

**Государственное бюджетное профессиональное  
образовательное учреждение  
Республики Марий Эл  
«Строительно-промышленный колледж»**

**Гидротермическая обработка и консервирование древесины**

**Методические указания  
к выполнению курсового проекта  
для студентов специальности 35.02.03 «Технология деревообработки»**

**Волжск  
2019**

Рассмотрено на заседании ЦМК  
Протокол № 1 от «\_\_» августа 2019 г.  
Председатель ЦМК:  
\_\_\_\_\_/Михайлова О. С./

Автор-составитель: Михайлова О. С., преподаватель Государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения Республики Марий Эл «Строительно-промышленный колледж».

Рецензент: Шутылева О. В., мастер производственного обучения Государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения Республики Марий Эл «Строительно-промышленный колледж».

**Гидротермическая обработка и консервирование древесины. Методические указания для студентов, обучающихся по специальности 35.02.03 «Технология деревообработки» / Михайлова О. С. – Волжск: ГБОУ СПО РМЭ «Строительно-промышленный колледж», 2019. - 53 с.**

Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Гидротермическая обработка и консервирование древесины» составлены в соответствии с ФГОС и рабочей программой курса для студентов очной формы обучения. Изложена структура и содержание курсового проекта, приведены рекомендации по выполнению курсового проекта.

© ГБПОУ Республики Марий Эл  
«Строительно-промышленный колледж», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
1. Общие методические указания.....	5
2. Методические указания по выполнению курсового проекта.....	6
Введение.....	6
РАЗДЕЛ 1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ.....	6
РАЗДЕЛ 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.....	7
2.1 Выбор режима сушки.....	7
2.2 Определение продолжительности сушки и оборота камеры.....	9
2.3 Перевод объема фактических пиломатериалов в объем условного материала.....	14
2.4 Расчет годовой производительности камеры на условном материале.....	16
2.5 Расчет потребного количества сушильных камер.....	16
РАЗДЕЛ 3 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ.....	16
3.1 Выбор расчетного материала.....	16
3.2 Определение параметров агента сушки на входе в штабель.....	17
3.3 Расчет количества испаряемой влаги.....	18
3.4 Определение объема циркулирующего агента сушки на выходе из штабеля.....	19
3.5 Расчет приточно-вытяжных каналов.....	20
3.6 Расчет расхода тепла на сушку.....	21
3.7 Выбор и расчет калориферов.....	24
3.8 Определение расходов пара.....	28
3.9 Выбор и расчет конденсатоотводчиков.....	29
РАЗДЕЛ 4 АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.....	29
4.1 Общая часть.....	29
4.2 Определение скорости циркуляции агента сушки по каждому участку.....	31
4.3 Выбор вентилятора.....	31
4.4 Определение мощности и выбор электродвигателя.....	31
РАЗДЕЛ 5 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СУШКИ.....	32
5.1 Транспортировка сырых пиломатериалов в сушильный цех, формирование сушильных штабелей.....	32
5.2 Подготовка камеры к работе.....	33
5.3 Пуск и загрузка камеры.....	33
5.4 Этапы процесса сушки пиломатериалов.....	33
5.5 Контроль и регулирование параметров агента сушки.....	35
5.6 Контроль влажности древесины в процессе сушки.....	36
5.7 Контроль за внутренними напряжениями и остаточными деформациями.....	37
РАЗДЕЛ 6 РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ СУШИЛЬНОГО ЦЕХА.....	40
РАЗДЕЛ 7 ОХРАНА ТРУДА И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	41
Заключение.....	43
Список литературы.....	44
Приложение.....	45

## Предисловие

Данный курсовой проект является завершающим этапом изучения дисциплины «Гидротермическая обработка и консервирование древесины» и занимает важное место в формировании профессиональных знаний техника деревообработки.

Древесина является важным и ценным производственным сырьем и без нее невозможно существование деревообрабатывающей отрасли. Растущее дерево, как всякий живой организм, содержит в себе большое количество влаги. В срубленном дереве влага играет отрицательную роль, ухудшая технические свойства древесного материала. Влажная древесина подвержена загниванию, вызываемому разными грибами, разрушающими ее структуру. При изготовлении большого количества изделий влага является серьезной помехой и должна быть предварительно удалена из древесины. С этой целью древесину сушат до определенной влажности, соответствующей условиям эксплуатации сооружения или изделия.

Методические рекомендации составлены применительно к тематике курсового проектирования по специальности 35.02.03 «Технология деревообработки». В методических рекомендациях по выполнению курсового проекта приводится подробная структура с пояснением возможных вариантов сушки древесины в зависимости от вида сушильной камеры.

## 1 Общие методические указания

Основой для выполнения курсового проекта является задание на проектирование, выданное преподавателем на специальном бланке.

В задании должны быть указаны объем проекта и сроки выдачи и окончания проектирования. После окончания проектирования курсовой проект проверяется преподавателем, пишется рецензия с указанием конкретных замечаний и рекомендуемая оценка. Проверенный курсовой проект должен быть защищен студентом, после чего должна быть выставлена итоговая оценка за работу над курсовым проектом в целом.

Прежде чем приступить к выполнению курсового проекта студент должен внимательно ознакомиться с содержанием задания: уточнить характер работы, ее цель, внимательно прочитать методические рекомендации по выполнению курсового проекта.

В методических указаниях предлагается перечень рекомендуемой литературы для выполнения курсового проекта и основные данные из нормативно-технической документации.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка допускается объемом до 35 страниц печатного текста на одной стороне листа писчей бумаги форматом А4. Размер шрифта 14, шрифт Times New Roman, ширина полей (верхнее поле – 20 мм; нижнее поле – 25 мм; левое поле – 30 мм; правое поле – 10 мм). Нумерация страниц производится в правом нижнем углу и начинается с введения. Титульный лист и содержание считаются, но не нумеруются. Введение, каждый новый раздел, заключение и список литературы начинаются с новой страницы.

Графическая часть состоит из двух листов формата А1 и А2 в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД:

1 лист – чертеж сушильной камеры в разрезах на формате А1 в масштабах выбираемых в зависимости от вида сушильной камеры;

2 лист – чертеж плана сушильного цеха на формате А2 в масштабах 1:50 или 1:100.

## 2 Методические указания по выполнению курсового проекта

### ВВЕДЕНИЕ

В этом разделе необходимо изложить задачи, стоящие перед лесной и деревообрабатывающей отраслью. Указать современное состояние деревообрабатывающей промышленности. Необходимо отразить общее состояние сушильного хозяйства, указать цели и задачи сушки. Объем введения не должен превышать 2-3 страниц.

### РАЗДЕЛ 1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В этом разделе необходимо указать принцип действия и описать конструкцию сушильной камеры, привести ее техническую характеристику, указать достоинства и недостатки.

#### *Справочные материалы*

##### Сушильные камеры для пиломатериалов

Сушильные камеры представляют собой помещения с установленным внутри него тепловым и циркуляционным оборудованием. Сушильные камеры различаются: по принципу действия, по способу циркуляции, по характеру применяемого сушильного агента, по типу ограждения.

*По принципу действия* различают камеры периодического действия и камеры непрерывного действия.

В *камерах периодического действия* пиломатериал просушивается одновременно по режимам, одинаковым для всего объема камеры: загрузка и разгрузка в этих камерах ведется после завершения цикла сушки и полного охлаждения камеры. Камеры периодического действия предпочтительнее для сушки пиломатериалов до эксплуатационной влажности, они обеспечивают высокое качество сушки при грамотном ведении процесса и соблюдении режимов сушки. Камеры могут применяться для сушки пиломатериалов до транспортной влажности, но производительность этих камер будет ниже, чем у камер непрерывного действия той же емкости.

В *камерах непрерывного действия* температура поддерживается постоянно, а загрузка и выгрузка осуществляются постепенно по мере просыхания материала. Камеры непрерывного действия, по сравнению с камерами периодического действия той же емкости, более производительны за счет того, что в них не затрачивается дополнительное время на нагрев, охлаждение, полную загрузку и выгрузку камеры. Однако эти камеры не обеспечивают качественную сушку пиломатериалов до эксплуатационной влажности, поэтому они имеют ограниченное применение – в основном для сушки пиломатериалов до транспортной влажности.

*По циркуляции сушильного агента в камере* различают камеры с естественной циркуляцией, принудительной эжекционной циркуляцией и принудительной циркуляцией.

*Камеры с естественной циркуляцией* малопроизводительны, они не обеспечивают равномерность просыхания пиломатериалов и поэтому мало применяются в промышленной сушке древесины.

Недостатком *эжекционных камер* является большой расход электроэнергии, поэтому широкого распространения они также не получили.

*Камеры с принудительной циркуляцией* сушильного агента самые распространенные и востребованные. По схеме циркуляции различают камеры с поперечно-вертикальной и с поперечно-горизонтальной схемами циркуляции. Самая распространенная схема циркуляции и в отечественных, и в зарубежных камерах – поперечно-вертикальная. Поперечно-горизонтальная схема циркуляции в современных сушильных камерах применяется реже, несмотря на то, что отечественные камеры с такой циркуляцией типа СПЛК-2 имеют высокие аэродинамические характеристики и обеспечивают интенсивную и высококачественную сушку пиломатериалов.

*По характеру применяемого сушильного агента* различают *воздушные, газовые* и работающие в среде перегретого пара (*высокотемпературные*) камеры. Имеются также камеры, в которых сушильным агентом может быть как пар, так и воздух - такие камеры называют *паровоздушными*

Наибольшее распространение получили *воздушные камеры*, т. к. они обеспечивают наилучшее качество сушки.

Пиломатериалы, высушенные в *паровых камерах*, имеют меньшую прочность и изменяют цвет.

*Газовые камеры* не обеспечивают необходимого качества, поэтому широкого применения они также не получили.

*По типу ограждения* различают сушильные камеры *стационарные* и *сборные*.

*Стационарные камеры* представляют собой построенные здания, тепловое и циркуляционное оборудование в этих камерах монтируют в процессе строительства.

*Сборные камеры* изготавливают из легко собираемых ограждений, а тепловое и циркуляционное оборудование подбирают по размерам и необходимым характеристикам.

## РАЗДЕЛ 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Цель технологического расчета - определение потребного количества сушильных камер для выполнения заданной годовой программы.

### 2.1 Выбор режима сушки

#### *Категории качества сушки пиломатериалов*

В зависимости от назначения высушиваемых пиломатериалов нормативами установлены четыре категории качества сушки пиломатериалов: I, II, III и 0.

*I категория качества сушки* – высококачественная сушка пиломатериалов до влажности 6-8 % при температуре не более 60-70 °С. 60 °С относится только к толстым пиломатериалам. Данная категория качества сушки пиломатериалов должна обеспечить возможность механической обработки и сборки деталей для высокоточных ответственных соединений, влияющих на эксплуатационные показатели изделий (производство моделей, лыж, приборостроение, точное машиностроение и силовые конструкции).

*II категория качества сушки* – повышенное качество сушки пиломатериалов до влажности 6-10 % при температуре не более 75-85 °С. Допускаемое снижение прочности пиломатериалов на скалывание и ударный изгиб не более 5 %. Данная категория качества сушки пиломатериалов требуется для ответственных соединений, от которых зависит качество изделий (производство столярно-строительных изделий ответственного назначения, мебельное производство и др.)

*III категория качества сушки* – среднее качество сушки пиломатериалов до влажности 8-15 %. Данная категория качества сушки пиломатериалов должна обеспечить механическую обработку и сборку деталей для менее ответственных деталей (производство столярно-строительных изделий, товарное вагоностроение, тара и др.)

*0 категория качества сушки* – сушка пиломатериалов до транспортной влажности 16-20 % (пиломатериалы для экспорта и внутреннего потребления).

После выбора желаемой категории качества и назначения древесины выбираем необходимый режим сушки.

Различают мягкие (М), нормальные (Н), форсированные (Ф) и высокотемпературные (ВТ) режимы сушки пиломатериалов. Режимы: М, Н и Ф относятся к режимам низкотемпературного процесса.

Режим сушки выбирают в зависимости от породы древесины, размеров (толщины) и назначения пиломатериалов.

Рекомендуемые режимы следует выбрать по таблице 1.

Таблица 1

Выбор категории режима сушки пиломатериалов

Категория качества сушки древесины	Конечная влажность древесины, %	Рекомендуемые категории режима сушки
0	19	мягкие (М), нормальные (Н)
1	6-8	нормальные (Н)
2	6-10	нормальные (Н), форсированные (Ф), высокотемпературные (ВТ)
3	8-15	нормальные (Н), форсированные (Ф), высокотемпературные (ВТ)



Номер режимов сушки пиломатериалов устанавливается в зависимости от их толщины, породы и назначения.

Выбранные по соответствующим стандартам режимы сушки для пиломатериалов, указанных в задании, рекомендуется представить в виде таблицы 2а (для камер периодического действия) или таблицы 2б (для камер непрерывного действия).

