



Е.Е. Шишкина

ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И КОНСЕРВИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

Екатеринбург
2015

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет среднего профессионального образования

Е.Е. Шишкина

ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И КОНСЕРВИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсового проекта
для обучающихся по специальности
35.02.03 «Технология деревообработки»
очной и заочной форм обучения

Екатеринбург
2015

Печатается по рекомендации цикловой комиссии технологических дисциплин факультета среднего профессионального образования.

Протокол № 2 от 9 сентября 2014 года.

Рецензент – зав. кафедрой автоматизации производственных процессов УГЛТУ, д-р техн. наук, профессор А.Г. Гороховский

Редактор Е.А. Назаренко

Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

Подписано в печать 02.10.15

Плоская печать

Заказ №

Формат 60×84 1/16

Печ. л. 2,79

Поз. 115

Тираж 10 экз.

Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ

Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект выполняется студентами на 2 курсе для закрепления теоретических знаний, полученных в результате изучения дисциплины «Гидротермическая обработка и консервирование древесины».

Камерная сушка древесины является одним из самых важных процессов гидротермической обработки древесины, поэтому в качестве темы для курсового проекта рекомендуется проект сушильного цеха для пиломатериалов.

В пособии дана методика расчётов при проектировании сушильных камер периодического действия, получивших наибольшее распространение на деревообрабатывающих производствах, а также цехов на базе этих камер.

Для выполнения проекта составляется задание на проектирование, которое выдаётся индивидуально каждому обучающемуся.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части на листах формата А1 (594×841). Количество листов определяется руководителем проекта.

Расчетно-пояснительная записка включает в себя введение, технологический, тепловой (укрупнено) расчеты и описание технологического процесса сушки пиломатериалов с указанием применяемого оборудования.

Во введении расчетно-пояснительной записки курсового проекта должно быть отражено состояние и перспективы развития техники и технологии камерной сушки пиломатериалов, техническая характеристика и описание сушильной камеры, устанавливаемой в цех.

На листе графической части вычерчивается планировка сушильного цеха с обслуживающими и бытовыми помещениями, применяемое оборудование для формирования и расформирования штабелей пиломатериалов, средств передвижения штабелей от места формирования на склад сырых пиломатериалов или в сушильную камеру и к месту разборки сухих штабелей.

Защита курсового проекта должна быть индивидуальной и заключаться в кратком докладе автора по теме. На защите задаются вопросы по методике расчетов, по разделам проекта, выбору режима сушки, погрузочно-разгрузочных механизмов и описанию технологического процесса сушки пиломатериалов.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

1.1. Определение режима сушки пиломатериалов

Режимом сушки называется расписание параметров сушильного агента.

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству древесины, пиломатериалы могут высушиваться режимами различных категорий по температурному уровню (мягкие, нормальные, форсированные).

Категория режима сушки определяется исходя из возможностей проектируемой камеры, а именно максимальной температуры в рабочем пространстве камеры (см. задание). При этом

$$t_3 \leq t_{\max}, \quad (1.1)$$

где t_3 – температура III ступени режима сушки пиломатериалов, °С;

t_{\max} – максимальная температура в рабочем пространстве камеры, °С.

Максимально возможная температура в рабочем пространстве камеры зависит от вида теплоносителя, применяемого при сушке пиломатериалов.

При выборе режима сушки пиломатериалов, при прочих равных условиях, нужно придерживаться *принципа эффективности*, т.е. выбирать такой режим, который обеспечит необходимое качество сушки при меньшей её продолжительности.

Режимы сушки пиломатериалов различных пород приведены в прил. 1–8. В случае если максимальная температура рекомендованного режима превышает возможности проектируемой камеры, следует выбрать более мягкий режим для той же породы, т.е. режим, рекомендованный для тех же условий, но для более толстых досок.

Выбранные режимы сушки для пиломатериалов, указанных в задании, следует представить в виде табл. 1.1.

Таблица 1.1

Режимы сушки

Порода	Толщина пиломатериала, мм	Номер и индекс режима	Номер ступени режима	Изменение влажности древесины на каждой ступени, %	Параметры режима		
					t, °С	Δt , °С	φ
<i>Пример заполнения</i>							
Сосна	40	5-М	1	60...35	55	4	0,81
			2	35...20	58	7	0,69
			3	20...8	75	24	0,30
Бук	50	6-Б	1	70...30	57	3	0,85
			2	30...20	61	6	0,74
			3	20...8	77	22	0,34

1.2. Определение продолжительности сушки в камерах периодического действия при низкотемпературном процессе

Общая продолжительность сушки (включая длительность начального прогрева и влаготеплообработки), определяется по выражению

$$\tau_{суш} = \tau_{исх} A_p A_{ц} A_{в} A_{к} A_{д}, \quad (1.2)$$

где $\tau_{исх}$ – исходная продолжительность сушки пиломатериалов заданной породы, толщины и ширины нормальным режимом в камерах с принудительной реверсивной циркуляцией средней интенсивности (расчетная скорость воздуха 1 м/с, ширина штабеля 1,5–2,0 м), от начальной влажности 60 % до конечной влажности 12 %. Величина $\tau_{исх}$, час, определяется по прил. 9.

Коэффициент A_p учитывает жесткость применяемого режима сушки и составляет:

- для мягких режимов $A_p = 1,7$;
- нормальных режимов $A_p = 1,0$;
- форсированных режимов $A_p = 0,8$.

Коэффициент $A_{ц}$ учитывает характер и интенсивность циркуляции воздуха в камере и может быть определен по табл. 1.2 в зависимости от величины произведения $\tau_{исх} A_p$ и скорости циркуляции $\omega_{ц}$.

Коэффициент $A_{в}$, зависящий от начальной W_n и конечной W_k влажности пиломатериалов, определяется по табл. 1.3.

Коэффициент $A_{к}$, учитывающий длительность влаготеплообработки и кондиционирования древесины в камере, имеет следующие значения:

- для I категории качества сушки – 1,15;
- II категории качества сушки – 1,1;
- III категории качества сушки – 1,1;
- 0 категории качества сушки – 1.

Коэффициент $A_{д}$ для пиломатериалов принимается равным $A_{д} = 1,0$.

Таблица 1.2

Значение коэффициента $A_{ц}$ для камер с реверсивной циркуляцией

Произведение $\tau_{исх} A_p$, ч	Скорость циркуляции, $\omega_{ц}$, м/с			
	1,0	1,50	2,0	2,50
20	1,0	0,78	0,63	0,54
40	1,0	0,81	0,67	0,59
60	1,0	0,84	0,71	0,64
80	1,0	0,85	0,76	0,72
100	1,0	0,88	0,81	0,79
140	1,0	0,92	0,91	0,90
180	1,0	0,96	0,95	0,94
220 и более	1,0	0,99	0,98	0,97

Таблица 1.3

Значения коэффициента A_B

Начальная влажность, W_n , %	Конечная влажность, W_k , %						
	20	18	15	12	10	8	7
90	0,93	1,00	1,20	1,25	1,36	1,51	1,58
80	0,86	0,93	1,05	1,18	1,29	1,43	1,51
70	0,78	0,84	0,96	1,10	1,21	1,35	1,43
65	0,74	0,80	0,90	1,05	1,16	1,30	1,38
60	0,68	0,75	0,87	1,00	1,11	1,25	1,33
55	0,63	0,69	0,81	0,94	1,06	1,20	1,28
50	0,57	0,63	0,75	0,89	1,00	1,14	1,22
45	0,50	0,57	0,68	0,82	0,93	1,07	1,15
40	0,43	0,49	0,61	0,75	0,86	1,00	1,08

1.3. Пересчёт объёма фактического пиломатериала в объём условного материала

Поскольку производительность сушильных камер зависит от характеристики подлежащего сушке материала, для планирования и учёта их работы установлена учётная единица – 1 м^3 условного материала.

Таким образом, как правило, при планировании работы сушильных цехов и расчёте производительности сушильных камер весь объём подлежащего сушке пиломатериала необходимо перевести в объём условного материала.

Условному материалу эквивалентны сосновые обрезные доски толщиной 40 мм, шириной 150 мм, длиной более 1 м, высушиваемые по II категории качества от начальной влажности 60 % до конечной 12 %.

Объём подлежащего сушке пиломатериала заданной спецификации Φ (м^3) пересчитывается в объём условного материала $У$ (м^3 усл.) по формуле

$$У = \Phi K, \quad (1.3)$$

где Φ – объём подлежащих сушке фактических пиломатериалов данного размера и породы (задаётся в спецификации), м^3 ;

K – коэффициент пересчёта.

$$K = K_\tau K_E, \quad (1.4)$$

где K_τ – коэффициент продолжительности оборота камеры;

K_E – коэффициент ёмкости (вместимости) камеры.

$$K_{\tau} = \frac{\tau_{об.ф}}{\tau_{об.усл}}, \quad (1.5)$$

где $\tau_{об.ф}$ – продолжительность оборота камеры при сушке фактического пиломатериала данного размера и породы, сут.;

$\tau_{об.усл}$ – продолжительность оборота камеры при сушке условного материала, сут.

Для камер периодического действия

$$\tau_{об.ф} = \tau_{суш.ф} + \tau_{загр}, \quad (1.6)$$

$$\tau_{об.усл} = \tau_{суш.усл} + \tau_{загр}, \quad (1.7)$$

где $\tau_{суш}$ – продолжительность процесса сушки фактического (условного) пиломатериала, сут. (определяется по формуле 1.2);

$\tau_{загр}$ – время загрузки и разгрузки камеры (можно принять 0,1 сут).

Коэффициент ёмкости (вместимости) камеры определяется отношением коэффициентов объёмного заполнения штабеля условным $\beta_{усл}$ и фактическим материалом $\beta_{ф}$

$$K_E = \frac{\beta_{усл}}{\beta_{ф}}. \quad (1.8)$$

Коэффициент $\beta_{усл}$ или $\beta_{ф}$ равен произведению коэффициентов заполнения штабеля по длине $\beta_{д}$, ширине $\beta_{ш}$ и высоте $\beta_{в}$. С учётом объёмной усушки пиломатериалов Y_0 величина $\beta_{усл}$ или $\beta_{ф}$ находится по формуле

$$\beta = \beta_{д}\beta_{ш}\beta_{в} \frac{100 - Y_0}{100}, \quad (1.9)$$

где $\beta_{д}\beta_{ш}\beta_{в}$ – линейные коэффициенты заполнения штабеля по длине, ширине и высоте соответственно;

Y_0 – объёмная усушка древесины, %.

Объёмную усушку определяют по формуле

$$Y_0 = k_v(W_{ном} - W_{к}), \quad (1.10)$$

где k_v – коэффициент объёмной усушки древесины (прил. 10);

$W_{ном}$ – влажность, для которой устанавливают номинальные размеры по толщине и ширине пиломатериалов, %, (можно принять $W_{ном} = 20$ %);

$W_{к}$ – конечная влажность пиломатериалов, %.

Коэффициент заполнения по длине штабеля $\beta_{д}$ показывает отношение средней длины уложенных в штабель пиломатериалов $L_{ср}$ к его длине L .

$$\beta_o = \frac{L_{cp}}{L}. \quad (1.11)$$

Для штабеля пиломатериалов различной длины можно принять $\beta_o = 0,85$. Если длина всех досок в штабеле одинакова ($L_{cp} = L$), то $\beta_o = 1,0$.

