	1,24	1,11	1,00	0,82	0,75	1,00	0,75	0,65
	60 и выше	1,26	1,11	1,00	0,78	0,69	1,00	0,75	0,65
50	16	0,89	0,83	0,79	0,79	0,79	0,86	0,74	0,68
	19	0,91	0,85	0,81	0,78	0,78	0,87	0,71	0,64
	22	0,98	0,89	0,84	0,77	0,77	0,89	0,71	0,60
	25	1,00	0,91	0,84	0,77	0,74	0,89	0,69	0,58
	32	1,05	0,95	0,85	0,74	0,71	0,89	0,65	0,55
	40	1,11	0,99	0,88	0,72	0,68	0,88	0,64	0,54
	50	1,13	0,90	0,89	0,71	0,64	0,88	0,64	0,54
	60 и выше	1,15	1,00	0,89	0,66	0,57	0,88	0,64	0,54
40	16	0,69	0,64	0,59	0,59	0,59	0,71	0,59	0,52
	19	0,75	0,57	0,63	0,59	0,59	0,73	0,58	0,50
	22	0,79	0,71	0,65	0,60	0,57	0,75	0,57	0,47
	25	0,83	0,73	0,67	0,60	0,57	0,75	0,54	0,43
	32	0,89	0,80	0,69	0,59	0,56	0,75	0,51	0,42
	40	0,96	0,83	0,73	0,58	0,53	0,74	0,50	0,39
	50	0,99	0,85	0,75	0,57	0,51	0,74	0,50	0,39
	60 и выше	1,01	0,86	0,75	0,53	0,43	0,74	0,50	0,39
30	16	0,50	0,43	0,40	0,40	0,40	0,54	0,42	0,35
	19	0,55	0,48	0,43	0,40	0,40	0,56	0,40	0,32
	22	0,59	0,51	0,45	0,40	0,39	0,57	0,38	0,29
	25	0,63	0,54	0,47	0,40	0,38	0,57	0,36	0,26
	32	0,72	0,61	0,52	0,40	0,37	0,57	0,33	0,24
	40	0,78	0,65	0,55	0,40	0,36	0,57	0,32	0,22
	50	0,81	0,68	0,57	0,39	0,32	0,57	0,32	0,22
	60 и выше	0,83	0,68	0,57	0,33	0,26	0,57	0,32	0,22
25	16	0,39	0,32	0,29	0,29	—	0,40	0,28	—
	19	0,43	0,36	0,31	0,29	—	0,42	0,26	—
	22	0,48	0,40	0,34	0,29	—	0,44	0,25	—
	25	0,52	0,43	0,36	0,29	—	0,46	0,23	—
	32	0,60	0,49	0,40	0,28	—	0,47	0,23	—
	40	0,66	0,54	0,43	0,28	—	0,47	0,22	—
	50	0,68	0,55	0,44	0,26	—	0,47	0,22	—
	60 и выше	0,71	0,56	0,45	0,23	—	0,47	0,22	—
20	16	0,30	0,23	0,20	0,20	—	0,27	0,15	—
	19	0,34	0,27	0,22	0,20	—	0,30	0,14	—
	22	0,38	0,30	0,24	0,19	—	0,31	0,12	—
	25	0,42	0,33	0,26	0,19	—	0,32	0,11	—
	32	0,49	0,38	0,29	0,17	—	0,32	0,08	—
	40	0,53	0,41	0,30	0,15	—	0,32	0,07	—
	50	0,56	0,43	0,32	0,14	—	0,32	0,07	—
	60 и выше	0,58	0,43	0,32	0,10	—	0,32	0,07	—

28. Значения коэффициента $A_к$ в формуле (1)

Категория качества	I	II	III	0
$A_к$	1,20	1,15	1,05	1,0

29. Значения коэффициента $A_к$ в формуле (2)

$\tau_{исх}$ $A_п$ $A_ц$ $A_в$ $A_т$, ч	$A_к$ при толщине S_1, мм		$\tau_{исх}$ $A_п$ $A_ц$ $A_в$ $A_т$, ч	$A_к$ при толщине 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	3,4	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

Примечания. 1. В табл. 29 значения $A_к$ указаны для материала III категории качества. При I и II категориях качества их умножают на 1,05. 2. Значение коэффициента $A_к$ в формуле (3) в том случае, если сушильная камера не имеет отсека для влаготеплообработки или при его бездействии, принимают по табл. 28. При наличии отсека для влаготеплообработки $A_к = m_{общ}/m_{общ} - m_{отс}$), где $m_{общ}$ — общее количество штабелей в камере; $m_{отс}$ — количество штабелей в отсеке.

30. Значения коэффициента $A_п$ в формуле (2)

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

31. Значения коэффициента $A_п$ в формуле (3)

Порода	Ель, пихта	Сосна, кедр	Осина	Береза
$A_п$	0,9	1,0	1,1	1,45

3. Определить продолжительность сушки сосновых пиломатериалов толщиной 40 и шириной 150 мм высокотемпературным режимом по III категории качества от $W_н=65\%$ до $W_к=8\%$ в камере с реверсивной циркуляцией при скорости агента сушки по материалу $w_{мат}=2{,}5$ м/с. Температура сушильного агента соответствует температуре, регламентируемой стандартным режимом.

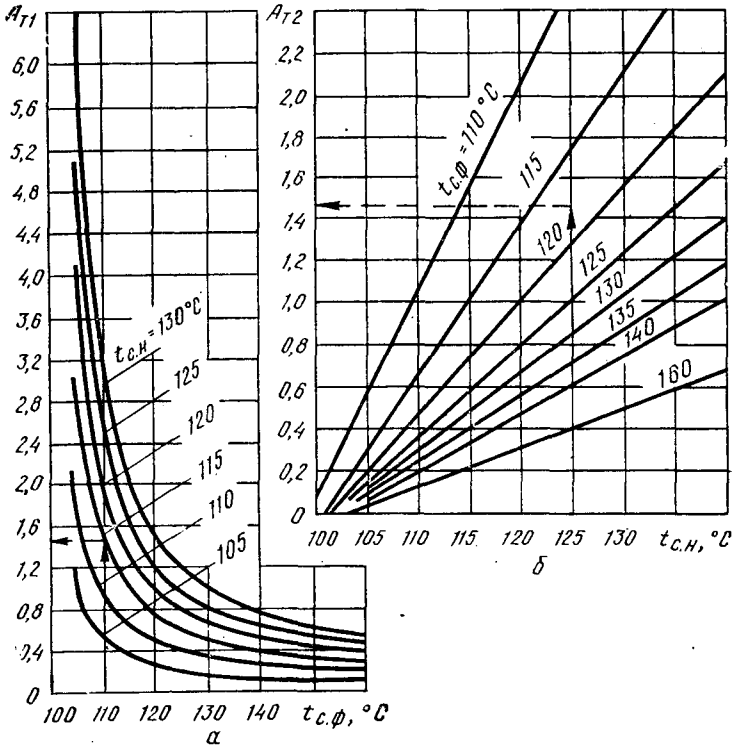


Рис. 19. Диаграммы коэффициентов $A_{т1}$ и $A_{т2}$ для первой (*а*) и второй (*б*) ступеней процесса