Таблица 2а

Режимы сушки

Порода	Толщина пиломатериалов	Индекс режима *	Номер ступени режима	Изменение влажности древесины на каждой ступени	Параметры		
					t, °C	Δt, °C	φ
1	2	3	4	5	6	7	8

Таблица 2б

Режимы сушки

Порода	Толщина пиломатериала	Влажность пиломатериала		Индекс режима *	Состояние сушильного агента в разгрузочном конце камеры	Максимальная психрометрическая разность в разгрузочном конце
		Начальная W <sub>н</sub>	Конечная W <sub>к</sub>			
1	2	3	4	5	6	7

\* - индекс режима (см в таблице 1 Приложения)

## 2.2 Определение продолжительности сушки и оборота камеры

а) Определение продолжительности сушки в камерах *периодического* действия при низкотемпературном процессе.

Общая продолжительность сушки пиломатериала ( $\tau_{\text{суш.}}$ ), выраженную в часах, включая начальный прогрев и влаготеплообработку, определяют по формуле (1):

$$\tau_{\text{суш.}} = \tau_{\text{исх.}} * A_p * A_{\text{ц}} * A_k * A_v, \text{ ч} \quad (1),$$

где  $\tau_{\text{исх}}$  - исходная продолжительность собственно сушки пиломатериалов заданной породы, толщины и ширины от начальной влажности 60 % до конечной 12 %, нормальными режимами, в камерах с принудительной циркуляцией средней интенсивности – 1 м/с, при ширине штабеля 1,5-2,0 м (определяют по таблице 3 см Приложение)

$A_p$  - коэффициент жесткости режима сушки (определяют по таблице 3);

$A_{\text{ц}}$  – коэффициент, учитывающий характер и интенсивность циркуляции сушильного агента в камере (определяют по таблице 4 в зависимости от произведения  $\tau_{\text{исх.}} * A_p$  и типа камеры по циркуляции);

$A_k$  – коэффициент, учитывающий категорию качества сушки (определяют по таблице 5);

$A_v$  – коэффициент, учитывающий начальную и конечную влажность древесины (определяют по таблице 6)

Таблица 3

Значение коэффициента  $A_p$

Группа режимов	$A_p$
Форсированные (Ф)	0,80
Нормальные (Н)	1,0
Мягкие (М)	1,70

Таблица 4

Значения коэффициента  $A_{\text{ц}}$

Произведение $\tau_{\text{исх}} * A_p, \text{ ч}$	Типы камер по циркуляции			
	с мощной циркуляцией	с циркуляцией средней интенсивности	со слабой побудительной циркуляцией	с естественной циркуляцией
20	0,65	1,00	1,80	2,60
40	0,70	1,00	1,70	2,30
60	0,75	1,00	1,60	2,00
80	0,80	1,00	1,45	1,75
100	0,85	1,00	1,35	1,55
140	0,90	1,00	1,15	1,30
180	0,93	1,00	1,10	1,15
200 и более	0,95	1,00	1,05	1,10

Значения коэффициента  $A_k$ 

Категория качества	$A_k$
I	1,20
II	1,10
III	1,05
IV, 0	1,0

Таблица 6

Значения коэффициента  $A_b$ 

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

б) Определение продолжительности сушки в камерах *непрерывного* действия

Общую продолжительность сушки пиломатериалов ( $\tau_{\text{суш}}$ ) в камерах с противоточной циркуляцией агента сушки, включая начальный прогрев, определяют по формуле (2):

$$\tau_{\text{суш}} = \tau_{\text{исх}} * A_{\text{ц}} * A_{\text{в}} * A_{\text{п}} * A_{\text{к}}, \text{ ч} \quad (2)$$

где  $\tau_{\text{исх}}$  - продолжительность сушки, включая начальный прогрев, пиломатериалов заданной толщины и ширины в камере с поперечной загрузкой штабелей от начальной влажности 60 до конечной 12 % (определяют по таблице 4 Приложения в зависимости от применяемого режима);

$A_{\text{ц}}$  - коэффициент, учитывающий интенсивность циркуляции воздуха (определяют в зависимости от типа камеры);

$A_{\text{в}}$  - коэффициент, учитывающий начальную ( $W_{\text{н}}$ ) и конечную ( $W_{\text{к}}$ ) влажность древесины (определяют по таблице 7);

$A_{\text{п}}$  - коэффициент породы (определяют по таблице 8 в зависимости от режима сушки);

$A_{\text{к}}$  - коэффициент качества (определяют в зависимости от категории качества сушки по таблице 5)

Таблица 7

Значения коэффициента  $A_{\text{в}}$

$W_{\text{н}}$ , %	Толщина, мм	Нормальный и форсированный режимы при $W_{\text{к}}$ , %					Мягкий режим при $W_{\text{к}}$ , %		
		8	10	12	18	20-22	12	18	20-22
120	13-19	2,29	2,22	2,17	2,17	2,17	2,00	1,85	1,79
	22-25	2,11	2,02	1,95	1,95	1,95	1,60	1,40	1,33
	32-40	1,96	1,85	1,75	1,65	1,58	1,45	1,20	1,10
	45-60	1,77	1,63	1,52	1,32	1,26	1,40	1,15	1,05
	70-75	1,69	1,55	1,44	1,19	1,11	1,40	1,15	1,05
100	13-19	1,88	1,81	1,76	1,76	1,76	1,65	1,50	1,44
	22-25	1,74	1,65	1,58	1,58	1,58	1,35	1,15	1,08
	32-40	1,63	1,52	1,42	1,32	1,25	1,30	1,05	0,95
	45-60	1,58	1,44	1,33	1,13	1,07	1,30	1,05	0,95
	70-75	1,57	1,43	1,32	1,07	0,99	1,30	1,05	0,95
80	13-19	1,48	1,41	1,36	1,36	1,36	1,35	1,20	1,14
	22-25	1,44	1,35	1,28	1,28	1,28	1,25	1,05	0,98
	32-40	1,43	1,31	1,21	1,11	1,04	1,20	0,95	0,85
	45-60	1,43	1,29	1,18	0,98	0,92	1,20	0,95	0,85
	70-75	1,43	1,29	1,18	0,93	0,85	1,20	0,95	0,85
60	13-19	1,12	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,79
	22-25	1,16	1,07	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,73
	32-40	1,21	1,10	1,00	0,90	0,83	1,00	0,75	0,65
	45-60	1,25	1,11	1,00	0,80	0,74	1,00	0,75	0,65
	70-75	1,25	1,11	1,00	0,75	0,67	1,00	0,75	0,65

45	13-19	0,87	0,80	0,75	0,75	0,75	0,75	0,60	0,54
	22-25	0,91	0,82	0,75	0,75	0,75	0,75	0,55	0,48
	32-40	0,96	0,85	0,75	0,65	0,70	0,70	0,45	0,35
	45-60	0,93	0,79	0,68	0,48	0,70	0,70	0,45	0,35
	70-75	0,93	0,79	0,68	0,43	0,70	0,70	0,45	0,35
30	13-19	0,61	0,54	0,49	0,49	0,49	0,50	0,35	0,29
	22-25	0,69	0,60	0,53	0,53	0,53	0,50	0,30	0,23
	32-40	0,77	0,66	0,56	0,46	0,39	0,50	0,25	0,15
	45-60	0,83	0,69	0,58	0,38	0,32	0,50	0,25	0,15
	70-75	0,83	0,69	0,58	0,33	0,25	0,50	0,25	0,15

Таблица 8

### Значения коэффициента $A_n$

Порода	Коэффициент $A_n$	
	Нормальный и форсированный режимы	Мягкий режим
сосна	1,00	1,00
береза, ольха	1,45	1,35
осина	1,10	1,05

в) Определение продолжительности оборота камеры при сушке в камерах периодического действия.

Продолжительность одного оборота камеры определяют по формуле (3):

$$\tau_{об.ф} = \tau_{суш.ф} + \tau_{загр.} \quad (3)$$

где  $\tau_{суш.ф}$  – продолжительность сушки фактического материала в сутках;

$\tau_{загр.}$  - продолжительность загрузки-выгрузки штабелей из камеры в сутках ( $\tau_{загр.}=2,4$  ч)

В камерах непрерывного действия загрузка и разгрузка производится в процессе:

$$\tau_{об.ф} = \tau_{суш.ф} \quad (4)$$

Результаты расчетов продолжительности сушки и оборота камеры для фактического, указанного в задании, и условного материала целесообразно свести в таблицу 9.

## Продолжительность сушки пиломатериалов и оборота камеры

Характеристика пиломатериалов					Категория качества	Категория режима	$\tau_{исх.}$	Коэффициенты					$\tau_{суш.}$		$\tau_{об.ф.}$
Порода	Толщина, мм	Ширина, мм	Влажность, %					$A_p$	$A_{ц}$	$A_k$	$A_b$	$A_{п}$	час.	сут.	
			$W_H$	$W_K$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

*Примечание:* под условным материалом понимают сосновые обрезные доски толщиной 50 мм, шириной 150 мм, длиной более 1 м, высушиваемые по II категории качества от начальной влажности 60 % до конечной 12 %

### 2.3 Перевод объема фактических пиломатериалов в объем условного материала

Учет и планирование работы сушильных камер принято вести в  $m^3$  **условного материала**. Условному материалу эквивалентны сосновые обрезные доски толщиной 40 мм, шириной 150 мм, длиной более 1 м, II категории качества, высушиваемые от начальной влажности 60 % до конечной 12 %.

Количество фактически просушенных пиломатериалов  $\Phi$ ,  $m^3$  переводится в количество условного материала  $Y$ ,  $m^3$ , по формуле (5):

$$Y = \Phi * K_v * K_\tau, \quad (5)$$

$$K_\tau = \frac{\tau_{об.ф.}}{\tau_{об.усл.}}, \quad (6) \quad K_v = \frac{\beta_{ш.усл.} \cdot \beta_{в.усл.} \cdot \beta_{д.усл.}}{\beta_{ш.ф.} \cdot \beta_{в.ф.} \cdot \beta_{д.ф.}}, \quad (7),$$

где  $\Phi$  – объем, подлежащих сушке фактических пиломатериалов, заданных в спецификации,  $m^3$ ;

$K_\tau$  – коэффициент продолжительности сушки материала;

$K_v$  – коэффициент вместимости камеры;

$\tau_{об.ф.}$  – продолжительность сушки фактического материала;

$\tau_{об.усл.}$  – продолжительность сушки условного материала;

$\beta_{ш.}$ ,  $\beta_{в.}$ ,  $\beta_{д.}$  – коэффициенты заполнения штабеля (пакета) по ширине, высоте и длине соответственно.

**Сушка пиломатериалов** и заготовок в камерах осуществляется **в штабелях**.

Различают два типа штабелей: **пакетный**, формируемый из нескольких (2-16) сушильных пакетов и **целый** собираемый целиком на месте его формирования.

Штабель или пакет формируют из горизонтальных рядов досок, уложенных на прокладки. При укладке пиломатериалов в штабель должно быть обеспечено их равномерное обдувание сушильным агентом.

В зависимости от характера циркуляции воздуха через штабель, применяют два метода укладки: сплошными рядами без промежутков между досками и с промежутками – шпациями – между досками ряда. Первый метод укладки, называемый укладкой без шпаций, используется в камерах имеющих поперечное, по отношению к штабелю, движение агента сушки. При движении воздуха в вертикальном или продольном по отношению к штабелю направлении (камеры устаревших конструкций) материал укладывают со шпациями.

Штабель выкладывают в виде параллелепипеда. Его боковые и торцовые поверхности должны быть строго вертикальны.

Размеры целого штабеля обычно составляют: ширина 1,8-2,4 м, высота 2,5-3,0 м, а длина 4,2-6,2 м для пиломатериалов хвойных пород и 3,2-4,2 м – для пиломатериалов лиственных пород. При отсутствии устройств для формирования штабеля, его высота не должна превышать 2,2 м. Высота штабеля при пакетном формировании автопогрузчиком может достигать до 4,0-4,5 м.

Коэффициент заполнения штабеля (пакета) по ширине  $\beta_{ш}$  – отношение суммарной ширины пиломатериалов в горизонтальном ряду штабеля к его ширине.

Величина коэффициента заполнения штабеля по высоте  $\beta_в$  зависит от толщины пиломатериалов  $S$ , мм, и толщины прокладок  $S_{пр}$  и определяется по формуле (8):

$$\beta_в = \frac{S}{S + S_{пр}} \quad (8)$$

Толщина прокладок обычно принимается равной 25 мм, допускается применение прокладок толщиной 22 мм.

Коэффициент заполнения штабеля по длине  $\beta_д$  равен отношению средней длины пиломатериалов к габаритной длине штабеля. При укладке в штабель досок и заготовок разной длины средний коэффициент заполнения штабеля по длине принимается равным 0,85.