Коэффициент заполнения по ширине $\beta_{ш}$ – это отношение суммарной ширины пиломатериалов в горизонтальном ряду штабеля к его ширине. Он зависит от вида пиломатериалов и способа укладки.

Пиломатериал укладывают в штабель *со шпациями* (расстояниями между досками по ширине штабеля) при естественной циркуляции агента сушки по штабелю, а также и при атмосферной сушке. Во всех остальных случаях пиломатериал в штабель укладывают *без шпаций*. Примеры укладки пиломатериалов в штабель показаны на рис. 1.

Рекомендуемые для расчетов средние значения $\beta_{ш}$ приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Значения коэффициента заполнения штабеля по ширине ($\beta_{ш}$)

Способ укладки	Вид пиломатериалов	
	Обрезные	Необрезные
Со шпациями	0,65	0,43
Без шпаций	0,90	0,60

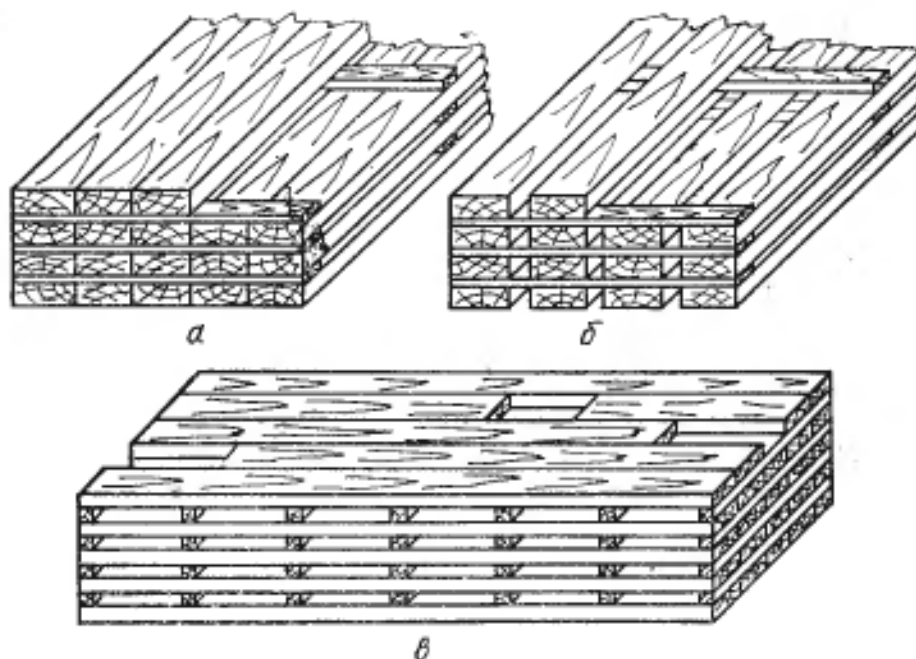


Рис. 1.1. Примеры укладки пиломатериалов в штабеля: без шпаций (а), со шпациями (б), досок разной длины (в)

Коэффициент заполнения штабеля по высоте β_e характеризует отношение суммарной толщины пиломатериалов в вертикальном ряду штабеля к его высоте.

$$\beta_e = \frac{S_1}{S_{np} + S_1}, \quad (1.12)$$

где S_1 – толщина пиломатериалов, мм;

S_{np} – толщина прокладок, мм.

Наиболее часто применяемая толщина прокладок составляет 25 мм.

Если в спецификации на сушку мы имеем несколько пород и типоразмеров пиломатериалов, то для учёта общего количества высушиваемого пиломатериала при планировании работы сушильного цеха и расчёте производительности сушильных камер необходимо объём пиломатериалов из каждого пункта спецификации перевести в объём условного материала, а затем сложить их, получив общий объём условного материала ΣV , высушиваемого в цехе (камере) в расчётный период.

$$\Sigma V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n, \text{ м}^3 \text{ усл.} \quad (1.13)$$

1.4. Расчёт производительности сушильных камер

Производительность сушильных камер зависит от породы древесины, начальной и конечной влажности, применяемого режима сушки, а также от размеров подлежащих сушке пиломатериалов.

При проектировании принято устанавливать производительность камеры в год, $\text{м}^3/\text{год}$.

$$P_{\text{усл}} = \frac{T}{\tau_{\text{об.усл}}} E_{\text{усл}}, \quad (1.14)$$

где T – период времени, за который определяется производительность, сут.;

$\tau_{\text{об.усл}}$ – продолжительность оборота камеры при сушке пиломатериалов, сут., определяется по формуле 1.7;

$E_{\text{усл}}$ – ёмкость (вместимость) камеры в условном материале, м^3 .

С учётом необходимости технического обслуживания и ремонта камер количество дней работы камер в году составит

$$T = 365k_{uc} = 365 \cdot 0,92 = 335 \text{ сут.}, \quad (1.15)$$

где k_{uc} – коэффициент технического использования камер.

Ёмкость (вместимость) камеры E , м^3 усл, рассчитывается по выражению

$$E_{\text{усл}} = LBH\beta_{\text{усл}}m, \quad (1.16)$$

где L, B, H – размеры штабеля (длина, ширина, высота), м;

$\beta_{усл}$ – объемный коэффициент заполнения штабеля условным материалом (формула 1.9);

m – число штабелей в камере.

Габаритные размеры штабелей и их количество зависят от технической характеристики сушильной камеры.

Производительность сушильной камеры принято определять в условных материалах, но при необходимости она может быть определена и в фактических пиломатериалах при подставлении в формулу 1.14 соответствующих значений продолжительности сушки и вместимости камеры.

Количество сушильных камер, необходимых для обеспечения сушки за расчётный период всех пиломатериалов из спецификации, рассчитывают по формуле

$$N = \frac{\Sigma U}{\Pi_{усл}}, \text{ шт.} \quad (1.17)$$

Получившееся значение округляют до целого числа в большую сторону.

2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ (сокращенный)

Цель теплового расчета – определение затрат теплоты на сушку пиломатериалов, расходов теплоносителя и воздуха, выбор типа и расчет параметров нагревательных устройств.

2.1. Выбор расчетного материала

Производительность теплового и циркуляционного оборудования, системы воздухообмена камеры должна обеспечивать требуемые технологические режимы сушки любого из имеющихся в спецификации материала. И хотя пиломатериалы, подлежащие сушке, обычно отличаются размером, влажностью, назначением, породой, нет необходимости в тепловом расчете относительно каждого из них.

В качестве расчетного достаточно выбрать один из входящих в спецификацию материалов, сушка которого потребует максимальных расходов тепловой энергии, агента сушки и свежего воздуха. Соответственно этим нагрузкам производится расчет теплового оборудования, систем воздухообмена и циркуляции.

Тепловая мощность камеры в значительной степени зависит от интенсивности сушки. Чем интенсивнее сушка, тем большей должна быть и тепловая мощность камеры. Поэтому тепловой расчет проводится относительно наиболее быстросохнущего (сравнивают продолжительности сушки) из имеющихся в спецификации материалов. Его и выбирают в качестве расчетного.

2.2. Определение количества испаряемой из материала влаги

Количество влаги, испаряемой из древесины, устанавливают на единицу объема высушиваемого материала за период оборота камеры и в единицу времени.

Массу влаги, испаряемой из 1 м³ расчётного пиломатериала за весь цикл сушки, кг/м³, рассчитывают как

$$M_{1\text{м}^3} = \rho_{\text{баз}} \frac{(W_n - W_k)}{100}, \quad (2.1)$$

где $\rho_{\text{баз}}$ – базисная плотность расчётного материала, кг/м³, (прил. 10);

W_n, W_k – соответственно, начальная и конечная влажность расчётного материала, %.

Количество влаги, кг, испаряемой за время одного оборота камеры, определяют по формуле

$$M_{\text{об.к}} = M_{1\text{м}^3} E_k, \quad (2.2)$$

где E_k – вместимость камеры в расчетном материале, м³.

Среднечасовое количество испаряемой в камере влаги, кг/ч, определяется как

$$M_{\text{ср.ч}} = \frac{M_{\text{об.к}}}{\tau_{\text{суш}}}, \quad (2.3)$$

где $\tau_{\text{суш}}$ – продолжительность сушки расчетного материала, ч.

Кроме того, для камер периодического действия определяется расчетное количество испаряемой влаги, M_p , кг/ч, с помощью которого учитывают неравномерность удаления влаги в различные периоды сушки.

$$M_p = M_{\text{ср.ч}} \chi, \quad (2.4)$$

где χ – коэффициент неравномерности скорости сушки, принимаемый в зависимости от значения конечной влажности древесины:

при $W_k = 12 - 15 \%$ $\chi = 1,2$;

при $W_k < 12 \%$ $\chi = 1,3$.

2.3. Расчётные параметры сушильного агента

Для последующих расчётов требуется знать значения параметров сушильного агента на входе его в штабель, на выходе из штабеля, а также параметры свежего приточного воздуха.

Известно, что процесс сушки в камере периодического действия может быть охарактеризован как процесс с многократной циркуляцией агента сушки по штабелю (рис. 2.1). То есть нагретый калорифером воздух (1) проходит через штабель, испаряет из него влагу и на выходе (2) может быть частично удалён из камеры через вытяжные каналы (2'), и тогда в камеру поступает свежий приточный воздух (0) (через приточные каналы), который образует смесь с отработанным воздухом (3), который, проходя

через калорифер, вновь приобретает состояние (1). Такая схема циркуляции воздуха в камере позволяет поддерживать заданные режимные параметры.

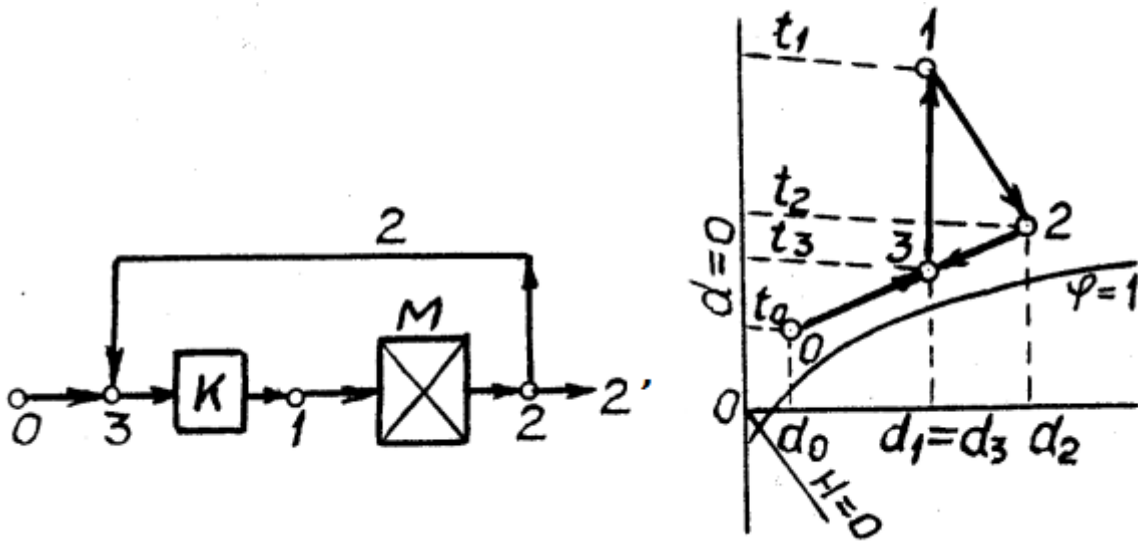


Рис. 2.1. Схема циркуляции агента сушки в камере с многократной циркуляцией

Таким образом, согласно схеме на рис. 2.1, в дальнейших расчётах рекомендуется принять следующие индексы к определяемым параметрам:

- 1 – параметры агента сушки на входе в штабель;
- 2 – параметры агента сушки на выходе из штабеля;
- 0 – параметры свежего приточного воздуха.