Применяем формулу (2). Находим: $\tau_{исх}=20{,}4$ (табл. 20), $A_п=1{,}0$ (табл. 30), $A_ц=0{,}85$ (табл. 25), $A_в=1{,}3$ (табл. 26), по условиям примера $A_т=1{,}0$. Для нахождения коэффициента $A_к$ вычисляем произведение $\tau_{исх}A_пA_цA_вA_т=20{,}4\cdot1{,}0\cdot0{,}85\cdot1{,}3\cdot1{,}0=22{,}5$ ч, чему соответствует коэффициент $A_к=1{,}4125$ (табл. 29 с интерполяцией). Тогда $\tau=20{,}4\cdot1{,}0\cdot0{,}85\cdot1{,}3\cdot1{,}0\cdot1{,}4125=31{,}8\approx32$ ч.

4. Определить продолжительность сушки по условиям примера 3, но для случая, когда температура сушильного агента отклоняется от регламентируемой стандартным режимом. Задано режимом $t_{1н}=115°$ С, $t_{2н}=125°$ С. Фактически выдерживался режим $t_{1ф}=110°$ С, $t_{2ф}=118°$ С. Значения $\tau_{исх}$ и коэффициентов $A_п$, $A_ц$ и $A_в$ остаются такими же, как в примере 3. По рис. 19 находим значе-

ния коэффициентов $A_{т1}=1,5$ и $A_{т2}=1,45$. Коэффициент $A_т$ находим по формуле

$$A_т = \frac{\Delta W_1 A_{т1} + \Delta W_2 A_{т2}}{W_н - W_к} = \frac{(65-20)\,1,5 + (20-8)\,1,45}{65-8} = 1,49.$$

Для нахождения коэффициента $A_к$ вычисляем произведение $\tau_{исх} A_п A_ц A_в A_т = 20,4 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 1,49 = 33,6$ ч; $A_к = 1,264$ (табл. 29 с интерполяцией). Определяем $\tau = 20,4 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 1,49 \cdot 1,264 = 42,5$ ч.

5. Определить продолжительность сушки по 0 категории качества еловых обрезных досок сечением 32×100 мм мягким режимом от $W_н = 70\%$ до $W_к = 18\%$ в камере с поперечной закаткой штабелей. Размеры штабеля: длина 6,8 м, высота 3 м; производительность вентиляторной установки 120 тыс. м³/год. Площадь габаритного сечения штабеля $F_{габ} = 6,8 \cdot 3 = 20,4$ м². Расчетная скорость $w_{габ.р} = V_{в.ч}/(3600 \cdot 20,4) = 120000/73440 = 1,63$ м/с.

Продолжительность сушки определяем по формуле (2). Находим: $\tau_{исх} = 87$ ч (табл. 21), $A_п = 0,9$ (табл. 31), $A_к = 0,83$ (табл. 24 с интерполяцией), $A_в = 0,86$ (табл. 27), $A_к = 1,0$ (табл. 28). Продолжительность сушки $\tau = 87 \cdot 0,9 \cdot 0,83 \cdot 0,86 \cdot 1,0 = 55,9 \approx 56$ ч.

Если $w_{мат}$ неизвестна, для приближенных расчетов ее можно принять, м/с: для камер в строительных ограждениях — с естественной циркуляцией 0,2; с циркуляцией слабой интенсивности (ЦНИИМОД-39, УкрНИИМОД и др.) 0,5; с циркуляцией средней интенсивности (ЦНИИМОД-23, ВИАМ, эжекционные Гипродревпрома и др.) 1,0; с циркуляцией повышенной интенсивности (ВК-4, СПЛК-2, Латгипропрома и др.) 2,0; для сборно-металлических камер — с нереверсивной циркуляцией (СКД и др.) 2,0; с реверсивной циркуляцией (СПВ-62, УЛ-2, СПМ-2К, Урал и др.) 2,5.

Условная расчетная скорость $w_{габ.р} = V_{в.с}/F_{габ}$, где $V_{в.с}$ — секундная производительность циркуляционных вентиляторов, определяемая непосредственным измерением скорости сушильного агента в циркуляционном канале или (для ориентировочных расчетов) принимаемая по паспортным данным, м³/с; $F_{габ}$ — площадь габаритного сечения штабеля, перпендикулярного направлению сушильного агента, м².

8. ХРАНЕНИЕ ВЫСУШЕННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Хранение пиломатериалов транспортной влажности. Высушенные до транспортной влажности пиломатериалы в случае их длительного хранения должны быть уложены в плотные пакеты. Пакеты формируют согласно ГОСТ 19041—73 «Пакеты и блок-пакеты пилопродукции. Формирование, упаковывание, маркирование, транспортирование и хранение». Размеры пакетов должны соответствовать ГОСТ 16369—80 «Лесоматериалы. Размеры транспортных пакетов». При хранении необходимо обеспечить защиту пиломатериалов от прямого попадания влаги и загрязнения. Хранят их

на закрытых неотапливаемых складах или на открытых складах в водонепроницаемых обертках. Объемы хранения зависят от режима производства пиломатериалов, вида и режима сушки, режима отгрузки и объема производства. С учетом реализации пилопродукции лесопильно-деревообрабатывающими предприятиями объем хранения сухих пиломатериалов не должен быть меньше приведенного в табл. 32.

32. Объем хранения пиломатериалов в зависимости от их годового производства

Тип лесопильного предприятия	Объем производства пиломатериалов, м³/год	Единовременный объем хранения, тыс. м³
Экспортного назначения с участками атмосферной сушки, комплектования, хранения и отгрузки; отгрузка круглогодовая по железной дороге	130 200 320	6,24 9,70 15,60
Экспортного назначения с участками атмосферной сушки, комплектования, хранения и погрузки; отгрузка сезонная в морских судах	130 200 320	11,80 18,20 29,00
Экспортного и внутрисоюзного назначения с участками атмосферной сушки, комплектования, хранения и погрузки; отгрузка круглогодовая по железной дороге	50 80 130	2,40 3,90 6,20
Экспортного и внутрисоюзного назначения с участками атмосферной сушки, комплектования, хранения и погрузки; отгрузка сезонная в речных судах	50 80 130	4,50 7,30 11,80

Если для конкретного предприятия известен график отгрузки пиломатериалов со склада и график поступления сухих спакетированных пиломатериалов на склад, то объемы хранения на любой период времени $Q_{хр}(\tau)$, м³, более точно можно рассчитать по формуле

$$Q_{хр}(\tau) = Q_п(\tau) - Q_о(\tau) + З,$$

где $Q_п(\tau)$, $Q_о(\tau)$ — объемы поступления и отгрузки пиломатериалов со склада за время τ; $З$ — запас пиломатериалов на складе на начало отсчета ($\tau=0$). Максимальное значение функции $Q_{хр}(\tau)$ есть максимальный объем хранения пиломатериалов на складе $Q_{хр.макс}$, по которому рассчитывают необходимые объемы складов.