Таблица 10

Перевод объема фактического пиломатериала в объем условного пиломатериала

Характеристика материала			Продолжительность оборота камеры, сут.		Коэффициенты				Объем пиломатериалов, м <sup>3</sup>	
порода	толщина	ширина	$\tau_{об.ф.}$	$\tau_{об.усл.}$	$K_{\tau}$	$\beta_{ф}$	$\beta_{усл.}$	K	Ф	У

## 2.4 Расчет годовой производительности камеры на условном материале

Годовую производительность камеры на условном пиломатериале определяют по формуле (9):

$$P_y = \frac{335}{\tau_{об.усл.}} \cdot \beta_{усл.} \cdot \Gamma, \text{ м}^3 \text{ усл./год} \quad (9),$$

где 335 - плановая продолжительность работы камер в течение календарного года с учетом необходимости их периодического ремонта, в сутках;

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

$\tau_{об.усл.}$  – продолжительность одного оборота камеры при сушке условного материала в сутках;

$\Gamma$  – габаритный объем штабелей в камере,  $\text{м}^3$

$$\Gamma = L * B * H * m, \text{ м}^3 \quad (10)$$

L, B, H – габаритные размеры штабеля (длина, ширина, высота), м;  
m - число штабелей в камере, шт.

## 2.5 Расчет потребного количества сушильных камер

Потребное количество камер рассчитывается по формуле (11):

$$n = \frac{\Sigma Y}{P_y}, \quad (11)$$

где  $\Sigma Y$  - общий объем условного материала, подсчитанный в таблице 10,  $\text{м}^3 \text{ усл.}$ ;

$P_y$  – годовая (плановая) производительность одной камеры на условном материале,  $\text{м}^3 \text{ усл./год}$

Принятое количество камер определяется округлением n до ближайшего целого числа.

## РАЗДЕЛ 3 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

Цель теплового расчета состоит в определении затрат тепла и расхода пара на сушку древесины, выборе и расчете теплового оборудования камер (калориферов, конденсатоотводчиков).

### 3.1 Выбор расчетного материала

За расчетный материал принимается самый быстросохнувший материал из заданной спецификации (табл. 9). Сушка быстросохнущего материала требует мощного теплового и циркуляционного оборудования.



*Пример записи:* За расчетный материал принимаем сосну толщиной 40 мм.

### 3.2 Определение параметров агента сушки на входе в штабель

а) Агент сушки – влажный воздух. По выбранному для расчетного материала режиму (табл. 2а или 2б) назначаются параметры ( $t_1$ ,  $\varphi_1$ ) агент сушки на входе в штабель. Для камер периодического действия эти параметры берутся по второй ступени режима, для противоточных камер непрерывного действия они соответствуют параметрам в разгрузочном конце камеры.

Влагосодержание  $d_1$ , теплосодержание  $J_1$ , парциальное давление пара  $P_{п1}$ , плотность  $\rho_1$  и удельный объем  $v_1$  определяются по Id-диаграмме (см рис.1 Приложения).

Значения параметров агента сушки на входе в штабель записывается в таблицу 11 (удельная теплоемкость перегретого пара определяется при сушке высокотемпературными режимами).

б) Агент сушки – перегретый пар.

При использовании высокотемпературных режимов в камерах периодического действия параметры ( $t_1$ ,  $\varphi_1$ ) агента сушки на входе в штабель назначаются по первой ступени. Теплосодержание  $J_1$ , плотность  $\rho_1$ , удельный объем  $v_1$ , удельная теплоемкость  $C_{п1}$  перегретого пара определяется по рис.1 Приложения. Значения параметров записываются в таблицу 11

Таблица 11

Параметры агента сушки на входе в штабель

№ п/п	Наименование	Обозначение	Единицы измерения	Значение
1	Температура	$t_1$	$^{\circ}\text{C}$	
2	Относительная влажность (степень насыщенности)	$\varphi$	%	
3	Влагосодержание	$d_1$	г/кг	
4	Теплосодержание (энтальпия пара)	$J_1$	кДж/кг	
5	Парциальное давление	$P_{п1}$	кПа	
6	Плотность	$\rho_1$	кг/м <sup>3</sup>	
7	Удельный объем	$v_1$	м <sup>3</sup> /кг	
8	Температура смоченного термометра	$t_m$	$^{\circ}\text{C}$	
9	Удельная теплоемкость перегретого пара	$C_{п1}$	кДж/(кг.град.)	

### 3.3 Расчет количества испаряемой влаги

а) Масса влаги, испаряемой из 1 м<sup>3</sup> древесины, определяется по формуле (12):

$$M_{1м^3} = \rho_{усл.} \cdot \frac{W_H - W_K}{100}, \text{ кг/м}^3 \quad (12),$$

$\rho_{усл.}$  – условная плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>

Значение условной (базисной) плотности берется из таблицы 5 Приложения.

$W_H, W_K$  – соответственно начальная и конечная влажность, %

б) Масса влаги, испаряемой за время одного оборота камеры, определяется по формуле (13):

$$M_{об.кам.} = M_{1м^3} \cdot E, \text{ кг/об} \quad (13),$$

где  $E$  – вместимость (емкость) камеры, м<sup>3</sup>

$$E = \Gamma \cdot \beta_\phi, \text{ м}^3 \quad (14),$$

где  $\Gamma$  – габаритный объем всех штабелей в камере, м<sup>3</sup>;

$\beta_\phi$  – объемный коэффициент заполнения штабелей, фактическим (расчетным) материалом

Значения  $\Gamma$  и  $\beta_\phi$  были определены в технологическом расчете

в) Масса влаги, испаряемой из камеры в секунду, определяется по формуле (15):

$$M_{сек} = \frac{M_{1м^3} \cdot E}{3600 \cdot \tau}, \text{ кг/сек} \quad (15)$$

Влагосодержание агента сушки на выходе из штабеля определяется по формуле (16):

$$d_2 = \frac{1000}{q_{ум.}} + d_1, \text{ г/кг} \quad (16)$$

Таблица 12

Параметры агента сушки на выходе из штабеля

№ п/п	Наименование	Обозначение	Единицы измерения	Значение
1	Температура	$t_2$	$^{\circ}\text{C}$	
2	Относительная влажность (степень насыщенности)	$\phi$	%	
3	Влагосодержание	$d_2$	г/кг	

4	Теплосодержание (энтальпия пара)	$J_2$	кДж/кг	
5	Парциальное давление	$P_{п2}$	кПа	
6	Плотность	$\rho_2$	кг/м <sup>3</sup>	
7	Удельный объем	$v_2$	м <sup>3</sup> /кг	
8	Температура смоченного термометра	$t_m$	°С	
9	Удельная теплоемкость перегретого пара	$C_{п2}$	кДж/(кг.град.)	

Продолжительность собственно сушки расчетного материала определяется по формуле (17):

$$\tau_{\text{соб.суш.}} = \tau_{\text{суш.}} - (\tau_{\text{пр.}} + \tau_{\text{кон.ВТО}}), \text{ ч} \quad (17),$$

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

$\tau_{\text{пр.}}$  – продолжительность начального прогрева, ч;

$\tau_{\text{кон.ВТО}}$  – продолжительность конечной влаготеплообработки.

Продолжительность начального прогрева принимается в среднем из расчета 1,5 часа на каждый сантиметр толщины материала.

г) Расчетное количество испаряемой влаги в секунду определяется по формуле (18):

$$M_{\text{рас.}} = M_{\text{сек.}} * x, \text{ кг/сек} \quad (18),$$

где  $x$  – коэффициент неравномерности скорости сушки, варьируемый в пределах от 1,1 до 2,0. Для установок непрерывного действия этот коэффициент равен 1.

### 3.4 Определение объема циркулирующего агента сушки на выходе из штабеля

#### *Камеры периодического действия. Низкотемпературный процесс.*

а) Объем циркулирующего по материалу агента сушки определяется по формуле (19):

$$V_{\text{ит.}} = v_{\text{ц}} * F_{\text{ж.с.ит.}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (19)$$

где  $v_{\text{ц}}$  – скорость циркуляции агента сушки по материалу, принятая ранее в технологическом расчете;

$F_{\text{ж.с.ит}}$  – площадь поперечного сечения потока

$$F_{\text{ж.с.ит}} = L * H * (1 - \beta_{\text{д}} * \beta_{\text{в}}), \text{ м}^2 \quad (20)$$

б) Масса циркулирующего по материалу агента сушки в секунду определяется по формуле (21):

$$G_{ум.} = \frac{V_{ум.}}{v_1}, \text{ кг/с} \quad (21)$$

$v_1$  – приведенный удельный объем агента сушки на расчетной ступени режима, м<sup>3</sup>/кг (определяется по *Id*-диаграмме)

в) Удельный расход циркулирующего агента сушки на 1 кг испаряемой влаги определяется по формуле (22):

$$q_{ум.} = \frac{G_{ум.}}{M_{рас}}, \text{ кг/кг.вл.} \quad (22)$$

### 3.5 Расчет приточно-вытяжных каналов

а) Удельная масса свежего и отработавшего воздуха определяется по формуле (23):

$$q_0 = \frac{1000}{d_2 - d_0}, \quad (23)$$

где  $d_0$  – влагосодержание свежего воздуха, г/кг

Вентиляция рассчитывается для летних условий ( $t_0 = 20$  °С), для которых  $d_0 = 10-12$  г/кг при поступлении свежего воздуха из помещения цеха или снаружи.

б) Объем свежего  $V_0$  и отработавшего  $V_2$  воздуха определяется по формулам (24) и (25):

$$V_0 = q_0 * M_{рас} * v_0, \text{ м}^3/\text{с} \quad (24) \quad V_2 = q_0 * M_{рас} * v_2, \text{ м}^3/\text{с} \quad (25)$$

где  $v_0$  – удельный объем свежего воздуха, м<sup>3</sup>/кг;

$v_2$  – удельный объем отработавшего воздуха, м<sup>3</sup>/кг

Удельный объем  $v_2$  указан в таблице 12, а удельный объем  $v_0 = 0,87$  м<sup>3</sup>/кг при  $t_0 = 20$  °С

в) Площадь сечения приточно-вытяжных каналов определяется по формулам (26) и (27):

$$F_{кан.} = \frac{V_0}{W_{кан.}}, \text{ м}^2 \quad (26) \quad F_{кан.} = \frac{V_2}{W_{кан.}}, \text{ м}^2 \quad (27),$$

где  $W_{кан.}$  – скорость движения приточного и отработанного агента сушки в каналах, м/с. Принимается для воздуха в пределах 3-9 м/с, для перегретого пара до 15 м/с.

Приточно-вытяжные каналы могут быть круглой, квадратной или прямоугольной формы. Зная  $F_{кан.}$ , легко установить размеры (диаметр, стороны квадрата или прямоугольника).

При круглой форме диаметр канала вычисляется по формуле (28):

$$d_{кан.} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{кан.}}{\pi}}, \text{ м} \quad (28)$$

### 3.6 Расчет расхода тепла на сушку

Расход тепла на сушку складывается из затрат тепла на прогрев материала, испарение из него влаги и на теплопотери через ограждения камеры.

а) Расход тепла на прогрев  $1 \text{ м}^3$  древесины определяется по формуле (29):

$$q_{пр.1м3} = q_{пр.1кг} * \rho_{вн}, \text{ кДж/м}^3,$$

где  $q_{пр.1кг}$  – затраты тепла на прогрев 1 кг влажной древесины, кДж/кг;

Значение  $q_{пр.1кг}$  определяется по диаграмме, как сумма абсолютных теплосодержаний древесины заданной начальной влажности при нагреве от температуры  $t_{расч}$

$\rho_{вн}$  – плотность древесины расчетного материала при заданной начальной влажности,  $\text{кг/м}^3$

Значение плотности  $\rho_{вн}$  определяют по диаграмме (рис.2 Приложения) в зависимости от породы и начальной влажности расчетного материала.

б) Удельный расход тепла на начальный прогрев древесины (на 1 кг подлежащий испарению влаги) определяется по формуле (30):

$$q_{пр.уд.} = \frac{q_{пр.1м3}}{M_{1м3}}, \text{ кДж/кг.вл.}$$

в) Расход тепла на прогрев древесины в камере в секунду для зимних условий определяется по формуле (31):

$$Q_{пр.зим.} = \frac{q_{пр.1м3} \cdot E_{пр}}{3600 \cdot \tau_{пр}}, \text{ кВт} \quad (31),$$

где  $E_{пр}$  – объем прогреваемого материала,  $\text{м}^3$

В камерах периодического действия  $E_{пр}$  равен вместимости камеры, т. е. емкости всех штабелей в камере, а в камерах непрерывного действия – емкости всего штабеля;

$\tau_{пр.}$  - продолжительность начального прогрева древесины, ч

Принимается ориентировочно для пиломатериалов мягких хвойных пород летом 1,5 ч., зимой 2 ч на каждый сантиметр толщины материала; для пиломатериалов мягких лиственных пород (береза, осина, ольха и др.) время прогрева увеличивается на 25 %, а для пиломатериалов твердых пород (дуб, бук, лиственница и др.) – на 50 %.