2.3.1. Определение параметров агента сушки на входе в штабель

Состояние среды на входе в штабель высушиваемого материала ($t, \Delta t, \varphi$) регламентируется выбранным режимом сушки (см. табл. 1.1).

Режимы сушки пиломатериалов в камерах периодического действия многоступенчатые, с параметрами агента сушки, отличающимися на каждой из ступеней. При низкотемпературном процессе для расчёта рекомендуется принимать параметры агента сушки по II (средней) ступени режима.

Данные, взятые из режима сушки, вносятся в таблицу (табл. 2.1).

Кроме параметров, установленных в режиме ($t, \Delta t, \varphi$), для дальнейших расчётов необходимо определить также влагосодержание (d_1 , г/кг сух. воздуха), теплосодержание (энтальпию) воздуха (I_1 , кДж/кг исп. влаги), его плотность (ρ_1 , кг/м³) и приведённый удельный объём (V_{np1} , м³/кг сух. воздуха). Перечисленные параметры могут быть найдены по $I-d$ -диаграмме влажного воздуха (рис. 2.2, прил. 11), или можно воспользоваться формулами, приведёнными ниже. Полученные значения также заносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Расчётные параметры сушильного агента на входе в штабель

Степень режима	Переходная влажность, %	$t_1, ^\circ\text{C}$	φ_1	$\Delta t_1, ^\circ\text{C}$	$t_{н1}, ^\circ\text{C}$	$d_1, \text{г/кг}$	$I_1, \text{кДж/кг}$	$\rho_1, \text{кг/м}^3$	$V_{нп1}, \text{м}^3/\text{кг}$

$$d_1 = 622 \frac{\varphi_1 P_{н.1}}{P_a - \varphi_1 P_{н.1}}, \quad (2.5)$$

где φ_1 – степень насыщенности агента сушки;

P_a – атмосферное давление воздуха (0,1 МПа);

$P_{н1}$ – давление насыщения водяного пара при расчетной температуре воздуха, Па, (прил. 12).

$$I = t_1 + 0,001d_1(1,93t_1 + 2490), \quad (2.6)$$

$$\rho = \frac{349 - 132 \left(\frac{d_1}{622 + d_1} \right)}{273 + t_1}. \quad (2.7)$$

$$V_{нп1} = 4,62 \cdot 10^{-6} (273 + t_1)(622 + d_1). \quad (2.8)$$

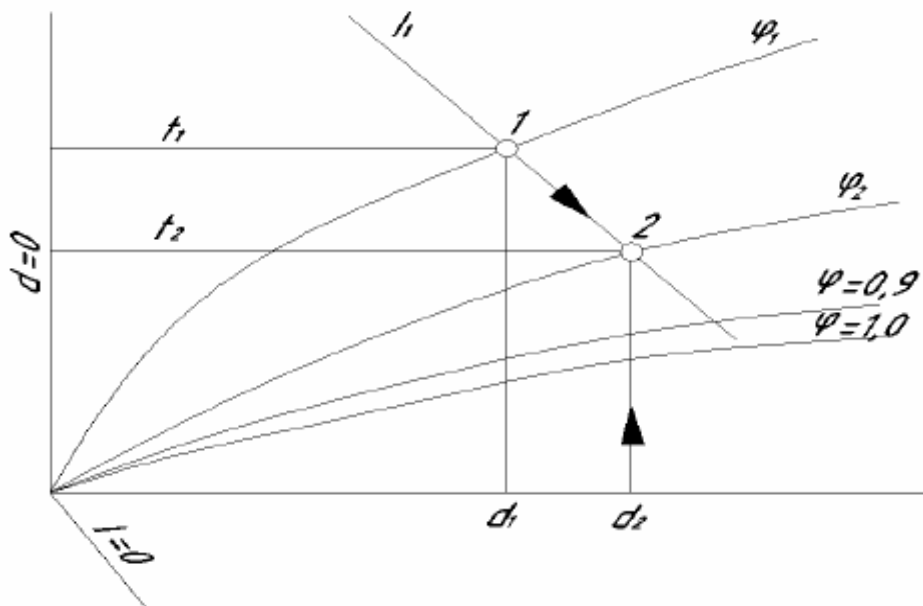


Рис. 2.2. Схема построения теоретического процесса сушки на Id-диаграмме

2.3.2. Определение количества циркулирующего в камере сушильного агента

Для камер периодического действия расчет проводят следующим образом.

Определяют объем циркулирующего в штабеле (штабелях) агента сушки $V_{ум}$, м³/ч

$$V_{ум} = 3600m\omega_{ум}F_{ж.с.ум}, \quad (2.9)$$

где $F_{ж.с.ум}$ – площадь живого сечения штабеля, м²;

m – число штабелей в плоскости, перпендикулярной направлению потока агента сушки;

$\omega_{ум}$ – скорость агента сушки в штабеле, м/с.

Площадь живого сечения штабеля $F_{ж.с.ум}$, м², вычисляют по формуле

$$F_{ж.с.ум} = F_{габ}(1 - \beta_в), \quad (2.10)$$

где $F_{габ}$ – площадь габаритного сечения штабеля в плоскости, перпендикулярной направлению потока, м²;

$\beta_в$ – коэффициент заполнения штабеля по высоте.

Массу циркулирующего по материалу агента сушки в единицу времени, $G_{ум}$, кг/ч, определяют по формуле

$$G_{ум} = \frac{V_{ум}}{V_{np1}}, \quad (2.11)$$

где V_{np1} – приведенный удельный объем агента сушки, соответствующий режимным значениям II ступени (табл. 2.1), м³/кг.

Количество циркулирующего по материалу агента сушки, приходящееся на 1 кг испаряемой влаги $g_{ум}$, кг/сух. возд/кг/исп. влаги, рассчитывают как

$$g_{ум} = \frac{G_{ум}}{M_p}, \quad (2.12)$$

где M_p – расчетное количество испаряемой в единицу времени из материала влаги, кг/ч.

Влагосодержание агента сушки на выходе из штабеля (штабелей) d_2 , г/кг, определяют по формуле

$$d_2 = d_1 + \frac{1000}{g_{ум}}, \quad (2.13)$$

где d_1 – влагосодержание агента сушки на входе в штабель (штабели) для II ступени режима (табл. 2.1), г/кг.

Перепад температуры агента сушки в штабеле (штабелях) $\Delta t_{ум}$, °С, рассчитывают, используя формулу

$$\Delta t_{ум} = \frac{d_2 - d_1}{0,4 + 0,00074d_1}.$$

Примечание. Высокие значения $\Delta t_{ум}$ свидетельствуют о возможной неравномерности просыхания материала (потребуется увеличение продолжительности процесса сушки для выравнивания неравномерности влажности).

Малый температурный перепад свидетельствует о большом количестве циркулирующего воздуха, в этом случае сушка будет проходить равномерно, но при большом расходе электрической энергии на привод вентиляторов.

В том и другом случае будет возрастать себестоимость сушки. Оптимальными значениями $\Delta t_{ум}$ (по результатам промышленных испытаний сушильных камер) принято считать

- для пиломатериалов хвойных пород: 3 – 4 °С;
- твердых лиственных пород и лиственницы: 1,5 – 2,5 °С;
- мягких лиственных пород: 2 – 3 °С.

Далее определяют температуру агента сушки на выходе из штабеля t_2 , °С

$$t_2 = t_1 - \Delta t. \quad (2.15)$$

Затем по формулам (2.7) и (2.8) рассчитывают плотность ρ_2 и приведенный удельный объем $V_{пр2}$ агента сушки в состоянии на выходе из штабеля.

Степень насыщенности сушильного агента на выходе из штабеля можно определить по отношению:

$$\varphi_2 = \frac{d_2 P_a}{622 P_{н2} + d_2 P_{н2}}, \quad (2.16)$$

где P_a – атмосферное давление воздуха (0,1 МПа);

$P_{н2}$ – давление насыщения водяного пара при температуре воздуха на выходе из штабеля t_2 , Па, (прил. 12).

Полученные значения параметров агента сушки на выходе из штабеля заносят в таблицу по форме табл. 2.2.

Таблица 2.2

Расчётные параметры сушильного агента на выходе из штабеля

Степень режима	Переходная влажность, %	t_2 , °С	φ_2	d_2 , г/кг	I_2 , кДж/кг	ρ_2 , кг/м ³	$V_{пр2}$, м ³ /кг

В завершение рассчитывают объем агента сушки, циркулирующего в единицу времени в камере:

$$V_ц = \frac{V_{ум}}{\eta_n}, \quad (2.17)$$

где η_n – коэффициент использования потока (отношение объема сушильного агента, проходящего через штабеля, к общему объему циркулирующего в камере воздуха), принимается $\eta_n = 0,75 \dots 0,85$.

2.4. Определение параметров воздухообмена и расчет приточно-вытяжных каналов

Система воздухообмена сушильной камеры обеспечивает удаление из неё воды, испаренной из древесины, и приток в камеру более сухого, по отношению к находящемуся там, воздуха. Для этого имеются приточные и вытяжные каналы. Они работают за счёт разности давлений, создаваемых циркуляционными вентиляторами.

В камерах с нереверсивной циркуляцией каждый канал выполняет только одну функцию. Канал, расположенный в зоне избыточного давления является вытяжным, а канал в зоне разряжения – приточным. В случае реверсивной циркуляции функции приточного и вытяжного каналов меняются в зависимости от направления вращения вентиляторов.

Расчет проводят на условия, соответствующие максимальному воздухообмену. Параметры свежего воздуха выбирают по летнему периоду времени или климатическим условиям помещения, из которого происходит отбор свежего воздуха (коридора управления, здания цеха).

Расчет системы воздухообмена производится в следующей последовательности.

Определяется масса свежего и отработавшего воздуха, приходящегося на 1 кг испаряемой влаги, кг/кг:

$$g_0 = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \quad (2.18)$$

где d_2 – влагосодержание агента сушки на выходе из штабеля, г/кг;

d_0 – влагосодержание свежего воздуха, г/кг_{сух.возд} ($d_0 = 10$ г/кг).

Массовый расход свежего и отработавшего воздуха, кг/ч,

$$G_0 = g_0 M_p, \quad (2.19)$$

где M_p – расчетное количество влаги, испаряемой в единицу времени в камере, кг/ч.

Объем отработавшего воздуха определяется как, м³/ч,

$$V_{отр} = G_0 V_{пр2}. \quad (2.20)$$

Объем свежего воздуха составляет, м³/ч

$$V_{св.в} = G_0 V_{пр0}. \quad (2.21)$$

Площадь живого сечения приточного и вытяжного каналов, м²,

$$F_{прит.кан} = \frac{V_{св}}{3600 \omega_{кан}}, \quad (2.22)$$

$$F_{выт.кан} = \frac{V_{отр}}{3600 \omega_{кан}}, \quad (2.23)$$

где $\omega_{кан}$ – расчетная скорость потоков отработавшего или свежего воздуха в канале, м/с.

Скорость потока среды в приточно-вытяжных каналах $\omega_{кан}$ принимают для воздушных камер в пределах 3–5 м/с.