Пример расчета $Q_{хр.макс}$ приведен в табл. 33. Таблица дает наглядное представление о наличии пиломатериалов на складе в конце каждого месяца; максимальный объем пиломатериалов на складе образуется в конце сентября ($Q_{хр.макс}=41$ тыс. м³).

Закрытые склады — самое надежное средство защиты пиломатериалов во время хранения. Из отечественных наибольшее рас-

33. Расчет максимального объема хранения ($З=2$ тыс. м³)

Объем, тыс. м³	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Поступления пиломатериалов на склад	22	34	45	55	80	105	130	155	180	193	206	220
Отгрузки со склада	10	12	20	35	55	72	94	119	111	166	190	212
Хранения	14	24	27	22	27	35	38	26	41	29	18	10

пространение получили склады с несущими железобетонными конструкциями и обшивкой стен асбестоцементными листами; встречаются также финские сборные металлические склады (табл. 34). Необходимое количество складов $n_с$ определяют по формуле

$$n_с = Q_{хр.макс} K_з E,$$

где E — вместимость склада, м³; $K_з$ — коэффициент загрузки склада (0,75).

34. Закрытые склады для хранения пиломатериалов транспортной влажности

Вид склада	Материал стен	Внутренние размеры, м			Вместимость склада, м³	Грузоподъемное оборудование
		длина	ширина	высота		
Склад сухих пиломатериалов	Асбестоцементные волнистые листы	150	24	9,25	10000	Мостовой кран
Склад экспортных пиломатериалов	То же	186	24	9,5	4100	То же
Склад для хранения сухих экспортных пиломатериалов	»	48	18	6,0	2750	Автопогрузчик
Сборный металлический склад	Металлические листы	120	48	—	16000—20000	Мостовой кран

Обертку пакетов применяют для защиты пиломатериалов от вредного воздействия внешней среды в процессе хранения на открытых складах, при перевозке и перегрузке. Пиломатериалы в упакованном виде идут до потребителя, при этом на буферных складах и перевалочных пунктах их могут складировать под открытым небом. Погрузочно-разгрузочные работы можно производить в любую погоду без ущерба для качества товара, что позволяет организовать поставку продукции строго по графику. При перевозке железнодорожным транспортом эффективность обертки составляет 0,33 руб. на 1 м³ перевезенных пиломатериалов, при этом экономится 0,5 м³ пиломатериалов в пересчете на один вагон.

Обертка может быть пяти-, трех- или односторонней (рис. 20). Пятисторонняя обертка представляет собой чехол, который покрывает пакет, оставляя необернутой только нижнюю его поверхность.

Трехсторонняя закрывает верхнюю и торцовые поверхности. Односторонняя закрывает только верхнюю часть пакета за исключением двух крайних досок верхнего ряда [6]. При перевозке пиломатериалов морским транспортом оберточный материал укладывают под верхний ряд досок в любом варианте упаковки.

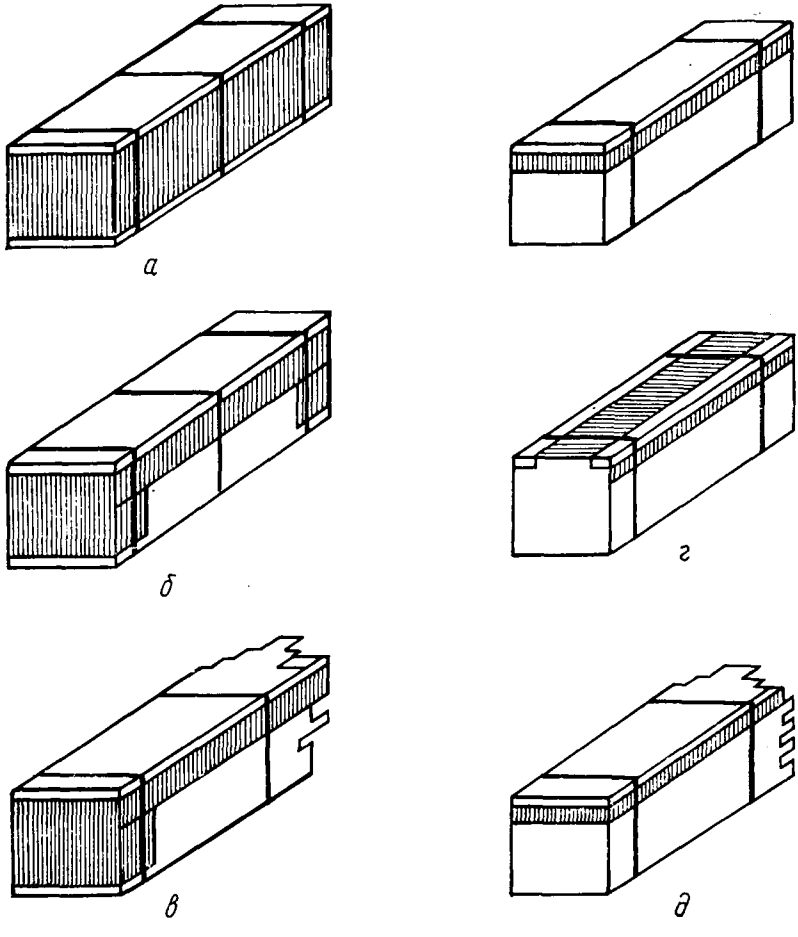


Рис. 20. Водонепроницаемые обертки пакетов пиломатериалов:
а — пятисторонняя с двумя выровненными торцами; *б, в* — трехсторонняя соответственно с двумя и одним выровненным торцом; *г, д* — односторонняя с двумя и одним выровненным торцом

Для изготовления оберток следует применять водонепроницаемую двухслойную армированную крафт-бумагу на битумном связующем (типа финской «Тимврап-2» и «Висаврап-Т» и шведской «Тентен»; для прокладки под верхний ряд досок при односторонней обертке — также и упаковочную бумагу (ГОСТ 8828—75) или

полиэтиленовую пленку толщиной 0,15—0,20 мм (ГОСТ 16272—79 или ТУ6-0,5-1394—70).