г) Удельный расход тепла на испарение 1 кг влаги при низкотемпературном процессе сушки (режимы М, Н, Ф) определяется по формуле (32):

$$q_{исп.} = 1000 \cdot \frac{J_2 - J_0}{d_2 - d_0} - C_e \cdot t_{np.}, \quad \text{кДж/кг.вл.} \quad (32),$$

где  $J_2$  – теплосодержание воздуха на выходе из штабеля, кДж/кг;

$J_0$  – теплосодержание свежего (приточного) воздуха, кДж/кг;

$d_2$  – влагосодержание воздуха на выходе из штабеля, г/кг;

$d_0$  – влагосодержание свежего (приточного) воздуха, г/кг;

При поступлении воздуха из коридора управления или наружного воздуха летом допустимо принять  $d_0 = 10-12$  г/кг,  $J_0 = 46$  кДж/кг; при поступлении наружного воздуха зимой  $d_0 = 1 - 2$  г/кг.

$C_e$  – удельная теплоемкость воды,  $C_e = 4,19$  кДж/(кг \* °С);

$t_{np.}$  - температура нагретой влаги в древесине, °С. Принимается равной температуре прогрева (см табл. 13).

Таблица 13

Категория режима	Температура $t_{np.}$ , °С, при толщине пиломатериалов $S_1$ , 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
М	67	67	64	64	63	60	60
Н	98	94	90	85	80	72	63
Ф	100	100	100	100	98	88	-
ВТ	101	101	101	101	101	101	101

д) Расход тепла в камере на испарение влаги в секунду определяется по формуле (33):

$$Q_{исп.} = q_{исп.} * M_{рас}, \quad \text{кВт} \quad (33),$$

где  $M_{рас}$  – расчетное количество испаряемой влаги, кг/с.

е) Расчет потерь тепла через ограждения камеры в секунду выполняется для каждого ограждения отдельно по формуле (34):

$$Q_{огр.зим.} = F * K * (t_{кам.} - t_{расч.}) * C * 10^{-3}, \quad \text{кВт} \quad (34),$$

где  $F$  - площадь поверхности ограждения, м<sup>2</sup>;

$K$  - коэффициент теплопередачи данного ограждения, Вт/(м<sup>2</sup> \* °С);

$t_{кам.}$  – температура агента сушки в камере определяется как среднее значение температур на входе и выходе из штабелей, т. е.:

$$t_{кам.} = (t_1 + t_2)/2, \quad \text{°С} \quad (35)$$

$t_{расч.}$  - расчетная температура вне камеры для зимних условий, °С.

Если ограждения располагаются внутри здания сушильного цеха, то  $t_{расч.}$  принимается  $20^{\circ}\text{C}$ . Если же они соприкасаются с наружным воздухом, то  $t_{расч.}$  определяется по климатологическим таблицам (см таблицу 6 Приложения);

$C$  – коэффициент увеличения теплопотерь, равный 1,5 – при мягких режимах сушки, 2 – при нормальных, форсированных и высокотемпературных режимах.

Расчет теплопотерь через ограждения камеры сводятся в таблицу 14

Таблица 14

Потери тепла через ограждения камеры

Название ограждения	F		$K_2$ Вт/( $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	$t_{кам.},$ $t_{0}^{\circ}\text{C}$	$t_{расч.},$ $t_{0}^{\circ}\text{C}$	$t_{кам.},$ $t_{расч.},$	Коэф-т C	$Q_{огр.зим.}$
	Расчетная формула	Значение $\text{м}^2$						
Наружная боковая стена	$L \cdot H$							
Торцовая задняя стена	$V \cdot H$							
Торцовая передняя стена (без двери)	$V \cdot H - b \cdot h$							
Потолок	$V \cdot L$							
Пол								
Дверь	$b \cdot h$							
<b>Итого:</b>								$\Sigma$

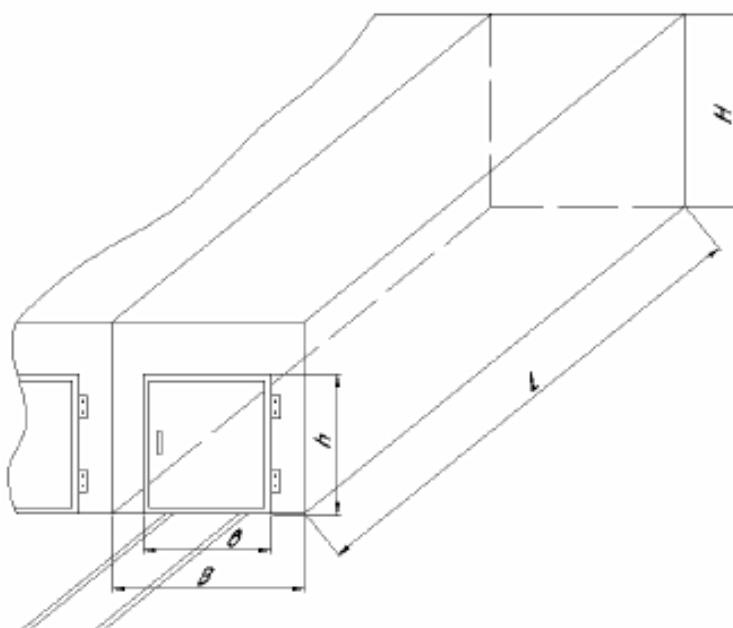


Рис.1 Схема к расчету потерь тепла через ограждения камеры

Потери тепла через смежные (междукамерные) стены в расчет не принимаются. Чтобы правильно определить расчетную температуру для всех ограждающих поверхностей, необходимо выбрать возможный вариант планировки камер в цехе.

Для определения коэффициента теплопередачи ограждений необходимо знать их конструкцию, т. е. толщину и материал. Толщина наружных стен стационарных лесосушильных камер рекомендуется в два (510 мм) или в два с половиной (640 мм) кирпича, а внутренних между смежными камерами – полтора кирпича (380 мм). Ограждения сборно-металлических камер изготавливаются в виде щитов толщиной 120-150 мм с каркасом из профильной стали, с двухсторонней обшивкой их листовым металлом и заполнением теплоизоляцией (шлаковата, стекловата, асбеста и т. п.). Значения коэффициента теплопроводности кирпичных стен, потолка (из железобетонных плит с утеплителями), дверей, ограждений сборных камер указаны в таблице 7 Приложения.

В настоящее время для камер любых конструкций рекомендуются каркасные двери (из профильной стали), покрытые листами нержавеющей металла с теплоизоляцией между ними. С целью облегчения конструкции дверей их толщина может быть 80-100 мм с дополнительной теплоизоляцией. Для таких дверей следует принимать  $K=0,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Коэффициент теплопередачи пола принимается равным половине значения коэффициента теплопередачи наружной стены. При расчете площади пола ширина внешней зоны теплопотерь через фундаменты принимаются равной 1,5 м. Теплопотери через ограждения камеры  $\Sigma Q_{\text{огр.зим}}$  находятся путем суммирования потерь через все ограждающие конструкции.

ж) Удельный расход тепла на потери через ограждения определяется по формуле (36):

$$q_{\text{огр.зим}} = \frac{\Sigma Q_{\text{огр.зим}}}{M_{\text{рас}}}, \text{ кДж/кг.вл.} \quad (36)$$

з) Суммарный удельный расход тепла на сушку для зимних условий определяется по формуле (37):

$$q_{\text{зим}} = (q_{\text{пр.зим}} + q_{\text{исп.}} + q_{\text{огр.зим}}) * C_1, \text{ кДж/кг.вл.} \quad (37)$$

где  $C_1$  - коэффициент учитывающий дополнительный расход тепла на подогрев оборудования, периодически охлажденных элементов ограждений и пр.  $C_1 = 1,1-1,3$ .

### 3.7 Выбор и расчет калориферов

В лесосушильной технике принимается, как правило, для нагрева агента сушки компактные пластинчатые калориферы и сборные калориферы из



чугунных ребристых труб. Тип применяемых в сушильной камере калориферов обусловлен конструкцией камеры.

Потребная площадь поверхности нагрева калориферов определяется по формуле (38):

$$F_{\text{кал.расч.}} = \frac{1000 \cdot Q_{\text{к.зим.}} \cdot C_2}{K_{\text{кал.}}(t_{\text{м.н.}} - t_{\text{кам.}})}, \text{ м}^2 \quad (38),$$

где  $Q_{\text{к.зим.}}$  – количество тепла, которое должен обеспечивать калорифер в зимних условиях, кВт;

$C_2$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнения калориферов.

$C_2 = 1,1-1,2$ ;

$K_{\text{кал.}}$  – коэффициент теплопередачи калорифера, Вт/(м<sup>2</sup> \* °С);

$t_{\text{м.н.}}$  - температура теплоносителя, °С.

Значение  $t_{\text{м.н.}}$  определяется по таблице 15 в зависимости от давления

Таблица 15

Значения температуры и плотности воды и насыщенного водяного пара от давления

Давление теплоносителя, МПа	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Температура теплоносителя, $t_{\text{м.н.}}$ , °С	99,6	120	133	144	152
Плотность пара, $\rho_{\text{п}}$ , кг/м <sup>3</sup>	0,59	1,13	1,62	2,12	2,62
Плотность воды, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	958	945	934	925	916

$t_{\text{кам.}}$  – температура агента сушки в камере, °С.

Для камер **периодического действия**, когда прогрев древесины осуществляется условным впуском пара через увлажнительные трубы, причем в разное время с процессом испарения влаги  $Q_{\text{к.зим.}}$  рассчитывается по формуле (39):

$$Q_{\text{к.зим.}} = Q_{\text{исп.}} + \Sigma Q_{\text{огр.зим.}}, \text{ кВт} \quad (39)$$

В камерах **непрерывного действия**:

$$Q_{\text{к.зим.}} = Q_{\text{пр.зим.}} + Q_{\text{исп.}} + \Sigma Q_{\text{огр.зим.}}, \text{ кВт} \quad (40)$$

Для определения значения  $K_{\text{кал.}}$  необходимо знать скорость агента сушки, проходящего через калорифер,  $w_{\text{кал.}}$ , которую можно подсчитать, если известна площадь живого сечения калориферов  $F_{\text{ж.с.кал.}}$ . Значение  $F_{\text{ж.с.кал.}}$  определяется по формуле, которая указана чуть далее, но предварительно принимается поверхность нагрева калориферов  $F_{\text{кал.пр.}}$  по типовому проекту, из технической характеристики камеры или из расчета (2-5) Еусл. –

для камер непрерывного действия, (10-15) Еусл. – для низкотемпературных камер, где Еусл. – вместимость камеры на условном материале.

Далее определяется ориентировочное количество калориферов -из ребристых труб:

$$n_{p.тр.} = \frac{F_{к.тр.}}{f_{1тр.}} \quad (41)$$

-пластинчатых:

$$n_{пл.} = \frac{F_{к.тр.}}{f_{1кал.}} \quad (42),$$

где  $F_{к.тр.}$  – предварительно принятая поверхность нагрева калориферов;  
 $f_{1тр.}$ ,  $f_{1кал.}$  - площадь поверхности нагрева одной ребристой трубы и одного пластинчатого калорифера.

При длине труб 2; 1,5 и 1 м,  $f_{1тр.}$  равна 4; 3 и 2 м<sup>2</sup> соответственно  
 $f_{1кал.}$  - определяется из технических характеристик.

**Площадь живого сечения калориферов из ребристых труб** определяется по формуле (43):

$$F_{ж.с.кал.} = F_{кан.} - F_{пр.тр.}, \quad м^2 \quad (43),$$

где  $F_{кан.}$  - площадь сечения канала (в котором размещены трубы), перпендикулярно потоку агента сушки, м<sup>2</sup>;

$F_{пр.тр.}$  – площадь проекций ребристых труб на плоскость, перпендикулярную направлению потока агента сушки.

$$F_{пр.тр.} = f_{пр.тр.} * n_{р.тр.}, \quad м^2 \quad (44),$$

где  $f_{пр.тр.}$  – площадь проекции одной трубы, равная при длине труб 1,0; 1,5 и 2,0 м соответственно 0,093; 0,139 и 0,185 м<sup>2</sup>;

$n_{р.тр.}$  - количество труб в плоскости, перпендикулярной направлению потока агента сушки.

**Площадь живого сечения пластинчатых калориферов:**

$$F_{ж.с.кал.} = f_{ж.с.1кал.} * n_{пл.}, \quad м^2 \quad (45)$$

де  $f_{ж.с.1кал.}$  – живое сечение одного пластинчатого калорифера м<sup>2</sup>. Значение  $f_{ж.с.1кал.}$  определяется из технических характеристик;

$n_{пл.}$  - количество пластинчатых калориферов в одном ряду, перпендикулярно потоку агента сушки.

Количество калориферов устанавливается путем предварительного размещения калориферов в соответствующих каналах камеры.