Приточно-вытяжные каналы могут быть круглой, квадратной или прямоугольной формы. Зная площадь канала, можно установить его размеры (диаметр, стороны квадрата или прямоугольника).

$$F_{кан} = a \times b \quad \text{или} \quad D_{кан} = \sqrt{\frac{4F_{кан}}{3,14}}. \quad (2.24)$$

В камерах периодического действия с реверсивной циркуляцией приточные и вытяжные каналы принимаются с одинаковыми размерами, в камерах с нереверсивной циркуляцией – разные.

2.5. Определение расхода тепловой энергии на сушку пиломатериалов

Суммарный расход тепла на сушку состоит из затрат тепла на прогрев древесины, испарение из нее влаги, компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры.

Под затратами тепла на испарение влаги при низкотемпературных режимах сушки подразумевается не только расход тепла на собственно испарение влаги, но также и тепло, расходуемое на подогрев свежего воздуха, поступающего в камеру.

Расчет тепла по всем статьям затрат производят в двух вариантах:

- 1) для зимних условий (определяют тепловую нагрузку системы теплоснабжения, нагрева агента сушки);
- 2) для среднегодовых условий с целью определения технико-экономических показателей теплопотребления.

2.5.1. Расход тепла на прогрев древесины

Расход тепла на прогрев 1 м³ замороженной древесины (для зимних условий) $Q_{np.1м^3}^3$, кДж/м³, определяют по формуле

$$Q_{np.1м^3}^3 = \rho [c_{(-)}(-t_0) + c_{(+)}t_{np}] + \rho_{баз} \frac{W_n - W_{2.эс}}{100} r_{ог}, \quad (2.25)$$

где ρ – плотность древесины при W_n , кг/м³;

t_0 – начальная отрицательная температура древесины, загруженной в камеру, °С (определяется по климатологической таблице как расчетная температура для отопления, табл. 2.3);

t_{np} – температура, до которой прогревается древесина в камере (равна температуре смоченного термометра на первой ступени режима сушки), $^{\circ}\text{C}$;

$W_{г.ж}$ – количество связанной незамерзшей влаги, содержащейся в древесине, %;

$r_{ог}$ – теплота плавления льда, принимается равной 335 кДж/кг;

$c_{(-)}$, $c_{(+)}$ – соответственно, удельные теплоемкости замороженной и прогретой до положительной температуры древесины, кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$).

Таблица 2.3

Климатологические данные некоторых городов России
(СНиП II-1.6-72)

Город	Расчетная температура		Среднегодовая температура, $t_{cp}, ^{\circ}\text{C}$	Средняя температура отопительного сезона, $t_{cp, отоп}, ^{\circ}\text{C}$	Продолжительность отопительного сезона, $T_{отоп}, \text{дней}$	Степень насыщенности среды φ , %, при условиях		
	Для отопления, $t_{o.з.}$	Для вентиляции (летнее время), $t_{o.лет}$				летних	зимних	среднегодовых
Екатеринбург	-32	21	0,8	-8,2	214	70,7	85,0	76,8
Архангельск	-32	18	0,2	-6,5	232	75,0	86,3	81,3
Владивосток	-24	24	4,6	-6,3	171	83,3	72,3	75,3
Воронеж	-25	25	5,6	-5,0	177	70,0	86,5	73,7
Н.Новгород	-29	22	3,6	-6,1	193	70,7	85,7	78,0
Иркутск	-38	23	-1,3	-10,8	215	67,7	82,7	71,2
Красноярск	-36	24	0,6	-9,3	210	69,0	80,0	73,4
С.-Петербург	-24	20	4,1	-3,7	193	71,0	87,0	79,5
Москва	-30	21	3,6	-5,3	194	62,7	86,0	79,0
Омск	-37	23	0,0	-10,9	208	67,0	85,0	75,9
Пермь	-33	21	1,3	-8,0	209	73,3	85,0	78,5
Саратов	-24	23	5,0	-6,1	174	58,0	85,3	72,3

Плотность древесины устанавливают по диаграмме, приведенной на рис. 2.3.

Удельные теплоемкости $c_{(-)}$ и $c_{(+)}$ по диаграмме, приведенной на рис. 2.4.

Величину $W_{г.ж}$ устанавливают по графику относительного содержания в древесине незамерзшей связанной влаги (рис. 2.5).

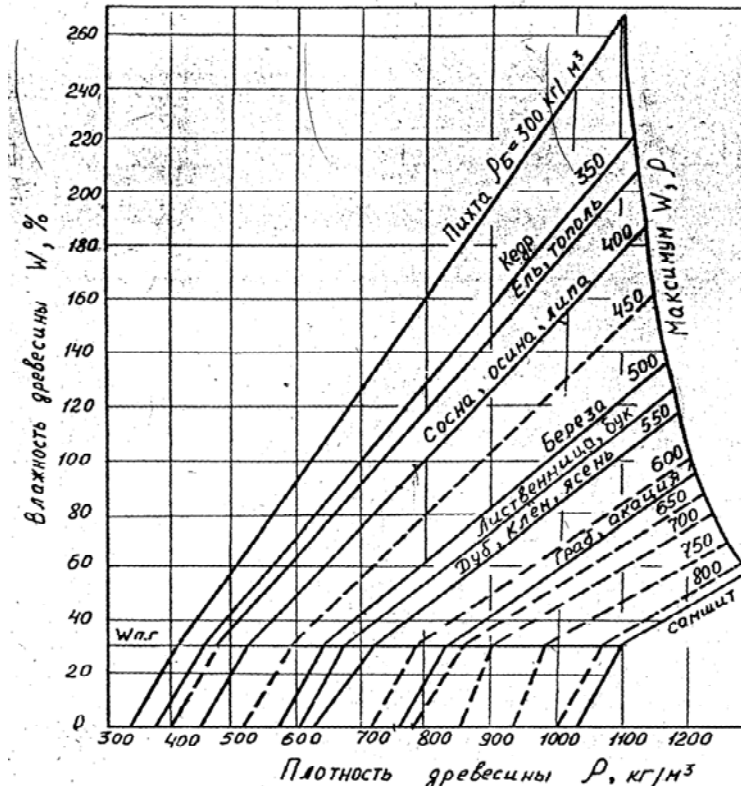


Рис. 2.3. Диаграмма плотности древесины

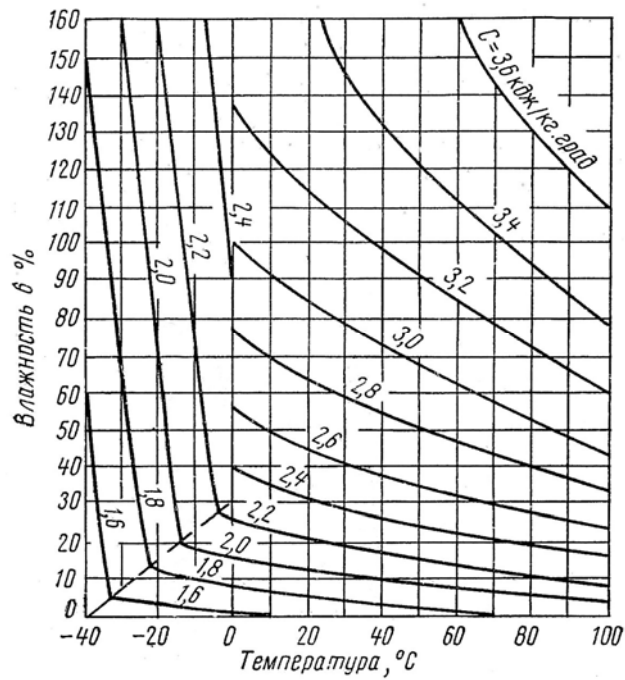


Рис. 2.4. Диаграмма удельной теплоемкости древесины

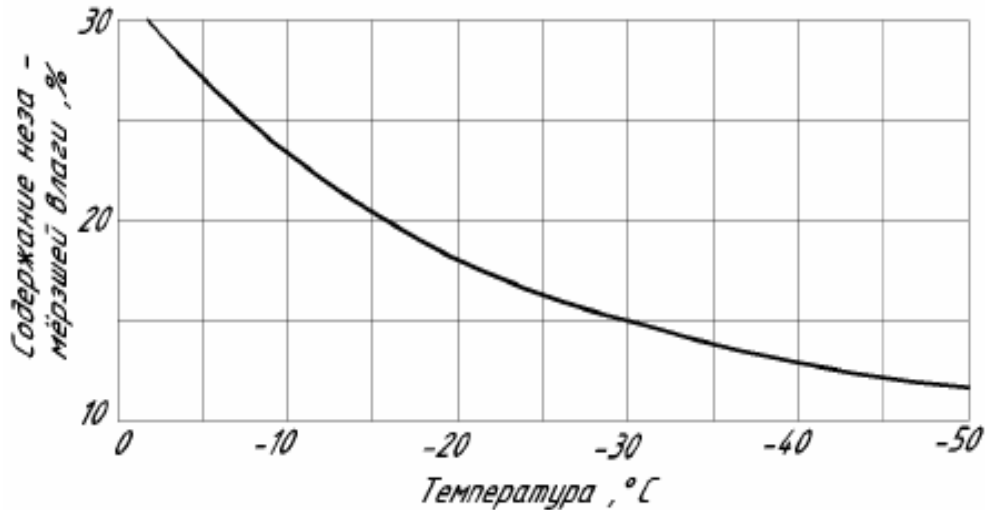


Рис. 2.5. График относительного содержания в древесине незамерзшей связанной влаги

Расход тепла на прогрев древесины, имеющей положительную начальную температуру $Q_{np.1м^3}$, кДж/м³, определяют по формуле

$$Q_{np.1м^3} = \rho c_{(+)}(t_{np} - t_0), \quad (2.26)$$

где t_0 – начальная температура древесины, °C (определяется по климатологической таблице как расчетная температура для летних условий, табл. 2.3);

$c_{(+)}$ – удельная теплоемкость древесины, кДж/(кг·°C), определяемая при расчетной температуре $t_p = \frac{t_0 + t_{np}}{2}$.

Удельный расход тепла при прогреве древесины в расчете на 1 кг испаряемой влаги q_{np} , кДж/кг, устанавливают для зимних и среднегодовых условий по формуле

$$q_{np} = \frac{Q_{np.1м^3}}{M_{1м^3}}, \quad (2.27)$$

Общий расход тепла на камеру при начальном прогреве, кВт (рассчитывается только для зимних условий):

$$Q_{np} = \frac{Q_{np.1м^3}^3 E_{np}}{3600 \tau_{np}}, \quad (2.28)$$

где E_{np} – объем одновременно прогреваемых в камере пиломатериалов, м³;
 τ_{np} – продолжительность прогрева, ч. (принимается ориентировочно для прогрева древесины в зимних условиях 2 часа на 1 см толщины доски, летом 1 – 1,5 часа на 1 см толщины доски).

2.5.2. Расход тепла на испарение влаги

Удельный расход тепла на испарение влаги с учетом затрат на подогрев свежего воздуха $q_{исп}$, кДж/кг, при низкотемпературном процессе определяют по формуле

$$q_{исп} = 1000 \frac{I_2 - I_0}{d_2 - d_0} - c_6 t_m, \quad (2.29)$$

где I_2, d_2 – соответственно, теплосодержание, кДж/кг, и влагосодержание, г/кг, отработавшего, удаляемого из камеры агента сушки;

I_0, d_0 – соответственно, теплосодержание, кДж/кг, и влагосодержание, г/кг, свежего, поступающего в камеру воздуха ($I_0 = 46$ кДж/кг, $d_0 = 10$ г/кг);

c_6 – удельная теплоемкость воды, равная $4,19$ кДж/(кг·°С);

t_m – температура смоченного термометра, °С.