При хранении на открытых складах обернутые пакеты укладывают в штабеля высотой не более 8 м. При хранении более 2 мес во избежание разрушения оберток верхнего ряда штабеля закрывают крышами. Штабеля, сформированные из пакетов с трехсторонней оберткой, дополнительно закрывают с боковых сторон, а из пакетов с односторонней оберткой — с четырех сторон бумагой, деревянными щитами или другими водонепроницаемыми средствами.

Нормы расхода оберточного материала на упаковку 1 м^3 пиломатериалов следующие, м^2: при пятисторонней обертке 4,4; при трехсторонней 2,2; при односторонней 1,6. Норма дана в расчете на пакет средневзвешенных размеров (1,1×1,1×4,5 м). Трудозатраты на оснащение пакета пяти- или трехсторонней обертки — 0,27 чел.-ч, а односторонней — 0,23 чел.-ч.

Хранение пилопродукции эксплуатационной влажности. Пиломатериалы и заготовки эксплуатационной влажности (7—15%) необходимо хранить на закрытых отапливаемых складах, т. к. они могут увеличивать влажность не только вследствие прямого попадания воды на древесину, но и за счет поглощения паров из влажного воздуха. Относительную влажность воздуха на складе поддерживают отопительно-вентиляционной системой или кондиционирующими установками. С учетом верхнего отклонения конечной влажности в партии и гистерезиса сорбции при положительных температурах окружающей среды 10—20° С относительная влажность воздуха на складе не должна превышать указанной в табл. 35.

35. Наибольшая допустимая относительная влажность воздуха на складе

Категория качества сушки	Средняя влажность пилопродукции, %	Длительность хранения, мес		
		до 1	от 1 до 3	свыше 3
I	7	60	53	50
II	10	75	70	65
	7	65	55	50
III	10	80	70	65
	15	90	85	80

Допускается хранение хвойных пиломатериалов и заготовок влажностью 10—15% на неотапливаемом закрытом складе или под пятисторонней оберткой — на открытом складе с ограничением времени хранения до сроков, указанных в табл. 36 [2]. Возможность временного хранения пилопродукции эксплуатационной влажности на неотапливаемых складах открывает широкие возможности для специализации и кооперирования предприятий, позволяет сократить затраты на сушку и хранение. Например, несколько деревообрабатывающих предприятий одного района при хорошем сооб-

36. **Максимальные сроки хранения пилопродукции производственной влажности в месяцах (III категория качества сушки)**

Средняя влажность пилопродукции, %	Месяц укладки на хранение	Климатическая зона			
		I		IV	
		Толщина, мм			
		22	50	22	50
10	Январь	6	7	7	8
	Февраль	5	6	6	7
	Апрель	4	5	5	6
	Май	3	4	4	5
12—15	Январь	7	8	8	9
	Февраль	6	7	7	8
12—15	Апрель	5	6	6	7
	Май	4	5	5	6

щении между ними могут иметь только один лесосушильный цех, а также неотапливаемые склады небольшой вместимости на каждом предприятии. При такой организации сушки необходимо, чтобы высушенный материал попал на следующую технологическую операцию не позднее срока, указанного в табл. 39.

9. ЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Древесина при неправильном хранении и эксплуатации подвержена повреждениям грибами и насекомыми, приводящим к понижению ее качества вплоть до полной потери технической пригодности. Поэтому сейчас, в условиях дефицита лесопродукции, требуется активное внедрение современных методов защиты, а также постоянное их совершенствование.

За последние годы получили дальнейшее развитие методы антисептирования и консервирования. Сущность химической защиты заключается в том, чтобы предупредить появление или активно подавить поселившиеся на древесине грибы и насекомые при помощи химических веществ. Успешно предохранять древесину и деревянные конструкции от преждевременного разрушения или понижения качества способны такие химические вещества, которые одновременно ядовиты (токсичны) и для грибов, и для насекомых. В деревообрабатывающей и строительной промышленности вещества, обеззараживающие лесные материалы от грибной инфекции, принято называть антисептиками.

Для антисептиков устанавливают норму поглощения, выражаемую в килограммах (литрах) на 1 м^3 пропитанных сортиментов, или норму поверхностной обработки, которая обычно выражается в граммах на 1 м^2 обработанной поверхности, либо в литрах на 1 м^3.

Наряду с высокой ядовитостью (по отношению к грибам и насекомым) антисептики должны обладать следующими качествами: 1) сохранять токсичность длительное время после введения в дре-

весину; 2) не оказывать вредного влияния на здоровье людей, соприкасающихся с обработанными лесоматериалами; 3) не ухудшать физико-механических свойств древесины; 4) быть стандартными в производстве и дешевыми.

В отдельных случаях требуется, чтобы антисептик не изменял натурального цвета древесины, не обладал неприятным запахом, не влиял на последующую обработку древесины.

Антисептики. Для обеспечения длительной службы древесины в жестких условиях ее эксплуатации необходимо применение консервирования.

Наиболее известны и достаточно хорошо консервирующие антисептики органического происхождения — каменноугольные и антраценовые масла. Они обладают высокой токсичностью по отношению ко всем дереворазрушающим агентам и практически не вымываются из древесины. Их используют в основном для пропитки шпал и опор линий электропередачи.

Несмотря на то, что эти маслянистые антисептики повышают горючесть древесины и делают ее поверхность темной и грязной, малопригодной к склеиванию и окраске, они не понижают прочности древесины, не корродируют металлы и обладают высокими защищающими свойствами для некоторых тяжелых условий службы.

Из большой группы водорастворимых антисептиков наиболее широкого применения для консервирования древесины заслуживают трудновымываемые хромомедные препараты ХМ-11, ХМ-32 и хлорфенольный ПХФН (пентахлорфенолят натрия).

Препараты на основе группировки ХМ имеют в своем составе хорошо известные бихромат натрия ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$) и сульфат меди ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), применяемые в соотношении 1 : 1 (ХМ-11) и 3 : 2 (ХМ-32). Введенная в древесину, эта пара соединений образует новое, более токсичное, чем каждый из компонентов, соединение, нерастворимое в воде, обеспечивающее необходимую защиту. Эти препараты рекомендуются для защиты древесины, контактирующей с грунтом и водой, например сваи, столбы, оросители градирен и др.

Препараты ХМ корродируют черные металлы. Они быстро растворяются в воде, слегка окрашивают древесину в голубовато-зеленый цвет. Пропитанная ими древесина хорошо склеивается и окрашивается, однако при поглощении свыше 20 кг/м^3 несколько снижается ее механическая прочность.