Скорость циркуляции агента сушки через калорифер определяется по формуле (46):

$$w_{\text{кал.}} = \frac{V_{\text{ц}}}{F_{\text{ж.с.кал.}}}, \text{ м/с} \quad (46),$$

где  $V_{\text{ц}}$  – объем циркулирующего агента сушки, определяемый по формуле (47):

$$V_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{шт.}}}{\zeta}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (47),$$

где  $\zeta$  (дзета) – коэффициент использования потока сушильного агента характеризующий отношение количества агента сушки, проходящего сквозь штабеля материалов к общему количеству циркулирующего в камерах агента сушки, принимается по опытным данным в пределах 0,5 – 0,7.

Далее для калорифера из ребристых труб определяется приведенная скорость агента сушки, т. е. скорость при  $t = 0^{\circ}\text{C}$ .

$$w_0 = \frac{w_{\text{кал.}} \cdot \rho_1}{1,3}, \text{ м/с} \quad (48),$$

где  $\rho_1$  - плотность агента сушки на входе в штабель,  $\text{кг/м}^3$ .

1,3 – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$  при  $t = 0^{\circ}\text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст.

Значение коэффициента теплопередачи калориферов  $K_{\text{кал}}$  определяется в зависимости от приведенной скорости.

Для определения значения коэффициента теплопередачи пластинчатых калориферов находится массовая (весовая) скорость, равная произведению  $w_{\text{кал.}} \cdot \rho_1$ , затем по таблице 16 определяется значение.

Таблица 16

Коэффициенты теплопередачи калориферов

Калорифер (тип)	Номер калорифера	Значения $k$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ , при $(\rho_1 \cdot v_{\text{к}})_{\text{ж. сеч}}$ , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , или $\rho_1 v_{\text{фр}}$ , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , или $v_{\text{к}}$ , $\text{м/с}$						
		2	3	5	7	9	11	13
КС <sub>к3</sub>	6...12	-	30,0	37,0	43,0	50,0	54,0	58,0
КС <sub>4</sub>	6...12	-	26,0	34,0	39,0	45,0	52,0	56,0
КПЗ-СК	6...10	37,0	45,0	58,0	66,0	-	-	-
	11,12	35,5	43,0	52,0	63,0	-	-	-
КП4-СК	6...10	41,0	48,0	59,5	69,0	-	-	-
	11,12	39,0	46,0	57,0	66,0	-	-	-
Калориферы из биметаллических труб диаметром 56 мм при шаге труб в плоскости, перпендикулярной потоку агента сушки:								
- 74 мм	-	17,5	21,0	26,5	31,5	37,0	-	-
- 80 мм	-	15,8	19,0	24,5	29,0	34,5	-	-
- 100 мм	-	14,2	17,0	22,5	27,5	33,0	-	-

Найденной значение  $K_{\text{кал}}$  подставляется в формулу и определяется расчетное значение поверхности нагрева калориферов  $F_{\text{к.расч.}}$ .

Количество ребристых и пластинчатых калориферов уточняют по формулам (49), (50):

$$n_{\text{р.пр.}} = \frac{F_{\text{к.расч.}}}{f_{1\text{пр.}}} \quad (49), \quad n_{\text{пл.}} = \frac{F_{\text{к.расч.}}}{f_{1\text{кал}}} \quad (50)$$

С учетом возможности снижения давления теплоносителя или интенсификации процессов сушки расчетное количество калориферов можно увеличить.

Полученное количество калориферов увеличивается до большого целого числа, а окончательное их количество устанавливается с учетом равномерного размещения в каналах камеры.

### 3.8 Определение расходов пара

а) максимальный часовой расход пара:

-для камеры периодического действия в **период сушки** и для камеры непрерывного действия определяется по формуле (51):

$$D_{\text{з.суш.}} = \frac{3600 \cdot Q_{\text{к.зим.}} \cdot C_3}{\tau}, \text{ кг/ч} \quad (51),$$

где  $Q_{\text{к.зим.}}$  – тепловая мощность калорифера, определенная ранее, кВт;

$C_3$  – коэффициент, учитывающий потери тепла паропроводами, конденсаторами, конденсатоотводчиками,  $C_3 = 1,25$ ;

$\tau$  - теплота парообразования (конденсации) пара, кДж/кг.

-для камеры периодического действия в **период прогрева**:

$$D_{\text{з.пр.}} = \frac{3600 \cdot (Q_{\text{пр.зим.}} + \Sigma Q_{\text{оог.зим.}}) \cdot C_3}{\tau}, \text{ кг/ч} \quad (52)$$

где  $Q_{\text{пр.зим.}}$  – расход тепла на начальный прогрев, определенный ранее, кВт;

$\Sigma Q_{\text{оог.зим.}}$  – теплопотери через ограждения камеры.

б) максимальный часовой расход пара сушильным цехом:

-на блок камер периодического действия определяется по формуле (53):

$$D_{\text{цеха зим.}} = D_{\text{з.пр.}} \cdot n_{\text{пр.}} + D_{\text{з.суш.}} \cdot n_{\text{суш.}}, \text{ кг/ч} \quad (53),$$

где  $n_{\text{пр.}}$  – число камер, в которых одновременно производится прогрев древесины принимается равным 1/6 от общего числа камер, но не менее одной.

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

-на блок камер непрерывного действия:

$$D_{цеха зим.} = D_{з.суш.} * n_k \quad \text{кг/ч} \quad (54),$$

где  $n_k$  – общее число камер непрерывного действия.

в) часовой расход пара сушильным цехом для среднегодовых условий определяется по формуле (55):

$$D_{цеха ср.год.} = 0,8 * D_{цеха зим.}, \quad \text{кг/ч} \quad (55)$$

### 3.9 Выбор и расчет конденсатоотводчиков

Для предохранения отвода не отработавшего пара и удаления из калорифера скопляющегося (по мере отдачи паром тепла агенту сушки) конденсата применяют различные конденсатоотводчики: гидростатические, термостатические и термодинамические. В настоящее время наилучшими признаны термодинамические конденсатоотводчики, компактные и надежные в работе. Диаметр условного прохода термостатических конденсатоотводчиков выбирается по диаграмме от производительности и давления пара в калорифере.

$$П = \frac{D_{з.суш.}}{3600} \quad (56)$$

Устанавливаются основные параметры выбранного конденсатоотводчика.

## РАЗДЕЛ 4. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

### 4.1 Общая часть

Основными задачами аэродинамического расчета установок для сушки пиломатериалов являются: выбор типа, размеров и количества вентиляторов требуемой производительности, определение числа оборотов вентиляторов и необходимой мощности двигателей для их привода, а также количества потребляемой электроэнергии.

Выбор вентиляторов и их параметров производится по индивидуальным или обобщенным аэродинамическим характеристикам в соответствии с требуемой производительностью и напором.

Полный напор  $H_v$ , развиваемый вентилятором, в общем случае должен быть равен сумме статического и динамического напоров:

$$H_v = H_{ст} + H_{д}, \quad (57)$$

Статический напор  $H_{ст}$  равен сумме сопротивлений всех последовательных участков на пути движения агента сушки в камере:

$$H_{ст} = \Sigma \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \left( \frac{\xi \cdot l}{d_{эк}} + \zeta \right), \text{ Па} \quad (58),$$

где  $\rho$  – плотность агента сушки, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – скорость циркуляции агента сушки на участках системы, м/с;

$l$  – длина участка (канала), м;

$d_{эк}$  – эквивалентный диаметр, м;

$\xi$  (кси) - коэффициент трения о стенки каналов и воздуховодов;

$\zeta$  - коэффициент местных потерь (сопротивлений)

Для расчета  $H_{ст}$  необходимо составить схему контура циркуляции агента сушки в камере, разбив его на характерные расчетные участки местных сопротивлений. Скорость движения воздуха на каждом участке определяется по общей формуле (59):

$$v_i = \frac{V_{шт.}}{F_{ж.с.шт.}}, \text{ м/с} \quad (59)$$

где  $V_{шт.}$  - объем циркулирующего агента сушки, м<sup>3</sup>/с;

$F_{ж.с.шт.}$  – поперечное сечение канала, свободное для прохода агента сушки, м<sup>2</sup>

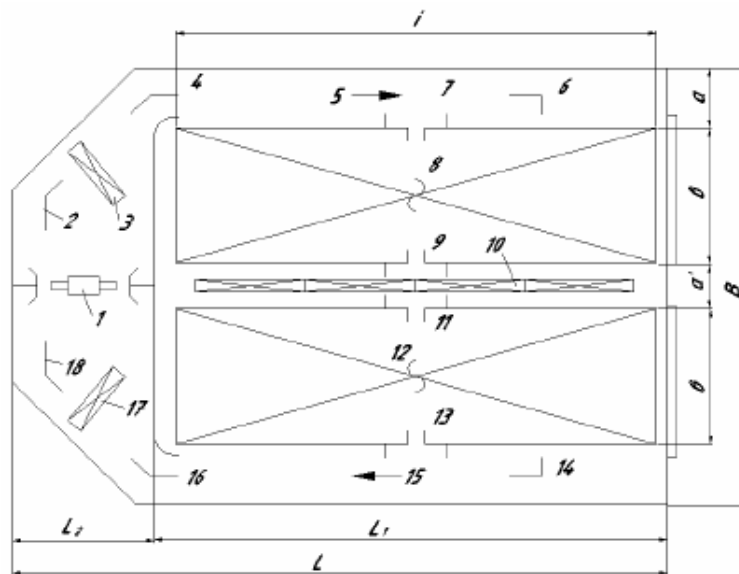


Рис.2 Схема к аэродинамическому расчету камеры типа СПМ – 1К

Таблица 17

Участки циркуляции агента сушки в камере СПМ – 1К

Номера участков	Наименование участков
1	Вентилятор
2, 4, 16, 18	Повороты под углом 135°
3, 17	Секционные биметаллические calorиферы
5, 15	Боковые каналы
6, 14	Повороты под углом 90°
7, 11	Вход в штабель (внезапное сужение)
8, 12	Штабели
9, 13	Выход из штабеля (внезапное расширение)
10	Секционный биметаллический calorифер

## 4.2 Определение скорости циркуляции агента сушки по каждому участку

Для определения сопротивления каждого участка необходимо знать скорость агента сушки на каждом участке. Поскольку объем циркулирующего агента сушки определенный в тепловом расчете, известен, то следует вначале определить «живые» сечения на каждом участке с тем, чтобы рассчитать далее скорость.

## 4.3 Выбор вентилятора

Серийные вентиляторы подбираются по аэродинамическим характеристикам:

- индивидуальным,
- групповым,
- безразмерным

## 4.4 Определение мощности и выбор электродвигателя

Максимальная теоретическая мощность вентилятора  $N_{\theta}$ , кВт, определяется в зависимости от его напора  $H_{хар}$ , Па, производительности  $V_{\theta}$ , м<sup>3</sup>/с и КПД по формуле (60):

$$N_{\theta} = \frac{H_{хар} \cdot V_{\theta}}{\eta_{\theta}} \cdot 10^{-3}, \quad (60),$$

где  $\eta_{\theta}$  – КПД вентилятора по аэродинамической характеристике.

Мощность электродвигателя для привода вентиляторов определяется по формуле (61):

$$N' = \frac{N_{\theta} \cdot K_з \cdot K_t}{\eta_n}, \quad \text{кВт} \quad (61),$$

где  $K_з$  – коэффициент запаса мощности на пусковой момент;

$K_t$  – коэффициент запаса, учитывающий влияние температуры среды, где расположен электродвигатель;

$\eta_n$  – КПД передачи: 1,0 – при непосредственной насадке ротора вентилятора на вал электродвигателя; 0,95 – при соединении вала вентилятора и электродвигателя с помощью муфты; 0,90 – при использовании передачи с клиновыми ремнями; 0,85 – с плоскими ремнями

Таблица 18

Значение коэффициента запаса  $K_3$

Мощность электродвигателя, кВт	Коэффициент запаса $k_3$	
	Центробежный вентилятор	Осевой вентилятор
До 0,5	1,50	1,20
От 0,5 до 1,0	1,30	1,15
От 1,0 до 2,0	1,20	1,10
От 2 до 5,0	1,15	1,05
Более 5,0	1,10	1,05

Таблица 19

Значение коэффициента  $K_t$

Температура среды, °C	36 - 40	41 - 45	46 - 50
$p_t$	1,1	1,2	1,25

Таблица 20

Краткая характеристика асинхронных электродвигателей серии 4А (по ГОСТ 19523-81)

Мощность, кВт	Частота вращения ротора			Масса, кг
	1500 мин <sup>-1</sup>	1000 мин <sup>-1</sup>	750 мин <sup>-1</sup>	
2,2	4A90L4Y3	4A100L6Y3	4A112MA8Y3	20
3,0	4A100S4Y3	4A112MA6Y3	4A112MB8Y3	28.7
4,0	4A100L4Y3	4A112MB6Y3	4A132S8Y3	36
5,5	4A112M4Y3	4A132S6Y3	4A132M8Y3	42
7,5	4A132S4Y3	4A132M6Y3	4A160S8Y3	56
11,0	4A132M4Y3	4A160S6Y3	4A160M8Y3	93
15,0	4A160S4Y3	4A160M6Y3	4A180M8Y3	130
18,5	4A160M2Y3	4A180M6Y3	4A200M8Y3	145
22,0	4A180S4Y3	4A200M6Y3	4A200L8Y3	165



## РАЗДЕЛ 5. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СУШКИ

### **5.1 Транспортировка сырых пиломатериалов в сушильный цех, формирование сушильных штабелей**

Следует указать, откуда доставляются пиломатериалы и заготовки (с лесопильного цеха или цеха раскроя), в виде каких пакетов, а также с помощью каких механизмов осуществляется подвозка сырых материалов к сушильному цеху и подача их в цех.