Тепловая мощность, необходимая для испарения из материала влаги, кВт (рассчитывается только для зимних условий):

$$Q_{исп} = \frac{q_{исп} M_p}{3600}. \quad (2.30)$$

2.5.3. Расход тепла на компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры

Тепловая энергия, затраченная на компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры, равна сумме тепловых потерь через охлаждающиеся элементы ограждений камеры.

На рис. 2.6 схематично показана камера периодического действия с внутренними размерами: L (длина), B (ширина) и H (высота); размеры дверей камеры b (ширина) и h (высота).

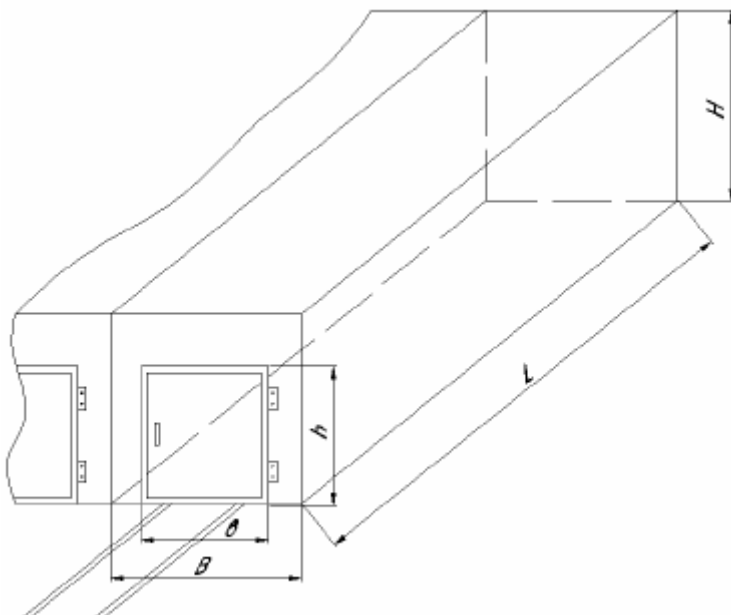


Рис. 2.6. Схема к расчёту потерь тепла через ограждения сушильной камеры (общий вид может отличаться в зависимости от задания)

При расчете тепловых потерь учитывают потоки тепла через ограждения и полы лесосушильных камер. Потери через боковые стены, разделяющие смежные камеры, не учитываются. Исключением является расчёт теплотерь для сборно-металлических камер, которые устанавливаются отдельно одна от другой.

Расчёт тепловых потерь удобно вести в табличной форме, предварительно составив планировку блока камер и конструктивную схему камеры с размерами элементов её ограждений.

Формы таблиц для расчёта тепловых потерь через ограждения даны в табл. 2.4, 2.5.

Таблица 2.4

Расчёт поверхности ограждений сушильной камеры

Наименование ограждений	Формула	Площадь, м ²
Наружная боковая стена	$F_{бок} = LH$	
Торцовая стена	$F_{торц} = BH$	
Дверь	$F_{дв} = bh$	
Торцовая стена (за вычетом дверей)	$F_{торц2} = F_{торц} - F_{дв}$	
Перекрытие (потолок)	$F_{пер} = BL$	
Пол	$F_{пол} = BL$	

Таблица 2.5

Расчёт тепловых потерь через ограждения камеры

Наименование ограждений	$F_{огр}, \text{ м}^2$	$k, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	$t_k, \text{ °C}$	$t_{нар}, \text{ °C}$		$t_k - t_{нар}, \text{ °C}$		$Q_{огр}, \text{ кВт}$	
				зимняя	среднегодовая	зимняя	среднегодовая	зимняя	среднегодовая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Итого:</i>								$\Sigma Q_{огр}$	$\Sigma Q_{огр}$

Примечание. В таблице графы 5 – 6, 7 – 8 и 9 – 10 не разделяются, если камера находится в отапливаемом помещении.

Расчётную температуру $t_{нар}$ рекомендуется принять:

- если камеры устанавливаются на улице – согласно табл. 2.3;
- если камеры устанавливаются внутри сушильного цеха – температура наружной среды для всех ограждений, кроме пола, берётся, одинаковой: 15 – 20 °C, для пола 8 – 12 °C.

Температуру среды в камере t_k следует принимать равной температуре агента сушки, соответствующей расчетной ступени режима.

Для расчета потерь тепла через ограждения (кроме пола) камер $Q_{огр}$, кВт, рекомендуется формула

$$Q_{огр} = 1,5 \sum F_j k_j (t_k - t_{нар}) 10^{-3}, \quad (2.31)$$

где F_j, k_j – площадь, m^2 , и коэффициент теплопередачи, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$, j -го элемента ограждения;

$t_k, t_{нар}$ – температура среды внутри и снаружи камеры около j -го элемента ограждения, $^\circ C$.

Тепловые потери через пол лесосушильной камеры малой мощности (ширина камеры $b \leq 4$ м), расположенной непосредственно на грунте $Q_{пол}$, кВт, определяют по формуле

$$Q_{пол} = 4 \cdot 10^{-4} F_{пол} (t_k - t_{нар}). \quad (2.32)$$

При расчете расхода тепла на компенсацию тепловых потерь в камерах периодического действия температуру среды в камере t_k следует принимать равной температуре агента сушки, соответствующей расчетной ступени режима.

Величина коэффициента теплопередачи многослойных ограждений k зависит от толщины ограждения и материалов многослойной конструкции. В табл. 2.6 приведены ориентировочные значения коэффициента k теплопередачи через ограждающие конструкции камер различного исполнения.

Суммарные потери тепла через ограждения и полы камер $Q_{ном}$, кВт, определяются по формуле

$$Q_{ном} = Q_{огр} + Q_{пол}. \quad (2.33)$$

Величину удельных потерь (на 1 кг испаряемой влаги) $q_{ном}$, кДж/кг, рассчитывают по формуле

$$q_{ном} = \frac{3600 Q_{ном}}{M_{ср.ч}}. \quad (2.34)$$

Таблица 2.6

Коэффициенты k , $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$, теплопередачи ограждений
некоторых лесосушильных камер

Тип ограждения	Значение коэффициента k
Ограждения стационарных камер периодического действия в железобетонном исполнении	0,8
Ограждения сборно-металлических камер периодического действия с заполнением минеральной ватой с двусторонней обшивкой металлическим листом	0,7
Двери одинарные с двусторонней обшивкой металлическим листом и с заполнением внутреннего пространства минеральной ватой	0,9

Полный удельный расход тепла на сушку пиломатериалов $q_{суш}$, кДж/кг, подсчитывают для зимних и среднегодовых условий и складывают из отдельных статей затрат

$$q_{суш} = (q_{пр} + q_{исп} + q_{ном})c_1. \quad (2.35)$$

где c_1 – коэффициент, учитывающий дополнительные неучтённые расходы тепла на влаготеплообработку, подогрев камеры, транспортных средств, оборудования и пр. (принимают для зимних условий $c_1 = 1,3$; для среднегодовых условий $c_1 = 1,1$).

В расчёте на 1 м^3 высушиваемых пиломатериалов расход теплоты, ГДж/м³, определяют по выражению (для среднегодовых условий)

$$Q_{суш1\text{м}^3} = q_{суш} M_{1\text{м}^3} \cdot 10^{-6}. \quad (2.36)$$

Этот показатель используют в основном при технико-экономических расчётах, нормировании расхода тепла на камерную сушку пиломатериалов.

2.6. Расчёт диаметров трубопроводов

Трубопроводы в сушильном цехе предназначены для передачи теплоносителя от котельной к калориферам сушильной камеры. Расчёт диаметров трубопроводов проводится в зависимости от типа теплоносителя.

1. Теплоноситель – горячая вода

Расход воды W_k , м³/с проходящей через калориферы одной камеры:

$$W_k = w_1 f_{ж.с.к.(тепл)} n, \quad (2.37)$$

где w_1 – скорость воды в трубках калорифера, м/с;

$f_{ж.с.к.(тепл)}$ – площадь живого сечения калорифера по теплоносителю (табл. 2.7, 2.8);

n – число калориферов в камере.

Таблица 2.7

Технические характеристики многоходовых калориферов

Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²	Площадь живого сечения, м ²		Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²	Площадь живого сечения, м ²	
		по воздуху	по теплоносителю			по воздуху	по теплоносителю
1	2	3	4	5	6	7	8
Калорифер КВС – П				Калорифер КМС			
9	19,56	0,238	0,001159	8	35,7	0,416	0,00114
10	25,08	0,303	0,001159	9	41,6	0,486	0,00133
11	72,00	0,867	0,002316	10	47,8	0,558	0,00133
12	108,00	1,299	0,003474	11	54,6	0,638	0,00152

Окончание табл. 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8
Калорифер КВБ – П				Калорифер КМБ			
9	26,00	0,238	0,001544	8	45,7	0,416	0,00152
10	33,34	0,303	0,001544	9	53,3	0,486	0,00178
11	95,03	0,867	0,003089	10	61,2	0,558	0,00178
12	143,50	1,239	0,004682	11	69,9	0,638	0,00203

Таблица 2.8

Технические характеристики одноходовых калориферов

Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²	Площадь живого сечения, м ²		Номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²	Площадь живого сечения, м ²	
		по воздуху	по теплоносителю			по воздуху	по теплоносителю
Калорифер КВБ				Калорифер К4ПП			
5	20,9	0,244	0,0076	5	26,8	0,244	0,0102
6	25,3	0,295	0,0076	6	32,4	0,295	0,0102
7	30,7	0,354	0,0092	7	38,9	0,354	0,0122
8	35,7	0,416	0,0092	8	45,7	0,416	0,0122
9	41,6	0,486	0,0107	9	53,3	0,486	0,0143
10	47,8	0,558	0,0107	10	61,2	0,558	0,0143
11	54,6	0,638	0,0122	11	69,9	0,638	0,0163
12	61,6	0,720	0,0122	Калорифер STD-3009B			
13	69,3	0,810	0,0138	Б – 5	20,4	0,272	0,008
14	77,3	0,330	0,0138	Б – 6	24,2	0,323	0,008
Калорифер КЗПП				Б – 7	29,1	0,388	0,0096
5	20,9	0,244	0,0076	Б – 8	34,3	0,457	0,0096
6	26,3	0,295	0,0076	Б – 9	40,5	0,533	0,0112
7	30,4	0,354	0,0092	Б – 10	46,8	0,611	0,0112
8	35,7	0,416	0,0092	Б – 11	52,5	0,700	0,0128
9	41,6	0,486	0,0107	Б – 12	58,8	0,785	0,0128
10	47,8	0,558	0,0107	Б – 13	67,1	0,883	0,0144
11	54,6	0,638	0,0122	Б – 14	74,2	0,990	0,0144

Трубы подвода и отвода воды, соединяющие калориферы в камере, имеют одинаковый диаметр D_k , м, который определяется как

$$D_k = 1000 \sqrt{1,27 \frac{W_k}{w_{\text{воды}}}}, \quad (2.38)$$

где $w_{\text{воды}}$ – скорость воды в подводящих (отводящих) трубах, м/с (принимается равной 1,0...1,5 м/с).