Пентахлорфенолят натрия (C_6Cl_5ONa) обладает высокими токсическими свойствами к биологическим агентам разрушения древесины. В древесине под действием углекислоты воздуха он превращается в пентахлорфенол, становясь практически невымываемым, и вызывает незначительное потемнение древесины. Однако после пропитки им древесина хорошо склеивается и окрашивается.

Способность ПХФН сорбироваться в поверхностных слоях древесины (3—5 мм глубиной) несколько ограничивает применение этого препарата для глубокой пропитки. Но, несмотря на некоторые недостатки, этот препарат — один из лучших защитных средств

и находит широкое применение при поверхностной защите пиломатериалов и новых конструкций, а также обеспечивает хорошую защиту древесины в конструкциях, когда достаточна неглубокая пропитка.

Кремнефтористый аммоний — КФА [$(NH_4)_2SiF_6$] и фтористый натрий — ФН (NaF) входят в группу водорастворимых вымываемых препаратов. Эти антисептики одинаково высокотоксичны, хорошо проникают в древесину. Они не снижают прочности древесины, не влияют на ее склеиваемость и окрашиваемость, однако усиливают коррозию черных металлов. При отсутствии вымывания при равных поглощениях они обеспечивают достаточную защищенность при консервировании деталей тары, элементов внутренних конструкций, деталей автофургонов, рудничного леса и др.

Органикорастворимые препараты на основе нафтената меди (НМ) обладают достаточно высокой токсичностью ко всем биологическим разрушителям древесины. Токсичность НМ, представляющего собой зеленую пасту, определяется содержанием меди, которое должно быть не менее 9%. Растворителями в этих препаратах служат в основном продукты нефтепереработки, и в зависимости от их свойств различают легкие и маслянистые растворители. Препараты на основе легких растворителей (уайт-спирит, зеленое масло, тракторный керосин) являются легкопроникающими по сравнению с маслянистыми (растворители — дизельное топливо, веретенное масло).

Препараты НМ окрашивают древесину в зеленый цвет, а также изменяют ее способность к склеиванию. Они практически невымываемы, не обладают резким запахом и не пылят. Применяются чаще всего 1—2%-ные по меди растворы.

Химическая защита древесины. При атмосферной сушке, хранении и перевозке пиломатериалов влажностью выше транспортной возможно поражение древесины деревоокрашивающими и плесневыми грибами. Это приводит к ухудшению ее товарного вида и снижению сортности пиломатериалов.

Для предохранения пиломатериалов от поражения деревоокрашивающими и плесневыми грибами применяют антисептирование их водными растворами препаратов ПБТ, пентахлорфенолята натрия или другими водорастворимыми антисептиками, разрешенными Министерством здравоохранения СССР.

Антисептирование дает положительные результаты, если оно проводится не позднее чем через 12 ч после распиловки. Антисептируются пиломатериалы, предназначенные для атмосферной сушки по ГОСТ 3808.1—80, и пиломатериалы, отгружаемые с влажностью выше транспортной, в которых не допускаются или ограничиваются грибные окраски и плесень (ТУ13-316—76 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические требования на продукцию, поставляемую на экспорт»; ГОСТ 9302—77Э «Пиломатериалы хвойных пород черноморской сортировки, поставляемые для экспорта. Технические условия»; ГОСТ 8486—66 «Пиломатериалы хвойных пород»).

В зависимости от климатических зон пиломатериалы антисептируют в сроки, указанные в табл. 37. Эти сроки плановые, фактически они должны охватывать теплый период года, в течение которого среднесуточные температуры превышают +5° С.

37. Сроки антисептирования

Климатические зоны (ГОСТ 3808.1—80)	Период антисептирования	
	начало	конец
1	1—15 мая	1—15 октября
2	15 апреля — 1 мая	1—15 октября
3	1—15 апреля	15—30 октября
4	1—15 апреля	30 октября — 15 ноября

Пиломатериалы антисептируют в плотных пакетах или с прокладками. После антисептирования они имеют светло-желтую окраску, исчезающую по мере просыхания древесины. Антисептированные пиломатериалы сушат по ГОСТ 3808.1—80 «Пиломатериалы хвойных пород. Атмосферная сушка и хранение» или транспортируют по согласованию с заказчиком с влажностью выше транспортной.

Организация участка антисептирования пиломатериалов. Участок антисептирования следует располагать вблизи пакетоформирующей машины или сортировочного устройства для пиломатериалов. На участке необходимо предусмотреть место для размещения пакетов пиломатериалов перед антисептированием и после него для стекания и сбора избыточного раствора.

Установка включает в себя бак с мешалкой, два горизонтальных бака, стабилизатор уровня раствора, ванну и подъемно-транспортный механизм. Бак вместимостью 3—4 м^3 с мешалкой предназначен для приготовления рабочего раствора. Горизонтальные баки вместимостью по 10—12 м^3 служат для хранения раствора на период чистки ванны. Ванну размером 8×2×2 м изготовляют из металла или железобетона. Размеры ее могут изменяться в зависимости от применяемого подъемно-транспортного механизма. В качестве подъемно-транспортных механизмов используют мостовые и железнодорожные краны, автолесовозы, гидроподъемники от автопогрузчиков и другие механизмы. Наиболее рациональна и удобна в эксплуатации установка с применением автолесовоза А-10 или А-210А.

На некоторых лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях внедрены новые линии сортирования пиломатериалов. Антисептирование пиломатериалов на этих предприятиях производится непосредственно в потоке лесопиления.

Установка здесь состоит из закрытой камеры, бака для приготовления раствора антисептика, распылительного насоса, фильтра с перфорированным патроном, распылительного сопла, обрат-

ного клапана, фильтра с щелевым патроном, возвратного насоса, ящика для отходов, емкости для антисептика и поддона.

Раствор антисептика приготовляют в баке с мешалкой. Воду в бак подают из водопроводной линии. Включают мешалку и при непрерывном перемешивании засыпают необходимое количество антисептика. Готовый раствор распылительным насосом через фильтр с перфорированным патроном поступает в распылительные сопла. Во время движения пиломатериалов по цепям сортплощадки происходит их антисептирование.

При дальнейшем движении пиломатериалов избыток раствора антисептика стекает и попадает на поддон, а основное количество антисептика через фильтр с щелевым патроном поступает в бак. Опилки и другой древесный мусор с частью антисептика попадает в ящик сбора отходов. После фильтрации антисептика в ящике для отходов его собирают в емкость и оттуда возвратным насосом вновь подают в распылительные сопла для антисептирования пиломатериалов. По мере наполнения ящика отходами его очищают, а отходы выводят в специальное место, согласованное с органами санитарного надзора.