### **5.2 Подготовка камеры к работе**

Подготовка камеры заключается в очистке ее от мусора и проверке исправного состояния оборудования. Проверяют шиберы\* воздухообменных каналов, они должны полностью перекрывать каналы. Дверь камеры должна обеспечивать герметичность. Проверяют работоспособность исполнительных механизмов, так же осмотру подлежит психрометр и вентиляторы. Периодически проверяется состояние вентиляторного узла, приборов дистанционного контроля и автоматического регулирования температур и влажности.

### **5.3 Пуск и загрузка камеры**

Перед загрузкой материала камеру необходимо прогреть во избежание конденсаций влаги на ограждениях и оборудовании. Если камера не остыла после разгрузки, следует впустить пар в калорифер до закатки материалов. В момент запуска пара в калорифер открывают вентиль на обводной трубе конденсатоотводчика. Пар впускают в калорифер, постепенно открывая вентиль. После прогрева калорифера вентиль на обводной трубе конденсатоотводчика закрывают, и система начинает работать нормально – через конденсатоотводчик.

В пусковой период приточно-вытяжные каналы должны быть закрыты. Сформированные штабеля загружают в камеру. Не допускается загрузка в камеру не полногабаритных штабелей и работа камеры при неполном количестве штабелей.

### **5.4 Этапы процесса сушки пиломатериалов**

#### **а) Начальный прогрев древесины.**

Первой технологической операцией после загрузки является начальный прогрев древесины. Сырую древесину до сушки пропаривают при условиях, исключается испарение из нее влаги, так как сушка предварительно не прогретого материала приводит к его растрескиванию. При начальном прогреве древесины с  $W_n > 25\%$  температура сушильного агента должна быть выше температуры начальной ступени режима сушки, но не более  $100^\circ\text{C}$ . Древесину прогревают в среде сушильного агента, степень насыщенности которого равна равновесной влажности и соответствует начальной влажности древесины. В камеру подают пар через увлажнительные трубы

при включенных калориферах, вентиляторах и закрытых приточно-вытяжных каналов. На прогрев древесины рекомендуется много пара, поэтому проводить начальный прогрев одновременно в нескольких камерах сушильного блока не рекомендуется.

\***Шибер** (нем. Schieber), запорное устройство типа задвижки (заслонки), при помощи которого открывается и закрывается канал для движения жидкости или газа.

б) Сушка до переходной влажности 25 %.

в) Промышленная влаготеплообработка проводится для уменьшения внутренних напряжений, возникающих в древесине при сушке. Промежуточной влаготеплообработке подвергаются пиломатериалы повышенных толщин. При переходе со второй на третью ступень режима низкотемпературного процесса сушки. Во время этой обработки температура среды поддерживается на 8 °С выше предшествующей степени режима, но не должна превышать 100 °С. Продолжительность промежуточной влаготеплообработки принимается в 2 раза меньше по сравнению с продолжительностью конечной влаготеплообработки.

г) Сушка до конечной влажности проводится при параметрах последней ступени режима сушки.

д) Конечная влаготеплообработка.

Конечная влаготеплообработка проводится с целью снятия или уменьшения остаточных внутренних напряжений. Конечной влаготеплообработке подвергают пиломатериалы, высушиваемые по первой и второй категории качества. Во время конечной обработки температура среды поддерживается на 10 °С выше температуры на последней ступени режима, но не выше 100 °С. Влажность поддерживается 100-98 %. Ориентировочная продолжительность конечной влаготеплообработки приведена в таблице 21.

Таблица 21

Продолжительность конечной влаготеплообработки

Толщина пиломатериалов, мм	Продолжительность обработки, ч.				
	Сосна, ель, пихта, осина, тополь, кедр, липа	Береза, ольха	Лиственница	Бук, клен, ясень, ильм, вяз, берест	Дуб, граб
До 25	2	3	3	4	4
32-40	3	6	8	10	10
50	6	12	15	16	20
60	9	18	20	24	30

75	14	30	36	40	50
90 и более	12	30	35	35	40
90 и более	24	60	65	70	80

е) Подсушка после конечной влаготеплообработки.

После конечной влаготеплообработки пиломатериалов в камере при параметрах последней ступени режима сушки проводится в течении 2-3 часов подсушка пиломатериалов.

ж) Кондиционирующая обработка.

Кондиционирующую обработку проводят в обязательном порядке для пиломатериалов I категории качества для выравнивания влажности древесины по объему штабеля и по толщине пиломатериалов, для чего в камере поддерживают такое состояние среды, при котором недосушенные сортаменты подсыхают, а пересушенные увлажняются. Ориентировочная продолжительность кондиционирования, в зависимости от породы и толщины пиломатериалов, приведена в таблице. Звездочкой отмечены пиломатериалы, для которых рекомендуется промежуточная обработка. Для них 40 % общего времени отводится на промежуточную и 60 % на конечную обработку.

Таблица 22

#### Продолжительность кондиционирования

Толщина пиломатериалов, мм	Продолжительность обработки, час			
	Сосна, ель, пихта, кедр, осина	Береза, ольха	Лиственница	Дуб, ясень, бук, клен
16-32	8	12	16	20
40-60	12	20	30	40

з) Охлаждение пиломатериалов в камере.

Охлаждение пиломатериалов в камере до 30-40 °С проводят при открытых приточно-вытяжных каналах в неработающих вентиляторах, подача пара в калориферы прекращается, двери камеры полуоткрывают. Ориентировочная продолжительность охлаждения составляет 1-2 часа на каждый сантиметр толщины материала. Выкатка из камеры неостывших штабелей не допускается.

### 5.5 Контроль и регулирование параметров агента сушки

За состоянием сушильного агента (температурой и психрометрической разностью) в камере наблюдают систематически – каждый час и показания записывают в журнал. Контроль за параметрами среды в камере следует предусмотреть дистанционный.

Задача регулирования сушильных камер состоит в поддержании на заданном уровне параметров агента сушки: температуры и относительной

влажности, температура регулируется посредством изменения количества теплоносителя, подаваемого в калориферы. Регулирование влажности осуществляется путем изменения степени открытых приточно-вытяжных каналов, а также путем подачи пара непосредственно в камеру. Регулирование параметров среды может быть ручным и автоматическим. Автоматическое регулирование процесса сушки – необходимое условие улучшения технологии сушки и качества высушиваемой древесины. Дистанционный контроль и автоматическое регулирование параметров агента сушки должны осуществляться по температуре сухого термометра и психрометрической разности или непосредственно по температуре сухого и смоченного термометров. Для контроля над параметрами агента сушки используют показывающие или самопишущие электронные мосты, измерительные системы с термометрами сопротивления.

В камерах периодического действия с реверсивной циркуляцией датчики (термометры сопротивления) устанавливаются в торце камеры со стороны коридора управления. В камерах непрерывного действия датчики устанавливаются в разгрузочном и загрузочном концах камеры. Для регулирования параметров агента сушки применяются двух и трехпозиционные одноканальные и многоканальные регуляторы.

### **5.6 Контроль влажности древесины в процессе сушки**

Контроль текущей влажности ведется весовым или электрическим способами. Возможны другие способы контроля – по усадке штабеля, по геометрическому значению диэлектрической проницаемости штабеля и пр.

Весовой способ. Это способ был и останется одним из основных при контроле влажности древесины в ходе сушки.

Начальную влажность пиломатериалов определяют по секциям, а текущую влажность – это контрольным образцом следующим образом. Образцы и секции выпиливают из досок, характерных по строению, влажности и плотности для партии пиломатериалов, без трещин, сучков, смоляных кармашков и гнили по схеме, приведенной на рис. 3. Длина образцов должна быть не менее одного метра, а секции 10-12 мм. Секции и образец отпиливают на расстоянии не более 300-500 мм от торца.

Первоначально определяют влажность секции сушильно-весовым методом (ГОСТ 16588-91). Среднее значение влажности, вычисленное по двум секциям доски (заготовки), принимается за начальную влажность  $W_{нач}$  контрольного образца. По контрольному образцу определяют текущую влажность в процессе сушки.

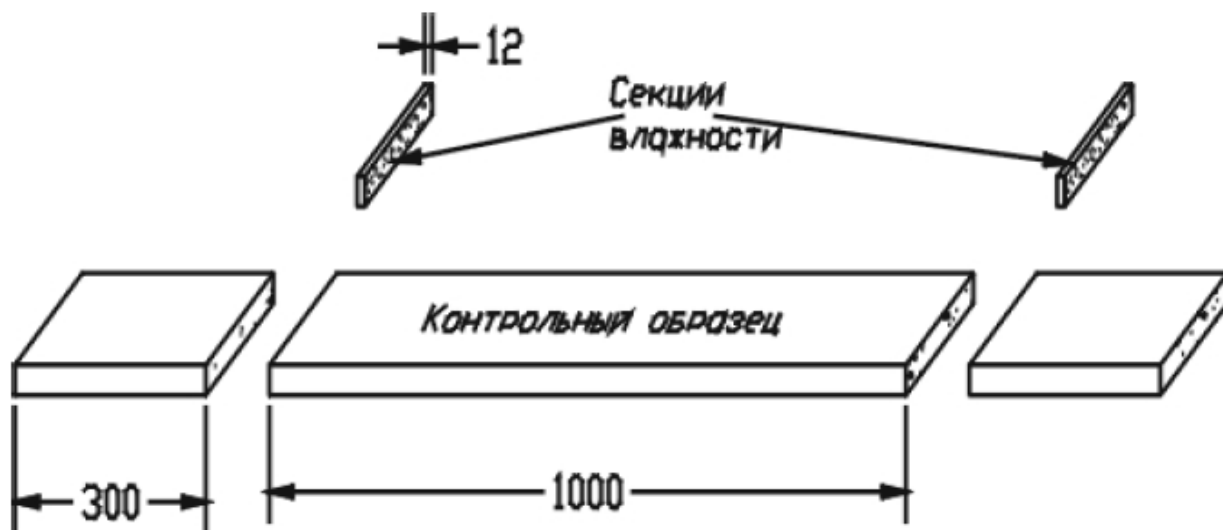


Рис. 3. Схема вырезки секций влажности и контрольного образца

$$W_{нач.} = (W_1 + W_2)/2 \quad (62),$$

где  $W_1, W_2$  – влажность 1 и 2 секции.

В каждой сушильной штабеле укладывают не менее двух контрольных образцов в места интенсивной и замедленной сушки, устанавливаемые из опыта эксплуатации камер. Средняя влажность их принимается за начальную влажность пиломатериалов в штабеле. Контрольные образцы нумеруют, торцы очищают и покрывают силиконовым герметиком. После этого их взвешивают на торговых весах с точностью до 0,01 кг. Массу записывают на образцах и в бланке наблюдений.

Образцы укладывают на специальные прокладки (прокладки имеют вырез по толщине) заподлицо с торцом штабеля или несколько глубже так, чтобы их легко можно было вынуть.

В процессе сушки через определенные промежутки времени (8-24 часа), в зависимости от характеристики пиломатериалов, образцы вынимают из штабеля и взвешивают.

По текущей влажности медленно сохнущего образца судят о времени перехода с одной ступени режима на другую, по средней влажности всех образцов, закладываемых в штабель, - о времени окончания процесса сушки. При этом необходимо учитывать, что контрольные образцы высыхают быстрее, чем остальные доски в штабеле.

Если средняя влажность пиломатериалов (заготовок) в штабеле больше, чем требуется, пиломатериалы подлежат дополнительной сушке. При меньшем значении средней влажности пиломатериалы подлежат кондиционированию.

Влажность находят, зная величину усадки штабеля по таблицам или графикам, которые составляют для пиломатериалов различных пород и толщин на основании специальных испытаний. Способ нашел ограниченное применение.

Электрический способ контроля текущей влажности пиломатериалов основан на применении кондуктометрических влагомеров. Для повышения надежности измерений в штабеле устанавливается 6-12 датчиков. Показания каждого влагомера регистрируются. Для этой цели применяют специальные компьютерные программы. На базе полученных данных автоматически строится кривая средней влажности штабеля, пол которой в камере по режиму для данного материала автоматически поддерживается температура и степень насыщенности сушильного агента или равновесная влажность

### 5.7 Контроль за внутренними напряжениями и остаточными деформациями

Контроль сушильных напряжений и деформаций при сушке проводят с помощью силовых секций (специальных проб). По силовым секциям можно установить характер и примерную величину внутренних напряжений в древесине, наличие в ней остаточных деформаций и характер распределения влаги по толщине материала. Эти сведения особенно важно иметь после кондиционирования и в конце сушки.