Трубы этого диаметра выходят из камеры в коридор управления. На подводящей трубе монтируется гидроклапан, снабжённый исполнительным механизмом для системы автоматического регулирования. На отводящей трубе устанавливается вентиль ручного управления. Также должны быть предусмотрены вентили для слива воды из системы.

Диаметр магистральных труб D_m , м, (прямого и обратного коллектора) подводящих (отводящих) воду к камерам:

$$D_m = \sqrt{nD_k^2}, \quad (2.39)$$

где n – количество камер в цехе.

Диаметр труб к форсункам распыления воды для увлажнения воздуха в камере зависит от давления воды и вместимости камер и равен от 15 до 25 мм. Количество форсунок зависит от числа штабелей в плоскости, перпендикулярной потоку воздуха (принимается по 4 форсунки на 1 штабель).

Расчитанные диаметры труб округляются в большую сторону до величины D_y , мм, (условный проход), регламентированной стандартом (ГОСТ 10704–76). Размеры труб даны в табл. 2.9.

Таблица 2.9

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

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

Примечание: d_n – наружный диаметр трубы, мм; s – толщина стенки трубы, мм.

2. Теплоноситель – водяной пар

Расчёты ведутся для зимних условий.

Определяется расход пара на камеру:

а) в период прогрева:

$$P_{\text{кам.пр}} = \frac{3600(Q_{\text{пр}} + \sum Q_{\text{огр}})c_2}{i_n - i_k}, \quad (2.40)$$

где c_2 – коэффициент, учитывающий потери тепла паропроводами, конденсатопроводами, конденсатоотводчиками при неорганизованном воздухообмене ($c_2 \approx 1,25$);

i_n – энтальпия сухого насыщенного пара при определённом давлении, кДж/кг;

i_k – энтальпия кипящей воды при том же давлении, кДж/кг.

Значения i_n, i_k даются в таблицах справочной литературы. Ориентировочно можно принимать $\Delta i = i_n - i_k$ в зависимости от давления

пара в калорифере: при $p = 0,2 \dots 0,25$ МПа $\Delta i \approx 2190$ кДж/кг; при $p = 0,3 \dots 0,5$ МПа $\Delta i \approx 2100$ кДж/кг.

б) в период сушки:

$$P_{\text{кам.суш}} = \frac{3600(Q_{\text{исп}} + \sum Q_{\text{огр}})c_2}{i_n - i_k}. \quad (2.41)$$

Максимальный расход пара в зимних условиях на сушильный цех:

$$P_{\text{цеха}} = n_{\text{кам.пр}} P_{\text{кам.пр}} + n_{\text{кам.суш}} P_{\text{кам.суш}}, \quad (2.42)$$

где $n_{\text{кам.пр}}$ – число камер, в которых одновременно идёт прогрев материала (принимается равным 1/6 от общего числа камер и не менее одной при любом малом числе камер);

$n_{\text{кам.суш}}$ – остальные камеры цеха, в которых идёт процесс сушки.

Диаметр главной паровой магистрали, м

$$d_{\text{маг}} = \sqrt{1,27 \frac{P_{\text{цеха}}}{3600 \rho_n v_n}}, \quad (2.43)$$

где ρ_n – плотность пара, кг/м³ (в зависимости от давления пара определяется по табл. 2.10);

v_n – скорость движения пара, м/с (принимается для магистралей 50...80 м/с).

Диаметр паропровода (отвода) к коллектору камеры, м:

$$d_{\text{кам}} = \sqrt{1,27 \frac{P_{\text{кам.пр}}}{3600 \rho_n v_n}}, \quad (2.44)$$

где v_n – скорость движения пара (принимается для отводов 40...50 м/с).

Диаметр паропровода к калориферу камеры, м:

$$d_{\text{калор}} = \sqrt{1,27 \frac{P_{\text{кам.суш}}}{3600 \rho_n v_n}}, \quad (2.45)$$

где v_n – скорость движения пара, м/с (принимается 25...40 м/с).

Диаметр паропровода к увлажнительным трубам, м:

$$d_{\text{увл}} = \sqrt{1,27 \frac{P_{\text{кам.пр}} - P_{\text{кам.суш}}}{3600 \rho_n v_n}}, \quad (2.46)$$

где v_n – скорость движения пара, м/с (принимается 50...60 м/с).

(Увлажнительные трубы в камере обычно имеют $d_{\text{увл}} \approx 40-50$ мм.)

Диаметр конденсационного трубопровода от калорифера камеры, м:

$$d_{\text{конд}} = \sqrt{1,27 \frac{P_{\text{кам.суш}}}{3600 \rho_k v_k}}, \quad (2.47)$$

где ρ_k – плотность конденсата, кг/м³ (выбирается в зависимости от давления в трубопроводе по табл. 2.10);

v_k – скорость движения конденсата, м/с (принимается 0,5...1,0 м/с).

Диаметр конденсационной магистрали, м:

$$d_{\text{конд.маг}} = \sqrt{1,27 \frac{P_{\text{кам.суш}} n_{\text{кам}}}{3600 \rho_{\text{к}} v_{\text{к}}}}, \quad (2.48)$$

где $n_{\text{кам}}$ – количество камер в цехе;

$v_{\text{к}}$ – скорость движения конденсата, м/с (принимается 1,0...1,5 м/с).

Таблица 2.10

Зависимость температуры и плотности насыщенного водяного пара от давления

Давление пара, МПа	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Температура пара t_m , °С	99,6	120	133	144	152
Плотность пара ρ_n , кг/м ³	0,59	1,13	1,62	2,12	2,62
Плотность воды (конденсата) $\rho_{\text{к}}$, кг/м ³	958	945	934	925	916

Рассчитанные значения диаметров труб сравниваются со стандартными диаметрами (условным проходом) и принимаются ближайшие большие значения по ГОСТ 3262-75 «Трубы стальные водогазопроводные» (стандартные значения условного прохода труб, мм: 6, 8, 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 90, 100, 125, 150).

После каждого расчётного диаметра должно быть написано: «Принимаю $d_{\dots} = \dots$ мм».

2.7. Выбор конденсатоотводчиков

В лесосушильных камерах для удаления конденсата из калорифера используются конденсатоотводчики.

Конденсатоотводчики монтируются на отводящих трубах калориферов только при паровом теплоснабжении сушильных камер!

Конденсатоотводчик – устройство, которое обеспечивает отвод конденсата из паровой среды за счёт разницы скоростей пара и конденсата при протекании в зазоре между седлом и диском.

Устройство осуществляет отвод конденсата, не участвующего в технологическом процессе. Позволяет сохранять тепловую мощность и качество пара, экономить до 90 % тепловой энергии в теплопотребляющих установках (за счёт ликвидации «пролетного» пара). Кроме того, конденсатоотводные устройства позволяют минимизировать риск

возникновения гидроударов, способных привести к повреждениям элементов трубопровода.

Производственные испытания показали, что наилучшим образом для этой цели подходят термодинамические конденсатоотводчики 45ч15нж (рис. 2.7), техническая характеристика которых дана в табл. 2.11.

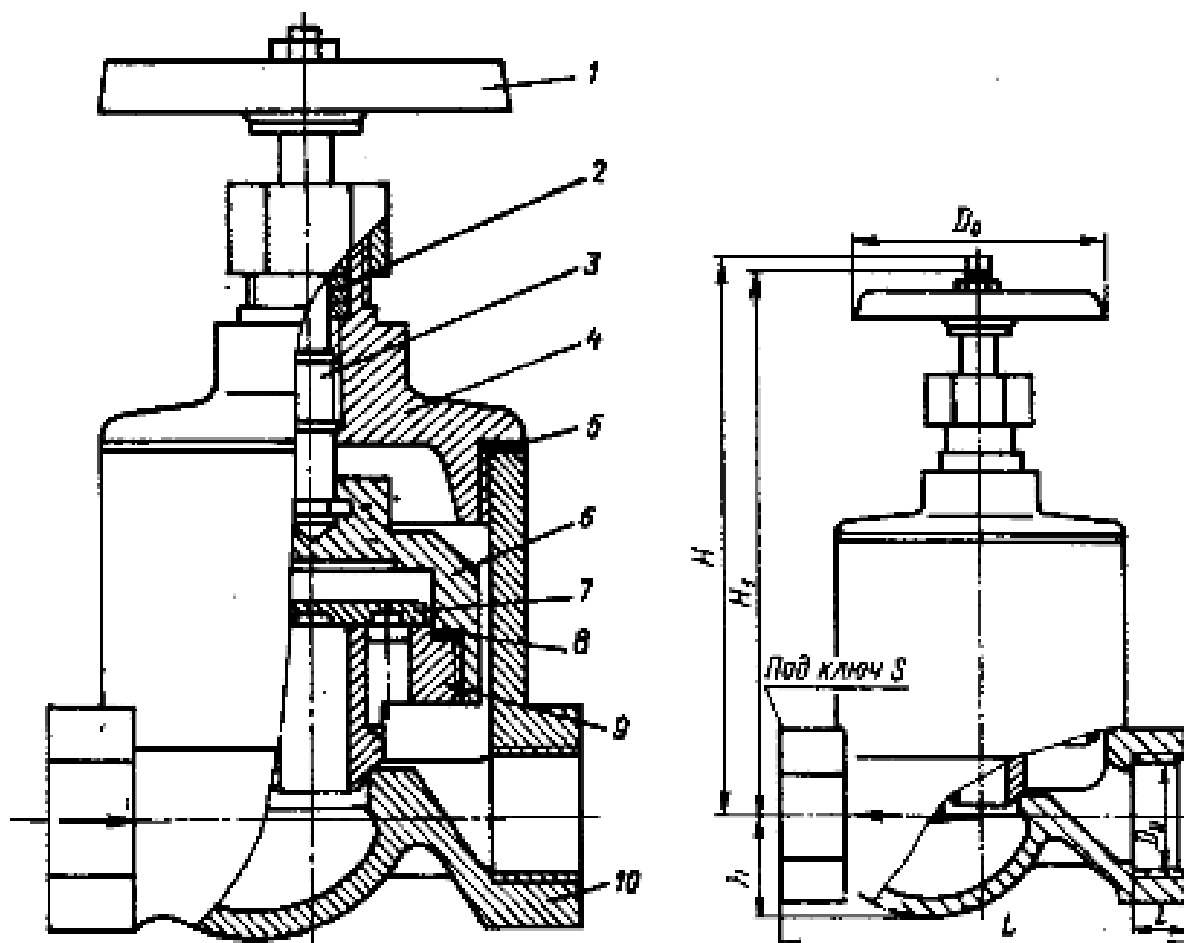


Рис. 2.7. Конденсатоотводчик термодинамический 45ч15нж:
1 – маховик; 2 – сальник; 3 – шпindelь; 4 – крышка; 5, 8 – прокладки;
6 – резьбовая втулка; 7 – тарелка; 9 – седло; 10 – корпус

Выбор конденсатоотводчика производится по коэффициенту пропускной способности k_v , кг/ч:

$$k_v = \frac{20P_{\text{кам.суш}}}{c_r \sqrt{\Delta p \rho_k}}, \quad (2.49)$$

где Δp – перепад давления в конденсатоотводчике, МПа;

c_r – коэффициент, учитывающий снижение пропускной способности конденсатоотводчика при удалении горячего конденсата по сравнению с холодным, при $\Delta p \leq 0,2$ МПа $c_r = 0,29$; при $\Delta p > 0,2$ МПа $c_r = 0,25$.