Антисептические препараты и приготовление водных растворов антисептиков. Для антисептирования пиломатериалов применяют водорастворимые препараты ПБТ (ГОСТ 23951—80) или пентахлорфенолят натрия (ТУ6-04-6—80). Препарат ПБТ представляет собой порошок светло-коричневого цвета, хорошо пересыпающийся и малопылящий. Пентахлорфенолят натрия — порошок (или гранулы) бежево-коричневого цвета.

Для приготовления антисептического раствора бак с мешалкой наполовину заполняют водой. После пуска мешалки высыпают требуемое количество препарата, добавляют воду до получения заданного объема раствора и перемешивают в течение 15—20 мин. Приготовленный рабочий раствор перепускают в ванну. Постоянный уровень раствора в ванне поддерживается стабилизатором поплавкового типа. Приготовление раствора антисептика непосредственно в ванне строго запрещается. Количество антисептика, необходимое для приготовления раствора заданной концентрации:

Концентрация, %	0,5	1,0	1,5	2,0
Потребное количество антисептика, кг на 1000 л раствора	5	10	15	20

Основные факторы, определяющие концентрацию антисептиков (табл. 38) — температура и влажность окружающего воздуха, влажность и скорость сушки древесины. При высоких температурах и низкой влажности окружающего воздуха, а также при низкой влажности пиломатериалов следует применять минимальные концентрации растворов антисептиков, и наоборот.

Расход 1%-ного раствора препарата при пакетном методе обработки составляет 20—50 л, или 200—500 г препарата на 1 м^3 пиломатериалов (табл. 39).

38. Концентрация антисептических растворов в зависимости от породы, климатических зон и применяемых антисептиков

Месяц	Климатическая зона	Концентрация раствора, %			
		ПБТ		пентахлорфенолята натрия	
		1	2	1	2
Апрель	1	1,0	0,5	1,5	1,0
	3	0,5	0,5	1,0	1,0
	4	0,5	0,5	1,0	1,0
Май — июнь	1	1,0	0,5	1,5	1,0
	2	1,0	0,5	1,5	1,0
	3	0,5	0,5	1,0	1,0
	4	0,5	0,5	1,0	1,0
Июль	1	1,5	0,5	2,0	1,0
	2	1,5	1,0	2,0	1,5
	3	1,0	0,5	1,5	1,0
	4	1,0	0,5	1,5	1,0
Август — сентябрь	1	2,0	1,5	2,0	2,0
	2	2,0	1,5	2,0	2,0
	3	1,5	1,0	2,0	1,5
	4	1,5	1,0	2,0	1,5
Октябрь	1	1,5	0,5	2,0	1,0
	2	1,5	0,5	2,0	1,0
	3	2,0	1,0	2,0	1,5
	4	2,0	1,0	2,0	1,5
Ноябрь	4	1,5	1,0	2,0	1,5

Примечания. 1. Для антисептирования пиломатериалов, отгружаемых с влажностью выше транспортной, следует применять растворы 2%-ной концентрации. 2. Цифрой 1 обозначены пиломатериалы сосновые (лиственничные, кедровые), цифрой 2 — еловые (пихтовые).

39. Расход антисептика в зависимости от сечения пиломатериалов

Размеры пиломатериалов, мм		Расход раствора, л/м³	Расход антисептика (сухой соли), г/м³
толщина	ширина		
16	75—180	50—56	500—460
19	75—200	45—42	450—420
25	75—250	40—35	400—350
32	75—250	35—30	350—300
50	100—250	25—20	250—200

Концентрацию растворов препаратов ПБТ и пентахлорфенолята натрия контролируют ареометрическим методом (рис. 21). Из ванны или бака отбирают пробу (около 200 мл) и доводят температуру раствора до 18—20° С. Пробу наливают в стеклянный цилиндр и опускают в него денсиметр со шкалой деления 0,94—1,00 (для растворов концентрацией 0,5—1%) или 1,00—1,06 (для растворов концентрацией 1—2%). Денсиметр должен находиться в центре цилиндра и не касаться стенок. Деление денсиметра, про-

тив которого установился верхний мениск раствора, показывает плотность определяемого раствора.

Требования к антисептированию и контроль качества. Поверхность пиломатериалов должна быть полностью смочена антисептическим раствором. Выдержка в растворе пакета на прокладках должна быть не менее 10 с, плотного пакета — не менее 20 с. Антисептированный пакет следует выдерживать над ванной 10—30 с. После выгрузки из ванны проантисептированные пакеты не менее 3 мин выдерживают на площадке для стекания и сбора избыточного раствора.

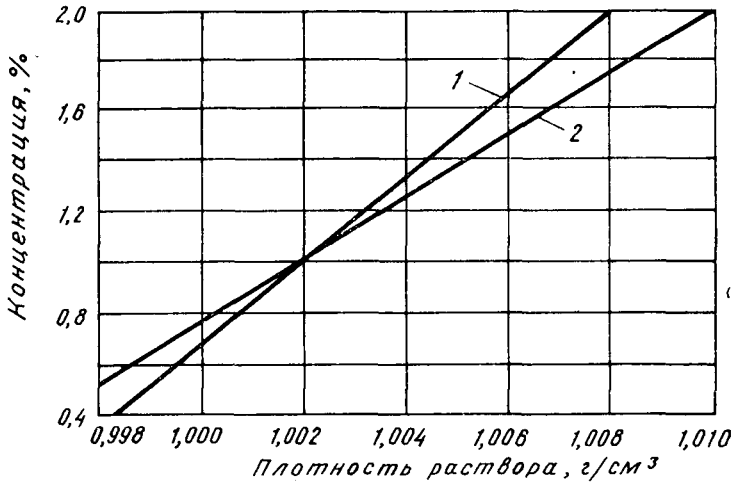


Рис. 21. Определение концентрации растворов по их плотности при $t = 18...20°$ С:
1 — пентахлорфенолята натрия; 2 — ПБТ

Качество антисептирования контролируют по наличию антисептика на поверхности пиломатериалов, используя реакции, дающие цветовое окрашивание с хлорфенольными соединениями, сорбирующимися в поверхностном слое антисептированной древесины. Реагенты наносят на небольшой участок доски (8—10 см по всей ширине). Рекомендуется наносить реагенты на участок доски, который был меньше подвержен действию ветра, осадков и ультрафиолетовых лучей (в местах прокладок, соприкосновения досок и т. п.). В качестве реагентов используют буферные растворы 4-аминоантипирина, железосинеродистого калия с pH 6,9.

На поверхность доски реагенты наносят пульверизатором с интервалом 3 мин в такой последовательности: 1) буферный раствор с pH 6,9; 2) 0,2%-ный раствор 4-аминоантипирина; 3) 10%-ный раствор железосинеродистого калия. После нанесения реагентов антисептированная древесина окрашивается в зеленый цвет, неантисептированная — в желтый.