Для контроля напряжений и деформаций в процессе сушки в штабель одновременно с контрольными образцами влажности закладывают силовые образцы длиной 1,0-1,2 м.

От этих образцов в нужные моменты времени отпиливают силовые секции. Торцы силовых образцов замазывают силиконовым герметиком или густотертой масляной краской. Замазку возобновляют на свежем пропиле после каждой выпилки новой секции. Секции выпиливают на расстоянии не менее 100 мм от торца.

Силовую секцию раскаивают на ленточнопильном станке в виде двузубой гребенки, выкалывая середину, как это показано на рис. 4 а

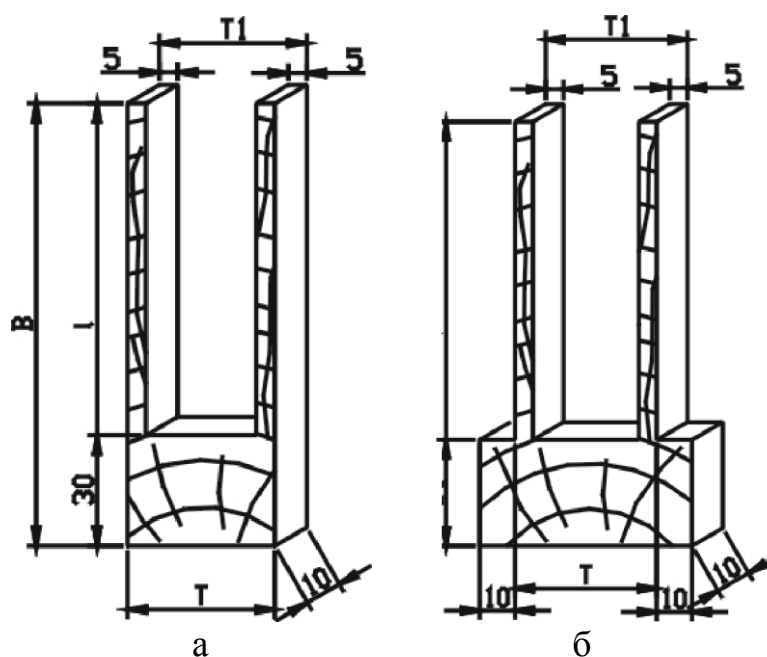


Рис.4 Схемы раскроя силовых секций: а – для пиломатериалов (заготовок) толщиной до 40 мм, б – для пиломатериалов (заготовок) толщиной более 40

мм; В – ширина пиломатериалов (заготовок), мм; Т – толщина секции, мм; Т<sub>1</sub> – расстояние между внешними гранями зубцов, мм

У каждой секции индикаторной скобой или штангенциркулем с точностью 0,1 мм измеряют толщину Т и расстояние Т<sub>1</sub> между внешними гранями зубцов секции.

Относительную деформацию  $f$ , %, зубцов секции вычисляют по формуле:

$$f = \frac{T - T_1}{2 \cdot l} \cdot 100, \quad (63)$$

где  $l$  – длина зубца, мм.

Сразу после раскрыя зубцы секции могут изогнуться в ту или иную сторону. По положению зубцов можно судить о характере сушильных напряжений. Если зубцы этой секции, которая называется секция формы А, изгибаются наружу (позиция А-1), значит в материале имеются растягивающие напряжения на поверхности и сжимающие напряжения во внутренних слоях. Позиция А-3 характеризует обратные напряжения – сжатие снаружи и растяжение внутри. Отсутствие деформации изгиба в секции А (позиция А-2) свидетельствует об отсутствии напряжений. Секция формы А показывает только характер и примерное значение сушильных напряжений в доске или заготовке, из которой эта секция выпилена, в данный момент.

Чтобы установить наличие в материале остаточных деформаций, необходимо в раскроенной секции добиться равномерного распределения влаги. Для этого секцию А выдерживают в комнатных условиях в течение 7-8 ч или для ускорения процесса выравнивания влажности в сушильном шкафу при  $t = 100-105$  °С в течение 2 ч. Возможно использование микроволновой печи. Древесина секции при такой выдержке не приобретает дополнительных остаточных деформаций. Поэтому положение зубцов секции, имеющей равномерное распределение влаги, характеризует имеющиеся в материале остаточные деформации. Секция, полученная после выдержки, называется секцией формы Б.

Если зубцы секции формы Б приняли положение, показанное на позиции Б-1, значит в материале имеются остаточные удлинения на поверхности и укорочения внутри. Такой характер остаточных деформаций всегда наблюдается в процессе сушки без кондиционирования. Если зубцы секции Б оказались прямыми (позиция Б-4), то остаточных деформаций в материале нет. Такой случай может быть при правильно проведенном кондиционировании. При форме, показанной на позиции Б-6, в материале имеются остаточные деформации укорочения на поверхности и удлинения внутри. Такие деформации могут появиться в материале после излишне интенсивного кондиционирования.

Наличие остаточных деформаций свидетельствует о том, что в материале имеются остаточные напряжения. Они могут быть выявлены в

пиломатериалах после выравнивания в них влажности по толщине, при последующей выдержке на складе или в ходе обработки.

О наличии остаточных напряжений судят по секции формы Б. Например, изгиб зубцов секции внутрь свидетельствует о том, что в материале имеются остаточные напряжения сжатия на поверхности и остаточные напряжения растяжения во внутренних слоях.

По силовым секциям можно установить характер распределения влаги по толщине материала. Для этого необходимо сравнить положение зубцов секций формы А и Б. Если положение зубцов секции формы Б по сравнению с зубцами секции А не изменилось, значит влага в материале распределена равномерно. Если имеется дополнительная деформация зубцов секции Б, то влага в материале распределена неравномерно. Так как более влажные слои секции при выдержке получают большую усушку, то изгиб зубцов секции Б по сравнению с положением зубцов секции А всегда происходит в сторону большей влажности. Например, если зубцы секций А и Б имеют положение, показанное на позициях 1, 2, 3, значит влажность внутри материала больше, чем на поверхности; положение зубцов секций на позициях 4, 5, 6 свидетельствует об обратном характере распределения влаги – на поверхности материала влажность выше, чем внутри.

В некоторых случаях особенно для толстых пиломатериалов, двузубовые гребенки могут давать искаженное представление о характере сушильных напряжений. Рекомендуется для пиломатериалов повышенной толщины (более 40 мм) дополнительно выпиливать вторую силовую секцию (см рис. 4 б) с зубцами по внутренней зоне сортимента. По двум секциям (см рис. 4 а, б) характер напряжений и остаточных деформаций может быть установлен более точно.

## РАЗДЕЛ 6. РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ СУШИЛЬНОГО ЦЕХА

Основой для ориентировочного расчета площади сушильного цеха служит площадь всех сушильных камер, определяемых из конструкции камер (размеров) и потребного количества, определенного в технологическом расчете.

Планировка должна обеспечить рациональную организацию всего технологического процесса в цехе, механизацию трудоемких погрузочно-разгрузочных и транспортных операций. Состав основных участков и помещений цеха зависит от применяемого типа камер, принятых способов и механизмов по формированию и расформированию сушильных штабелей, а также от планируемой механизации транспортных работ и мощности цеха.

Окончательно план сушильного цеха составляется на базе предварительного плана, разработанного в технологической части проекта, с учетом стандартных размеров балок, ферм и сетки колон. Ширина здания цеха может быть стандартной. Длина здания цеха должна быть кратна шагу колон, т. е. 6 или 12 м. При строительном оформлении здания надлежащим образом размещаются дверные и оконные проемы с учетом противопожарных требований, а также обеспечения необходимой естественной освещенности цеха и рациональной организации



технологического процесса. При освещении цеха в дневное время только естественным светом ширина его не должна превышать 24 метров в противном случае кроме основного освещения боковыми окнами предусматривается дополнительное освещение за счет верхних фонарей, располагаемых над траверсным коридором.

Чертеж плана сушильного цеха вычерчивается в масштабах 1:50 или 1:100. На чертеже над основной надписью должен располагаться перечень основных линий и оборудования цеха.

На плане цеха следует указать размеры цеха, сетку колонн и привязку. На основании разработанного плана цеха составляется сводная таблица помещений цеха.

Таблица 23

Сводная таблица помещений цеха

Наименование помещений	Размер помещений			Площадь помещения
	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	
1. Производственные помещения				
2. Вспомогательные				
3. Бытовые				
<b>Всего:</b>				

## РАЗДЕЛ 7 ОХРАНА ТРУДА И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### 1. Общие положения инструкции по охране труда при работе с сушильной камерой

1.2. Для управления и обслуживания сушильной камеры допускаются лица, не моложе 18 лет, специально обученные и прошедшие проверку знаний ПБЭЭ, ПТЭ, инструкции по ОТ и т.д.

1.3. Не допускаются для выполнения работ лица, не имеющие отношения к данной работе.

1.4. Необходимо содержать в порядке и чистоте сушильную камеру как внутри, так и вокруг ее конструкции.

1.5. При прекращении подачи электроэнергии отключить автоматический выключатель, питающий сушильную камеру.

1.6. О замеченных неисправностях сушильной камеры немедленно ставить в известность руководство цеха, и без разрешения к работе не приступать.

1.7. На сушильной камере должна быть вывешена табличка с указанием лиц, имеющих право работать с сушильной камерой и лица, ответственного за безопасную эксплуатацию.

1.8. Металлические части конструкции, которые могут вследствие повреждения изоляции оказаться под напряжением, должны быть заземлены путем подключения к общему контуру заземления цеха.

1.9. Каждый работник перед началом работ должен быть проинструктирован по правилам безопасной эксплуатации электроустановок и строго их выполнять.

1.10. Ремонт, наладкой и температурным режимом должен заниматься специально обученный человек и допущенный к обслуживанию и наладке сушильной камеры, имеющий группу по технике безопасности 3.

1.11. При работающей сушильной камере категорически запрещается влезать на ее конструкцию, открывать дверцу шкафа, производить любую работу по ее наладке и регулировке.

1.12. При ремонте или осмотре электрооборудования сушильной камеры, а также при выполнении регулировочных работ, необходимо отключать вводной автомат.

## 2. Требования безопасности перед началом работ

2.1. Перед началом работ работник обязан:

2.1.1. Убедиться, что в сушильной камере чисто и нет посторонних предметов.

2.1.2. Проверить тележку для транспортировки трансформаторов на предмет целостности и отсутствия на нем трансформаторного масла.

2.1.3. Проверить уплотнения дверей, целостность запоров сушильной камеры.

2.1.4. Проверить наличие на тележке съемной транспортировочной ручки, установить ее на тележку и закрепить.

2.1.5. Проверить направляющие, по которым движется тележка, на предмет отсутствия на пути движения посторонних предметов.

2.1.6. Загрузкой тележки в сушильную камеру должны заниматься 2 человека, специально обученные, имеющие удостоверения стропальщика и допущенные к выполнению стропальных работ.

2.1.7. При загрузке и разгрузке тележки должны быть соблюдены:

- правильная строповка трансформатора, в соответствии со схемой строповки активной части трансформатора в зависимости от типа трансформатора;
- правильная установка трансформатора на тележку.

2.1.8. При установке одной активной части на тележку трансформатор устанавливается по центру тележки вдоль направления движения тележки. После чего, расслабляется натяжение стропов и проверяется устойчивость активной части. Затем активную часть закрепляют растяжками.

2.1.9. При установке на тележку нескольких активных частей трансформаторов особое внимание следует обратить на вес всех трансформаторов и равномерное расположение груза на тележке относительно центра. Трансформаторы должны располагаться вдоль направления движения тележки.

2.1.10. Расстояние между трансформаторами на тележке должно быть минимальным, насколько может позволить конструкция каждого

трансформатора, а количество устанавливаемых трансформаторов обуславливается габаритами тележки. Трансформаторы не должны заступать за край тележки. На тележке разнесены оси для более устойчивого положения тележки от опрокидывания при движении тележки.

### 3. Требования безопасности во время работы

3.1. Перед выкатыванием /вкатыванием/ тележки в сушильную камеру работник, ответственный за ремонт трансформатора находящегося в сушильной камере, обязан получить распоряжение от мастера, в котором должно указываться количество и фамилии лиц, которые будут заниматься транспортировкой тележки.

3.2. Перед транспортировкой работник, ответственный за ремонт трансформатора, должен убедиться в целостности рельсовых путей сушильной камеры и отсутствие на них посторонних предметов, после чего плавным нажатием на транспортировочную ручку тележки вкатывают /выкатывают/ тележку в /из/ сушильную камеру. После чего плотно закрыть дверь в сушильную камеру.