Перепад давления в конденсатоотводчике:

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (2.50)$$

где p_1 – абсолютное давление пароводяной смеси перед конденсатоотводчиком, МПа ($p_1 = 0,95P$, где P – абсолютное давление пара перед калорифером, т.е. на коллекторе камеры, МПа, см. задание);

p_2 – абсолютное давление конденсата после конденсатоотводчика, МПа (давление в конденсационной магистрали, принимается от 0,1 до 0,2 МПа).

Таблица 2.11

Техническая характеристика
термодинамических конденсатоотводчиков типа 45ч15нж

Проход условный d_v , мм	Коэффициент k_v , кг/ч	Размеры					Резьба трубная, дюйм	Масса, кг
		L	L_1	H	h	D_0		
15	800	90	14	192	18	65	1/2	2,45
20	1000	100	16	213	22	80	3/4	4,05
25	1250	120	18	250	28	100	1	6,55
32	1600	140	20	300	35	100	1 1/4	8,5
40	2000	170	22	310	45	120	1 1/2	13,5
50	2500	200	24	335	50	140	2	17,3

Если k_v по расчёту получается больше 2500 кг/ч, то на камеру выбирается два конденсатоотводчика по суммарной пропускной способности, близкой к расчётной.

3. ПЛАНИРОВКА ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХОВ

Задачей планировки является взаимное размещение всех помещений сушильного цеха. Размеры и общая площадь сушильного цеха определяются выбранным типом, числом камер и количеством высушиваемого материала.

Варианты планировки лесосушильного цеха могут быть весьма разнообразными. Они зависят от особенностей генерального плана предприятия, а кроме того, от типа сушильных камер и способов формирования и перемещения штабелей.

При проектировании лесосушильных цехов площадки для формирования штабелей, помещения для хранения сырых сушильных штабелей, траверсные коридоры, остывочные помещения, склады сухих пиломатериалов должны размещаться в закрытых помещениях с отоплением, освещением и приточно-вытяжной вентиляцией.

Особое внимание при проектировании должно обращать на механизацию формирования сушильных пакетов и штабелей, их

транспортирование, загрузку-выгрузку, разборку, подачу на склад и выдачу со склада сухих пиломатериалов.

После определения необходимого количества сушильных камер нужно выбрать вспомогательное оборудование: укладчики пиломатериалов, транспортно-загрузочные механизмы. Выбор типа требуемого оборудования производят исходя из количества лесосушильных камер и производительности сушильного цеха.

На планировочных чертежах толщину стен стационарных камер можно брать в среднем 500 мм и изображать схематично без указания ее конструкции. Толщина стен сборно-металлических камер составляет в среднем 120 – 150 мм. На планировочных чертежах такие камеры можно показывать схематично без разреза в виде прямоугольника со сторонами, равными габаритной ширине и длине камеры.

3.1. Ёмкость и необходимая площадь складов сырых и сухих пиломатериалов

Ёмкость складов пиломатериалов $E_{скл}$, м³, зависит от продолжительности хранения материала $Z_{хр}$, сут., и среднесуточной производительности сушильного цеха $Q_{сут}$, м³/сут.

$$E_{скл} = Q_{сут} Z_{хр} . \quad (3.1)$$

Продолжительность хранения на складе $Z_{хр}$ сырого материала принимается до двух суток, а сухого – от четырех до семи суток.

Среднесуточная производительность сушильного цеха $Q_{сут}$, м³/сут., определяется по формуле

$$Q_{сут} = \frac{Q_{суш}}{365c} , \quad (3.2)$$

где $Q_{суш}$ – годовой объем сушки пиломатериалов на предприятии, сут;
 c – коэффициент технического использования камер ($c = 0,92$).

Зная ёмкость склада $E_{скл}$ и ёмкость штабеля $E_{шт}$, м³ усл., можно определить число штабелей, подлежащих хранению на складе сырого и сухого материала $N_{шт}$.

$$N_{шт} = \frac{E_{скл}}{E_{шт}} . \quad (3.3)$$

Ёмкость штабеля $E_{шт}$, м³ усл., определяется как

$$E_{шт} = \Gamma_{шт} \beta_{усл} , \quad (3.4)$$

где $\Gamma_{шт}$ – габаритный объем штабеля, м³;

$\beta_{усл}$ – объемный коэффициент заполнения штабеля условным материалом.

$$\Gamma_{шт} = lbh , \quad (3.5)$$

где l, b, h – соответственно, длина, ширина и высота штабеля, м.

Для определения необходимой площади складов нужно произвести планировку расположения штабелей на складе с учетом транспортных и пожарных проходов и проездов, учитывая при этом способ хранения сухого материала (на вагонетках или в плотных штабелях). Для ориентировочных расчетов можно принять средний коэффициент заполнения площади складов материалом $\beta_{пл.скл}$ равным 0,35 – 0,45.

Тогда площадь склада $F_{скл}$, м², определяется по формуле

$$F_{скл} = b l N_{шт} \frac{1}{\beta_{пл.скл}}. \quad (3.6)$$

Обычно максимальная площадь склада сухого материала не превышает площади, занимаемой сушильными камерами.

В зависимости от числа камер, их размеров, а также площадей складов сырых и сухих пиломатериалов разрешаются вопросы транспортировки штабелей и планировки сушильного цеха.

Литература

Акишенков С.И. Проектирование лесосушильных камер и цехов [Текст]: учеб. пособие. / С.И. Акишенков, В.И. Корнеев. СПб: СПбГЛТА, 2008. 104 с.

Богданов Е.С. Справочник по сушке древесины [Текст] / Е.С. Богданов, В.А. Козлов, В.Б. Кунтыш, В.И. Мелехов. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 304 с.

Богданов Е.С. Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер [Текст] / Е.С. Богданов, В.И. Мелехов, В.Б. Кунтыш. М.: Экология, 1993. 352 с.

Гороховский А.Г. Качество сушки пиломатериалов [Текст]: учеб. пособие. / А.Г. Гороховский, Е.Е. Шишкина. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 127 с.

Расев А.И. Проектирование сушильных камер периодического действия [Текст] / А.И. Расев, Л.П. Красухина. М.: МГУЛ, 2009. 96 с.

Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П.С. Серговский, А.И. Расев. М.: Лесн. пром-сть, 1987.

Приложение 1

**Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов
из древесины сосны, ели, пихты, кедра**

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

Приложение 2

**Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов
из древесины лиственницы**

Средняя влажность древесины, %	Параметры режима	Номер						
		Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7
		Толщина пиломатериалов, мм						
		до 22	св. 22 до 25	св. 25 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60 до 75
Нормальные режимы (Н)								
> 35	$t, ^\circ\text{C}$	70	70	70	65	60	60	60
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	9	8	6	5	4	3	2
	ϕ	0,64	0,68	0,76	0,78	0,81	0,86	0,90
35 - 25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	70	65	65	65
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	15	15	15	10	9	7	5
	ϕ	0,49	0,49	0,49	0,61	0,63	0,71	0,78
< 25	$t, ^\circ\text{C}$	80	80	80	75	70	70	70
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	26	25	25	20	19	18	15
	ϕ	0,28	0,29	0,30	0,38	0,37	0,39	0,47
Форсированные режимы (Ф)								
> 35	$t, ^\circ\text{C}$	90	90	82	75	75	72	70
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	9	7	4	4	3	2	2
	ϕ	0,69	0,75	0,84	0,84	0,87	0,92	0,91
35 - 25	$t, ^\circ\text{C}$	98	96	87	80	80	78	76
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	12	11	8	8	6	5	4
	ϕ	0,63	0,65	0,72	0,70	0,77	0,80	0,84
< 25	$t, ^\circ\text{C}$	112	110	108	100	100	95	90
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	32	30	29	28	26	20	18
	ϕ	0,30	0,32	0,32	0,32	0,35	0,44	0,47

Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов из древесины берёзы

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

Приложение 4

**Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов
из древесины ольхи, липы, тополя**

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

**Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов
из древесины осины**

Средняя влажность древесины, %	Параметры режима	Номер					
		Ос1	Ос2	Ос3	Ос4	Ос5	Ос6
		Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	св. 22 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60 до 75
Нормальные режимы (Н)							
> 35	$t, ^\circ\text{C}$	78	75	71	66	60	53
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	11	9	8	7	6	5
	ϕ	0,61	0,66	0,69	0,71	0,73	0,76
35 - 25	$t, ^\circ\text{C}$	82	79	75	70	65	57
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	16	14	11	10	9	7
	ϕ	0,49	0,53	0,60	0,61	0,63	0,69
< 25	$t, ^\circ\text{C}$	100	96	92	87	82	72
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	36	33	31	28	23	18
	ϕ	0,20	0,22	0,24	0,28	0,34	0,40
Форсированные режимы (Ф)							
> 35	$t, ^\circ\text{C}$	85	82	79	73	-	-
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	10	8	7	6	-	-
	ϕ	0,66	0,71	0,73	0,76	-	-
35 - 25	$t, ^\circ\text{C}$	88	85	82	77	-	-
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	14	12	10	9	-	-
	ϕ	0,55	0,60	0,65	0,66	-	-
< 25	$t, ^\circ\text{C}$	110	107	102	96	-	-
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	36	33	30	26	-	-
	ϕ	0,24	0,26	0,29	0,34	-	-

Приложение 6

**Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов
из древесины клёна, бука**

Средняя влажность древесины, %	Параметры режима	Номер					
		К1	К2	К3	К4	К5	К6
		Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	св. 22 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60 до 75
> 35	t, °C	74	70	64	62	56	52
	Δt, °C	6	5	4	4	3	2
	φ	0,76	0,79	0,82	0,82	0,84	0,90
35 - 25	t, °C	80	75	68	66	59	55
	Δt, °C	10	9	7	6	5	4
	φ	0,64	0,66	0,71	0,75	0,77	0,81
25 - 20	t, °C	100	93	74	72	63	58
	Δt, °C	29	26	11	10	6	5
	φ	0,31	0,33	0,60	0,62	0,74	0,77
20 - 15	t, °C	100	93	74	72	69	64
	Δt, °C	29	26	11	10	11	10
	φ	0,31	0,33	0,60	0,62	0,58	0,60
< 15	t, °C	100	93	88	83	78	70
	Δt, °C	29	26	24	23	21	19
	φ	0,31	0,33	0,34	0,34	0,36	0,37

Приложение 7

**Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов
из древесины ясеня, ильма**

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

**Режимы низкотемпературного процесса сушки пиломатериалов
из древесины дуба, граба и ореха**

Средняя влажность древесины, %	Параметры режима	Номер					
		Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6
		Толщина пиломатериалов, мм					
		до 22	св. 22 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 50	св. 50 до 60	св. 60 до 75
> 35	$t, ^\circ\text{C}$	57	53	50	47	43	38
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	4	3	3	2	2	2
	φ	0,81	0,84	0,84	0,89	0,89	0,89
35 - 25	$t, ^\circ\text{C}$	61	56	53	50	45	41
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	6	5	4	4	3	3
	φ	0,73	0,76	0,80	0,80	0,83	0,83
25 - 20	$t, ^\circ\text{C}$	77	70	57	55	49	45
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	22	20	8	7	4	4
	φ	0,34	0,35	0,65	0,68	0,79	0,79
20 - 15	$t, ^\circ\text{C}$	77	70	57	55	53	50
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	22	20	8	7	8	7
	φ	0,34	0,35	0,65	0,68	0,64	0,66
< 15	$t, ^\circ\text{C}$	77	70	66	62	61	56
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	22	20	18	17	17	16
	φ	0,34	0,35	0,38	0,38	0,38	0,38