Пропитка сырых пиломатериалов быстродиффундирующими антисептиками. Пропитке быстродиффундирующими борсодержащими антисептиками подлежат сырые свежевыпиленные пиломатериалы, идущие на изготовление строительных конструкций, защитная обработка которых обусловлена требованиями заказчика.

При пропитке сырых пиломатериалов быстродиффундирующими борсодержащими антисептиками в рабочие растворы добавляют пентахлорфенолят натрия (1% массы раствора), что позволяет защитить пиломатериалы одновременно от поражения деревоокрашивающими и дереворазрушающими грибами.

Цикл пропитки состоит из двух фаз: а) нанесения раствора антисептика на поверхность пиломатериалов; б) выдержки обработанных пиломатериалов в условиях их первоначальной влажности и проникновения антисептика в глубь древесины.

Антисептические препараты и приготовление растворов. Для диффузионной пропитки сырых пиломатериалов применяют водорастворимый борсодержащий антисептик ББК-3. Препарат представляет собой смесь буры и борной кислоты в определенных соотношениях. Препарат приготовляют на месте производства работ в виде раствора. Растворимость его в воде в пересчете на борную кислоту с повышением температуры увеличивается. Так, при 40° С растворяется около 20%, при 60—70° С — 40—50%. Обладает высокой диффузионной способностью, однако легко вымывается из древесины. Препарат наиболее безвреден для людей и теплокровных животных и рекомендуется для обработки изделий, соприкасающихся с продуктами, и пищевой тары.

Для приготовления рабочих растворов используют воду из заводских водопроводных магистралей. Реактор наполовину заполняют водой, подогретой до 30—40° С. После пуска мешалки в бак засыпают требуемое количество пентахлорфенолята натрия и раствор перемешивают в течение 5—10 мин. Затем температуру раствора повышают до 80—90° С и в бак засыпают заданное количество борсодержащего препарата. Полученную смесь перемешивают 10—15 мин. Приготовленный раствор перепускают в ванну до заданного уровня. Уровень раствора должен обеспечивать полное погружение пакета.

Укладка пиломатериалов на период диффузии и сроки выдержки их в плотных пакетах. Для проникновения препарата в древесину необходимым условием является сохранение первоначальной влажности пиломатериалов. Для этого пропитанные пиломатериалы должны быть уложены по сечениям в плотные пакеты или штабеля. Для предотвращения высыхания пакеты пиломатериалов со всех сторон закрывают брезентом, обшивают досками, обертывают пленками или помещают на вентилируемые склады.

Скорость диффузии борсодержащих препаратов в древесину зависит от влажности древесины (заболони и ядра), толщины пиломатериалов, температуры окружающего воздуха и т. д. Основное влияние на диффузию оказывают толщина пиломатериалов и температура окружающего воздуха.

Контроль качества пропитки. Качество пропитки характеризуется глубиной проникновения препарата, определяемой на срезах пиломатериалов путем нанесения индикатора. Индикатор состоит из двух реактивов: реактива А — 10%-ного спиртового экстракта куркумина и реактива Б — раствора, содержащего 20 мл соляной кислоты плотностью 1,19, разведенной в 100 мл насыщенного салициловой кислотой этилового спирта.

Из доски на расстоянии 150 мм от торца выпиливают образец длиной 10—20 мм и высушивают до влажности 20—25%. Затем его распиливают пополам с чистотой поверхности распила по 5 классу шероховатости. На поверхность распила сразу же наносят пульверизатором сначала раствор А и через 10 мин — раствор Б. В течение последующих 10 мин пропитанная зона древесины постепенно приобретает красный цвет. Через 20 мин после нанесения индикатора Б карандашом очерчивают пропитанную зону и определяют глубину проникновения препарата и полноту пропитки.

Пропитанные пиломатериалы подвергаются атмосферной или камерной сушке. Способ сушки определяется условиями поставки.

Способы глубокой пропитки. Различными способами консервирования антисептики вводятся в древесину на бо́льшую глубину (более 1 мм), чем при поверхностной обработке (менее 1 мм), и при этом достигается заданная глубина проникновения и равномерное распределение антисептика в древесине.

Пропитку древесины способами, основанными на глубоком проникновении антисептика, можно разделить на две подгруппы: способы, связанные с диффузным проникновением антисептика в древесину, и способы, связанные преимущественно с капиллярным проникновением антисептика в древесину. Из способов, основанных на капиллярном проникновении, необходимо указать пропитку вымачиванием, пропитку в холодной ванне с предварительным прогревом (ПРХВ), пропитку под атмосферным давлением (ВАДВ) и по способу вакуум — давление — вакуум (ВДВ).

Технология защитной обработки. Методы вымачивания. Вымачивание — наиболее простой и доступный способ пропитки, когда требуется за сравнительно небольшие сроки достигнуть относительно невысокого уровня защищенности (поглощение около 50 л/м^3). Применяют его для пропитки небольших партий древесины на предприятиях и строительствах, не обеспеченных пропиточными установками. Этим способом пропитывают обычно сухую древесину влажностью не более 25% в закрытых металлических или деревянных ваннах. Продолжительность выдержки в каждом отдельном случае устанавливают опытным путем, определяя глубину пропитки на контрольных образцах. В среднем глубина пропитки по заболони водорастворимыми антисептиками — не более 1 м в сутки. Глубина пропитки растворами нафтената меди в тракторном керосине, дизельном топливе или в смеси зеленого масла с уайт-спиритом в среднем 2—3 мм/ч.

Способ прогрев — холодная ванна. Механизм пропитки по способу прогрев—холодная ванна (ПРХВ) заключается

в том, что при нагреве в древесине размягчаются смолистые и некоторые другие вещества и возникает избыточное давление, в результате которого паровоздушная смесь частично вытесняется из материала. А при охлаждении древесины, напротив, в ней возникает разрежение, вызываемое конденсацией пара, и раствор за счет разности давлений всасывается в материал.

Способ вакуум — атмосферное давление — вакуум. Более производителен и безопасен способ пропитки, обеспечивающий такое же проникновение защитного средства,— пропитка древесины под атмосферным давлением после выдержки ее под вакуумом (ВАДВ). Процесс заключается в следующем: загруженные в автоклав пиломатериалы или детали вакуумируются (0,075—0,09 МПа) на 10—15 мин. Затем при неснижающемся вакууме автоклав заполняют пропиточной жидкостью и снимают вакуум. Пропитываемый материал выдерживают в пропиточной жидкости при атмосферном давлении в течение 5—30 мин. За счет перепада давлений жидкость проникает в древесину. По достижении заданного поглощения жидкость удаляют из автоклава и на 10—15 мин создают в нем вторичный вакуум (0,08 МПа) для осушения пропитываемых материалов. Весь цикл пропитки, включая загрузку и выгрузку, около 1 ч.