Приложение 9

Исходная продолжительность сушки пиломатериалов $\tau_{исх}$ в камерах периодического действия при низкотемпературном процессе

Толщина п/м, S, мм	Ширина пиломатериалов, мм					
	40 - 50	60 - 70	80 - 100	110-130	140-180	более 180 и необр.
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	39
25	45	50	53	54	55	55
32	59	63	68	72	73	73
40	71	79	84	86	88	88
50	-	93	99	100	104	105
60	-	103	114	122	125	130
70	-	-	147	161	178	194
75	-	-	156	177	197	218
100	-	-	340	354	379	432
Лиственница						
До 16	58	63	64	67	68	68
19	68	72	74	77	77	77
22	75	80	83	86	87	87
25	83	88	91	92	93	94
32	94	99	104	108	110	113
40	113	129	144	157	166	175
50	-	182	224	256	279	304
60	-	235	304	361	400	443
70	-	-	431	521	585	635
75	-	-	466	574	650	757
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
Берёза, ольха						
До 16	36	37	37	38	39	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

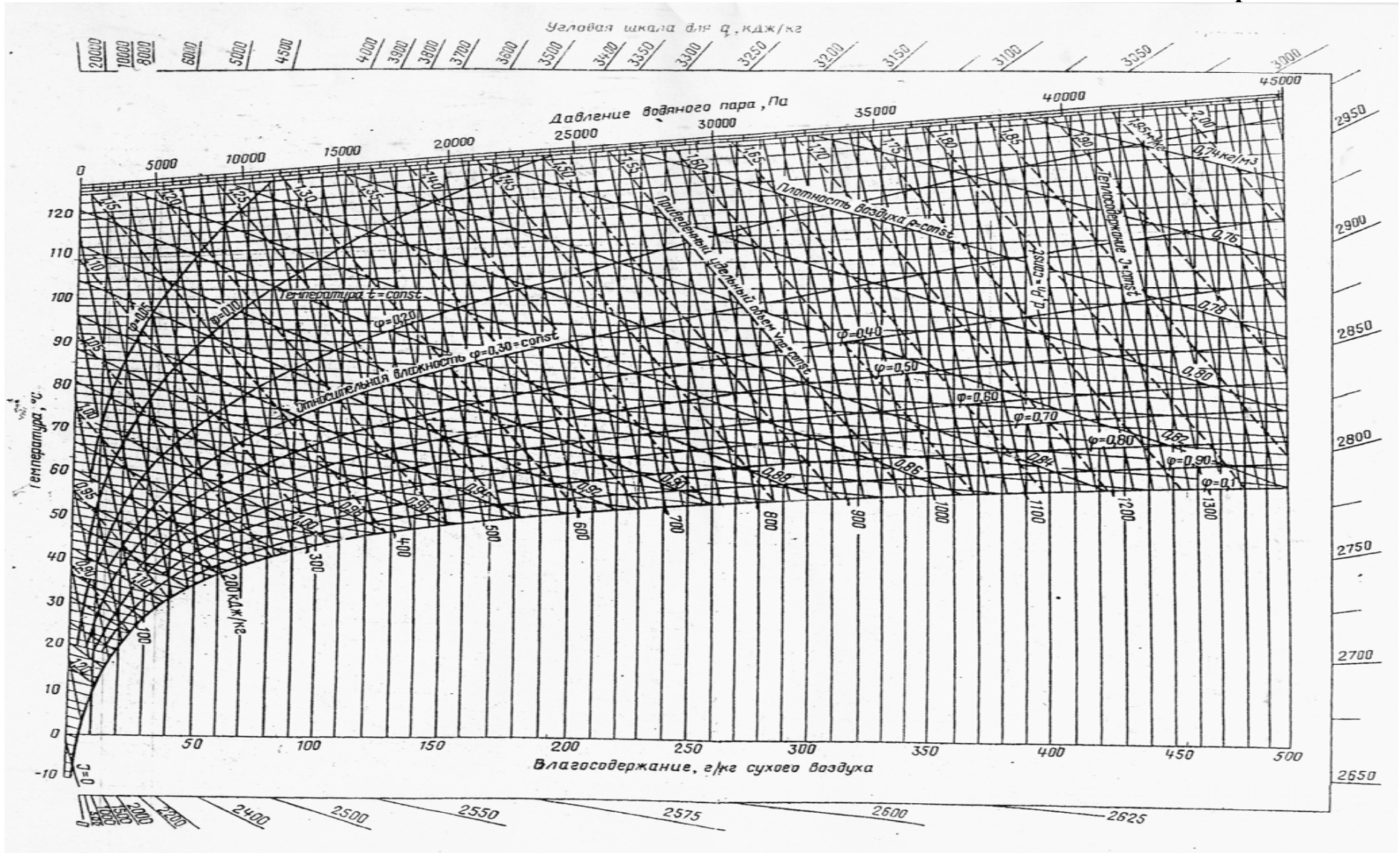
Окончание прил. 9

Толщина п/м, S, мм	Ширина пиломатериалов, мм					
	40 - 50	60 - 70	80 - 100	110-130	140-180	более 180 и необр.
Бук, клён, 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	120	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
Дуб, орех, граб						
До 16	84	85	86	87	87	88
19	88	91	94	96	96	97
22	97	101	104	105	105	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

Приложение 10

Значения коэффициента объёмной усушки k_v и базисной плотности $\rho_{баз}$ различных пород древесины

Порода	Коэффициент объёмной усушки, k_v	Величина $\rho_{баз}$, кг/м ³
Пихта сибирская	0,39	300
Кедр	0,37	350
Ель, тополь	0,43	360
Сосна	0,44	400
Липа	0,56	400
Осина	0,41	400
Ольха	0,47	420
Береза	0,54	500
Лиственница	0,52	520
Бук	0,47	530
Клён	0,52	550
Ясень	0,45	550
Дуб	0,48	560
Граб	0,59	630



Зависимость давления насыщения водяного пара от температуры

Темпе- ратура, °С	Давление насыщения, P_n , Па	Темпе- ратура, °С	Давление насыщения, P_n , Па	Темпе- ратура, °С	Давление насыщения, P_n , Па
0	610,8	41	7777,2	94	81 460,0
1	656,6	42	8198,3	95	84 525,0
2	705,4	43	8639,0	96	87 658,0
3	757,5	44	9099,8	97	90 943,0
4	812,9	45	9581,7	98	94 301,0
5	871,8	46	10 085,4	99	97 760,0
6	934,6	47	10 612,0	100	101 325,0
7	1001,2	48	11 161,0	101	101 325,0
8	1072,1	49	11 735,0	102	104 996,0
9	1147,3	50	12 335,0	103	108 776,0
10	1227,1	51	12 960,0	104	112 668,0
11	1311,8	52	13 612,0	105	116 675,0
12	1401,5	53	14 292,0	106	120 799,0
13	1496,7	54	15 001,0	107	125 042,0
14	1597,4	55	15 740,0	108	129 408,0
15	1704,1	56	16 510,0	109	133 898,0
16	1817,0	57	17 312,0	110	138 515,0
17	1936,4	58	18 146,0	111	143 260,0
18	2962,6	59	19 015,0	112	148 140,0
19	2196,0	60	19 919,0	113	153 160,0
20	2336,8	61	20 859,0	114	158 320,0
21	2485,5	62	21 837,0	115	163 610,0
22	2642,4	63	22 854,0	116	169 050,0
23	2807,9	76	40 190,0	117	174 640,0
24	2982,4	77	41 890,0	118	180 380,0
25	3166,3	78	43 650,0	119	186 280,0
26	3360,0	79	45 473,0	120	192 330,0
27	3563,9	80	47 359,0	121	198 540,0
28	3778,5	81	49 310,0	122	204 910,0
29	4004,3	82	51 328,0	123	211 450,0
30	4241,7	83	53 415,0	124	218 150,0
31	4491,3	84	55 572,0	125	225 030,0
32	4753,6	85	57 802,0	126	232 090,0
33	5029,0	86	60 107,0	127	239 320,0
34	5318,2	87	62 488,0	128	246 740,0
35	5621,7	88	64 947,0	129	254 340,0
36	5940,1	89	67 486,0	130	262 130,0
37	6274,0	90	70 108,0	131	270 120,0
38	6624,0	91	72 814,0	132	278 300,0
39	6990,7	92	75 607,0	133	186 680,0
40	7374,9	93	78 488,0	134	295 270,0

Темпе- ратура, °С	Давление насыщения, P_n , Па	Темпе- ратура, °С	Давление насыщения, P_n , Па	Темпе- ратура, °С	Давление насыщения, P_n , Па
135	304 060,0	151	475 970,0	167	718 300,0
136	313 060,0	152	488 870,0	168	736 200,0
137	322 270,0	153	502 050,0	169	754 450,0
138	331 710,0	154	515 520,0	170	773 050,0
139	341 370,0	155	529 260,0	171	792 020,0
140	35 125,0	156	543 310,0	172	811 360,0
141	361 360,0	157	557 640,0	173	831 060,0
142	371 700,0	158	572 280,0	174	851 140,0
143	382 280,0	159	587 220,0	175	871 610,0
144	393 110,0	160	602 480,0	176	892 460,0
145	404 180,0	161	618 040,0	177	913 700,0
146	415 500,0	162	633 930,0	178	935 340,0
147	427 070,0	163	650 140,0	179	957 390,0
148	438 900,0	164	666 680,0	180	979 840,0
149	450 990,0	165	683 550,0	181	1 002 700,0
150	463 340,0	166	700 750,0		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.....	4
1.1. Определение режима сушки пиломатериалов.....	4
1.2. Определение продолжительности сушки в камерах периодического действия в низкотемпературном процессе.....	5
1.3. Перерасчет фактического объема пиломатериала в объем условного топлива.....	6
1.4. Расчет производительности сушильных камер.....	9
2. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ (сокращенный).....	10
2.1. Выбор расчетного материала.....	10
2.2. Определение количества испаряемой из материала влаги.....	11
2.3. Расчетные параметры сушильного агента.....	11
2.3.1. Определение параметров агента сушки на входе в штабель...	12
2.3.2. Определение количества циркулирующего в камере сушильного агента.....	14
2.4. Определение параметров воздухообмена и расчет приточно-вытяжных каналов.....	16
2.5. Определение расхода тепловой энергии на сушку пиломатериалов.....	17
2.5.1. Расход тепла на прогрев древесины.....	17
2.5.2. Расход тепла на испарение влаги.....	21
2.5.3. Расход тепла на компенсацию тепловых потерь через ограждения камеры.....	21
2.6. Расчет диаметров трубопроводов.....	24
2.7. Выбор конденсатоотводчиков.....	28

3. ПЛАНИРОВКА СУШИЛЬНЫХ ЦЕХОВ.....	30
3.1. Ёмкость и необходимая площадь складов сырых и сухих пиломатериалов.....	31
Литература.....	32
Приложение 1.....	33
Приложение 2.....	34
Приложение 3.....	35
Приложение 4.....	36
Приложение 5.....	37
Приложение 6.....	38
Приложение 7.....	38
Приложение 8.....	39
Приложение 9.....	40
Приложение 10.....	41
Приложение 11.....	42
Приложение 12.....	43