При пропитке водорастворимыми антисептиками глубина пропитки достигает по заболони 5 мм, а органикорастворимыми — 10 мм и более, причем глубина проникновения в ядро около 2 мм.

Способ вакуум — давление — вакуум. Для введения в древесину максимального количества пропиточной жидкости на наибольшую глубину используют пропитку в автоклавах под давлением выше атмосферного — вакуум — давление — вакуум (ВДВ). Этот способ предназначен для древесины сухой или подсушенной непосредственно перед пропиткой. При незначительных затратах времени и относительно небольшой энергоемкости он позволяет вводить требуемые количества антисептика на большую глубину, а также дает возможность регулировать поглощение раствора.

Этот способ универсален для водорастворимых антисептиков, т. к. поглощение соли легко регулировать изменением концентрации раствора. Глубина пропитки по способу ВДВ зависит от проницаемости самой древесины. Пропитка производится раствором комнатной температуры (18—25° С).

При пропитке этими способами труднопропитываемой и неподсушенной древесины, а также для сокращения общей продолжительности цикла пропитки допускается применять предварительное накалывание сортиментов. Накалывание древесины целесообразнее проводить до сушки древесины, снижая при этом ее растрескивание и коробление.

Для пропитки древесины широкое применение нашел препарат ХМ-11, растворимость которого в воде при 20° С — 15%. Препарат относится к типу невымываемых антисептиков, фиксируется в древесине в среднем на 84—90%. Для пропитки применяют водные растворы препарата 3—10%-ных концентраций. Древесина, пропи-

танная препаратом ХМ-11, приобретает светло-зеленую окраску, стойка к биологическим агентам разрушения, не оказывает значительного действия на корродирование металлов, контактирующих с пропитанной древесиной, склеивается и окрашивается, не ядовита и не вредна для человека и животных.

Подготовка к пропитке и приготовление рабочего раствора. Влажность пропитываемой древесины должна соответствовать эксплуатационной, но не превышать 30%. Для каждой пропитываемой партии необходимо подбирать заготовки и детали одинаковой толщины. Круглые лесоматериалы нужно окаривать с тщательным снятием луба.

Механическую обработку материалов производят до пропитки. В случае необходимости ее проводят после пропитки, при этом обнажающуюся непропитанную поверхность обрабатывают раствором антисептика 10—15%-ной концентрации малярным способом.

В бак вливают необходимое количество воды, засыпают требуемое количество компонентов. Раствор тщательно перемешивают. Количество компонентов q, кг, в зависимости от концентрации и объема раствора вычисляют по формуле

$$q = V c k/(100 \cdot 100),$$

где V — количество раствора, л; c — концентрация раствора, %; k — содержание данного компонента в препарате, %.

Концентрацию раствора определяют следующим образом: пробу раствора отбирают в колбу, фильтруют, доводят температуру фильтрата до 20° С. После этого ареометром определяют плотность раствора, по которому, пользуясь графиком (рис. 22), находят концентрацию раствора в процентах. Если концентрация раствора

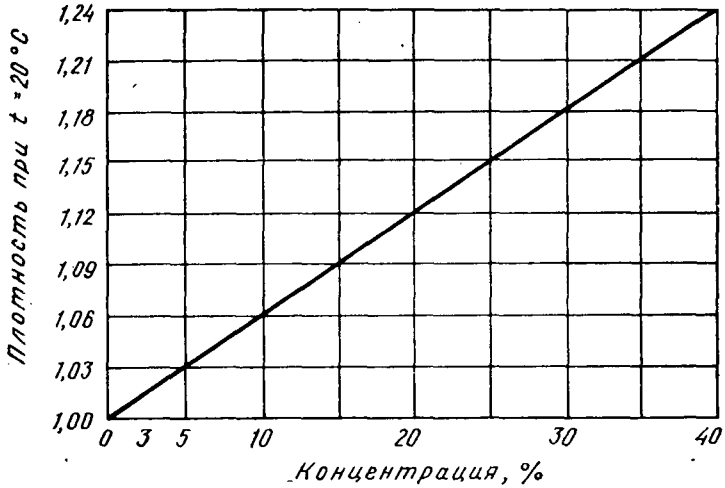


Рис. 22. Определение концентрации раствора ХМ-11 по его плотности

ниже требуемой, добавляют антисептик. Количество добавляемых компонентов N, кг, рассчитывают по формуле

$$N = V k (c - c_1) (100 \cdot 100),$$

где V — объем раствора, к которому добавляют антисептик, л; c — заданная концентрация раствора, %; c_1 — концентрация раствора, найденная по удельному весу, %; k — содержание компонента в препарате, %.

Пропитка под давлением. Такая пропитка осуществляется в соответствии с действующими инструкциями и правилами техники безопасности по методу вакуум — давление — вакуум в установках обычного типа, предназначенных для водных растворов.

Подлежащие пропитке детали и узлы загружают в автоклав, укладывая на прокладки. В автоклаве создают вакуум глубиной 0,07—0,085 МПа. По окончании вакуумирования в автоклав под давлением 0,8—1,4 МПа вводят раствор антисептика. После снятия давления раствор антисептика из цилиндра удаляют и на короткий срок (5—10 мин) создают конечный вакуум для извлечения из древесины избыточного количества антисептика.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Богданов Е. С., Козлов В. А., Пейч Н. Н.** Справочник по сушке древесины. М., 1981. 192 с.
2. **Добрынин С. В., Кулакова В. В.** Хранение сухих пиломатериалов в естественных условиях.— Деревообрабатывающая промышленность, 1980, № 2, с. 3—4.
3. **Серговский П. С.** Оборудование гидротермической обработки древесины. М., 1981. 304 с.
4. **Соколов П. В., Харитонов Г. Н., Добрынин С. В.** Лесосушильные камеры. М., 1980. 216 с.
5. **Руководящие материалы** по камерной сушке пиломатериалов. Архангельск, 1982. 94 с.
6. **Рекомендации** по хранению и отгрузке пакетированных пиломатериалов в водонепроницаемых обертках. Архангельск, 1977. 14 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ
3
1. СРЕДА И МАТЕРИАЛ. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ
4
2. АТМОСФЕРНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
18
3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР
25
4. ФОРМИРОВАНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА СУШИЛЬНЫХ ШТАБЕЛЕЙ
39
5. РЕЖИМЫ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
43
6. ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ
48
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ КАМЕРНОЙ СУШКИ
53
8. ХРАНЕНИЕ ВЫСУШЕННЫ
64
9. ЗАЩИТНАЯ ОБРАБО
69
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕ
80