3.3. После пуска сушильной камеры работник, ответственный за сушку трансформаторов, в течении всего процесса следит за температурным режимом сушильной камеры и бесперебойности процесса сушки.

3.4. При работе сушильной камеры категорически запрещается:

3.4.1. Открывать двери. Двери камеры открывать только, когда температура камеры снизится до 700 °С.

3.4.2. Проводить огневые работы возле сушильной камеры.

3.4.3. Изменять ее температурный режим.

### 4. Требования безопасности по окончании работ.

4.1. Отключить сушильную камеру.

4.2. Убрать мусор из сушильной камеры, удалить масло с тележки.

4.3. По окончании работ закатить пустую тележку в сушильную камеру, и закрыть двери на замок.

4.4. Доложить мастеру об окончании работ. Снять спецодежду, убрать ее в специальное место, вымыть руки и лицо теплой водой с мылом или принять душ.

### 5. Требования безопасности в аварийных ситуациях

5.1. В аварийном режиме отключить питающий автомат шкафа управления сушильной камерой.

5.2. Доложить мастеру о замеченных неисправностях.

5.3. В случае получения травмы или недомогания, прекратить работу, известив об этом мастера, обратиться в медпункт или вызвать скорую помощь.

5.4. При поражении электрическим током необходимо немедленно освободить пострадавшего от действия тока, соблюдая требования

электробезопасности, оказать доврачебную помощь и вызвать работника медицинской службы, поставить в известность руководство.

5.5. При возникновении пожара сообщить в пожарную охрану по телефону 01, руководству и приступить к тушению.

### **Заключение**

В заключении излагаются краткие выводы, полученные в результате расчетов и возможные перспективы модернизации сушильной камеры.

### **Список литературы**

1. Богданов Е. С. Справочник по сушке древесины. -М.: Лесная промышленность, 1990. - 304 с.
2. Болдырев П. В. Сушка древесины. Учебник. – Санкт-Петербург.: Профикс, 2007.
3. Кречетов И. В. Сушка и Защита Древесины. Учебное пособие. -М.: Лесная промышленность, 1987. - 328 с.
4. Пейч Н. Н., Царев Б. С. Сушка древесины. Учебник для проф.-техн. училищ. –М.: Высшая школа, 1975. – 224 с.
5. Рассев А. И. Тепловая обработка и сушка древесины. Учебник. -М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 360 с.
6. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. Учебник для ВУЗов. -М.: Лесная промышленность, 1987. = - 360 с.
7. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. -Архангельск: Научдревпром-ЦНИИМОД, 2000. -125 с.
8. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия (ГОСТ 19773-84)
9. Журнал: Дерево.RU
10. www.expoles.ru

Таблица 1

## Выбор режима сушки

Порода	Категория режима	Толщина досок, мм							
		13-22	25	32-40	45-50	60	70-75	90-100	Более 100
сосна, ель, кедр, пихта	М	6-Д	8-Г	9-Г	9-В	9-В	9-Б	-	-
	Н	2-Д	3-Г	3-В	4-В	4-Б	5-Б	6-Б	8-Б
	Ф	1-Д	1-Г	1-В	2-В	2-Б	3-Б	-	-
лиственница	Н	3-В	4-Б	5-Б	5-А	6-А	8-Б	9-Б	10-Б
	Ф	1-В	2-Б	3-Б	3-А	-	-	-	-
осина, липа, тополь	Н	3-Г	3-Б	4-Б	5-В	6-В	7-В	8-В	9-В
	Ф	2-Г	2-Б	3-Б	4-В	-	-	-	-
береза, ольха	М	6-Д	6-Г	6-В	6-В	7-В	8-В	-	-
	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-Е	7-Б	8-Б	9-Б	9-Б
	Ф	2-Г	3-В	4-В	-	-	-	-	-
дуб	Н	5-Г	5-В	6-Б	7-Б	8-Е	9-В	9-Б	10-Б
	Ф	3-Г	4-В	5-В	-	-	-	-	-
берест, орех ясень, ильм,	Н	5-В	5-Б	6-Г	6-Б	7-В	8-В	8-Б	9-Б
граб	Н	6-В	6-А	7-Б	8-В	8-Б	9-В	9-Б	10-Б

Таблица 2

## Трехступенчатые режимы сушки

Индекс (раздел) режима	Влажность древесины, %	Значения параметров воздуха ( $t_c$ , $t_M$ , $\varphi$ ) в режимах														
		1			2			3			4			5		
		$t_c$	$t_M$	$\varphi$	$t_c$	$t_M$	$\varphi$	$t_c$	$t_M$	$\varphi$	$t_c$	$t_M$	$\varphi$	$t_c$	$t_M$	$\varphi$
А	>30	90	86	0,86	82	79	0,88	75	72	0,88	69	66	0,88	63	61	0,91
	30-20	95	88	0,76	87	81	0,77	80	74	0,77	73	67	0,76	67	62	0,79
	<20	120	88	0,34	108	81	0,35	100	74	0,35	91	67	0,36	83	62	0,36
Б	>30	90	85	0,82	82	78	0,84	75	71	0,84	69	65	0,84	63	60	0,87
	30-20	95	86	0,70	87	79	0,72	80	72	0,71	73	66	0,72	67	61	0,75
	<20	120	86	0,30	108	79	0,32	100	72	0,32	91	66	0,34	83	61	0,35
В	>30	90	83	0,76	82	76	0,77	75	70	0,80	69	64	0,80	63	59	0,82
	30-20	95	84	0,65	87	77	0,66	80	71	0,67	73	64	0,69	67	60	0,71
	<20	120	84	0,28	108	77	0,30	100	71	0,30	91	65	0,32	83	60	0,33
Г	>30	90	81	0,70	82	74	0,71	75	68	0,73	69	63	0,75	63	58	0,78
	30-20	95	82	0,60	87	75	0,60	80	69	0,61	73	63	0,62	67	58	0,64
	<20	120	82	0,26	108	75	0,27	100	69	0,27	91	63	0,29	83	58	0,29
Д	>30	90	79	0,64	82	72	0,65	75	66	0,66	69	61	0,68	63	56	0,70
	30-20	95	80	0,55	87	73	0,55	80	67	0,55	73	61	0,56	67	56	0,57
	<20	120	80	0,25	108	73	0,25	100	67	0,25	91	61	0,26	83	56	0,27

Индекс (раздел) режима	Влажность древесины, %	Значения параметров воздуха ( $t_c$ , $t_m$ , $\varphi$ ) в режимах														
		6			7			8			9			10		
		$t_c$	$t_m$	$\varphi$	$t_c$	$t_m$	$\varphi$	$t_c$	$t_m$	$\varphi$	$t_c$	$t_m$	$\varphi$	$t_c$	$t_m$	$\varphi$
А	>30	57	55	0,90	52	50	0,90									
	30-20	61	56	0,77	55	51	0,80									
	<20	77	56	0,36	70	51	0,36									
Б	>30	57	54	0,85	52	49	0,84	47	45	0,89	42	40	0,88	38	36	0,87
	30-20	61	55	0,73	55	50	0,75	50	45	0,74	45	41	0,78	41	37	0,77
	<20	77	55	0,34	70	50	0,35	62	44	0,36	57	40	0,36	52	36	0,35
В	>30	57	53	0,80	52	48	0,79	47	44	0,83	42	39	0,83	38	35	0,81
	30-20	61	54	0,69	55	48	0,67	50	44	0,70	45	40	0,73	41	36	0,72
	<20	77	54	0,34	70	48	0,31	62	43	0,33	57	39	0,33	52	35	0,32
Г	>30	57	52	0,76	52	47	0,75	47	43	0,78	42	38	0,77	38	34	0,76
	30-20	61	52	0,61	55	47	0,63	50	43	0,66	45	39	0,68	41	35	0,67
	<20	77	52	0,28	70	47	0,29	62	42	0,31	57	38	0,30	52	34	0,29
Д	>30	57	51	0,72	52	46	0,70	47	42	0,73	42	37	0,72	38	33	0,71
	30-20	61	51	0,58	55	46	0,59	50	42	0,62	45	38	0,64	41	34	0,62
	<20	77	51	0,27	70	46	0,27	62	41	0,29	57	37	0,28	52	33	0,27

Исходная продолжительность сушки пиломатериалов  $\tau_{исх.}$ , ч  
(в камерах периодического действия)

Порода древесины	Толщина пиломатериалов, мм	Ширина пиломатериалов, мм			
		80-100	110-130	140-180	более 180
сосна, ель, пихта, кедр	до 16	25	27	29	31
	19	31	33	35	37
	22	37	40	43	46
	25	48	51	54	57
	32	70	75	80	85
	40	85	90	95	100
	50	100	105	110	120
	60	120	130	140	160
	70	140	155	175	210
	75	155	180	210	260
осина, липа, тополь	до 16	29	31	33	35
	19	36	39	42	45
	22	43	46	49	52
	25	60	64	68	72
	32	80	90	95	100
	40	95	100	105	115
	50	110	117	125	135
	60	130	145	165	190
	75	175	210	255	310
	бук, клен, берест, ясень, ильм	до 16	53	56	59
19		60	64	68	72
22		70	75	80	85
25		95	100	105	110
32		112	118	125	135
40		135	145	160	180
50		185	210	240	280
60		250	300	360	430
лиственница	до 16	58	61	64	67
	19	65	70	75	80
	22	80	85	90	95
	25	100	105	110	115
	32	135	140	145	155
	40	160	170	190	220
	50	215	240	280	340
	60	320	380	450	550
	70	500	600	730	900
	75	580	700	870	1100
береза, ольха	до 16	35	38	41	44
	19	44	47	50	53
	22	50	53	56	59
	25	66	70	74	80
	32	90	96	100	105
	40	100	105	110	115
	50	125	135	150	170
	60	170	190	220	260
	75	220	270	330	400
дуб, орех, граб	до 16	80	85	90	95
	19	90	95	100	105
	22	100	105	110	115
	25	110	115	120	125
	32	165	180	200	220
	40	215	240	275	315
	50	320	380	450	530
	60	500	610	730	860
75	780	950	1200	1500	



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

Таблица 4

Исходная продолжительность сушки пиломатериалов  $\tau_{исх}$ , ч  
(в камерах непрерывного действия)

Толщина пиломатериалов, мм	Ширина пиломатериалов, мм			
	80-100	110-130	140-180	Более 180
Мягкие режимы				
до 16	28	28	28	28
19	34	35	37	39
22	44	45	47	49
25	50	53	57	61
32	75	83	96	102
40	103	119	138	152
50	142	171	195	220
60	183	233	274	300
70	227	305	355	398
75	250	344	395	443
Нормальные режимы				
до 16	18	18	18	18
19	20	20	20	21
22	22	22	22	25
25	27	27	28	31
32	37	37	44	45
40	52	54	63	67
50	69	77	87	93
60	86	98	114	124
70	105	123	146	162
75	114	135	166	184
Форсированные режимы				
до 16	17	17	17	17
19	19	19	19	19
22	21	21	21	21
25	25	25	28	28
32	35	35	42	42
40	46	48	56	58
50	62	65	74	79
60	78	83	97	106
70	95	104	124	137
75	104	1150	139	154

Таблица 5

## Средняя базисная плотность древесины основных пород

Порода	$\rho_b, \text{кг/м}^3$	Порода	$\rho_b, \text{кг/м}^3$	Порода	$\rho_b, \text{кг/м}^3$
кедр	350	ольха	420	бук	530
ель	360	береза	500	ясень	540
сосна	400	лиственница	520	дуб	560

Таблица 6

## Сокращенные климатологические данные

Наименование пункта	Расчетная температура для отопления, °С	Средняя годовая температура, °С
Архангельск	-32	0,2
Владивосток	-24	4,6
Воронеж	-26	5,6
Нижний Новгород	-29	3,6
Иркутск	-38	-1,3
Казань	-31	3,3
Киев	-20	6,9
Вятка	-31	1,3
Кострома	-29	2,3
Красноярск	-36	0,6
Санкт-Петербург	-24	4,1
Минск	-23	5,3
Пермь	-33	1,3
Москва	-30	3,6
Омск	-37	0,0
Петрозаводск	-27	2,4
Саратов	-24	5,0
Екатеринбург	-32	0,8
Волгоград	-35	7,7
Томск	-39	-0,8
Уфа	-31	2,6
Харьков	-25	6,7
Чита	-41	-3,0
Якутск	-56	-10,4

## Коэффициент теплопроводности некоторых материалов

Материал	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> * °С)
Асбоцементные плиты	500	0,13
Алюминий	2700	240
Бетон	2400	1,45
Вата минеральная	200	0,07
Железобетон	2400	1,60
Кирпичная кладка	1800	0,8
Пенобетон	1000	0,40
Рубероид	600	0,17
Сталь строительная	7850	58
Шлак	1000	0,29
Штукатурка цементная	1800	0,90
Картон асбестовый	900	0,22
Воздух	1,2 и 1,3	0,034

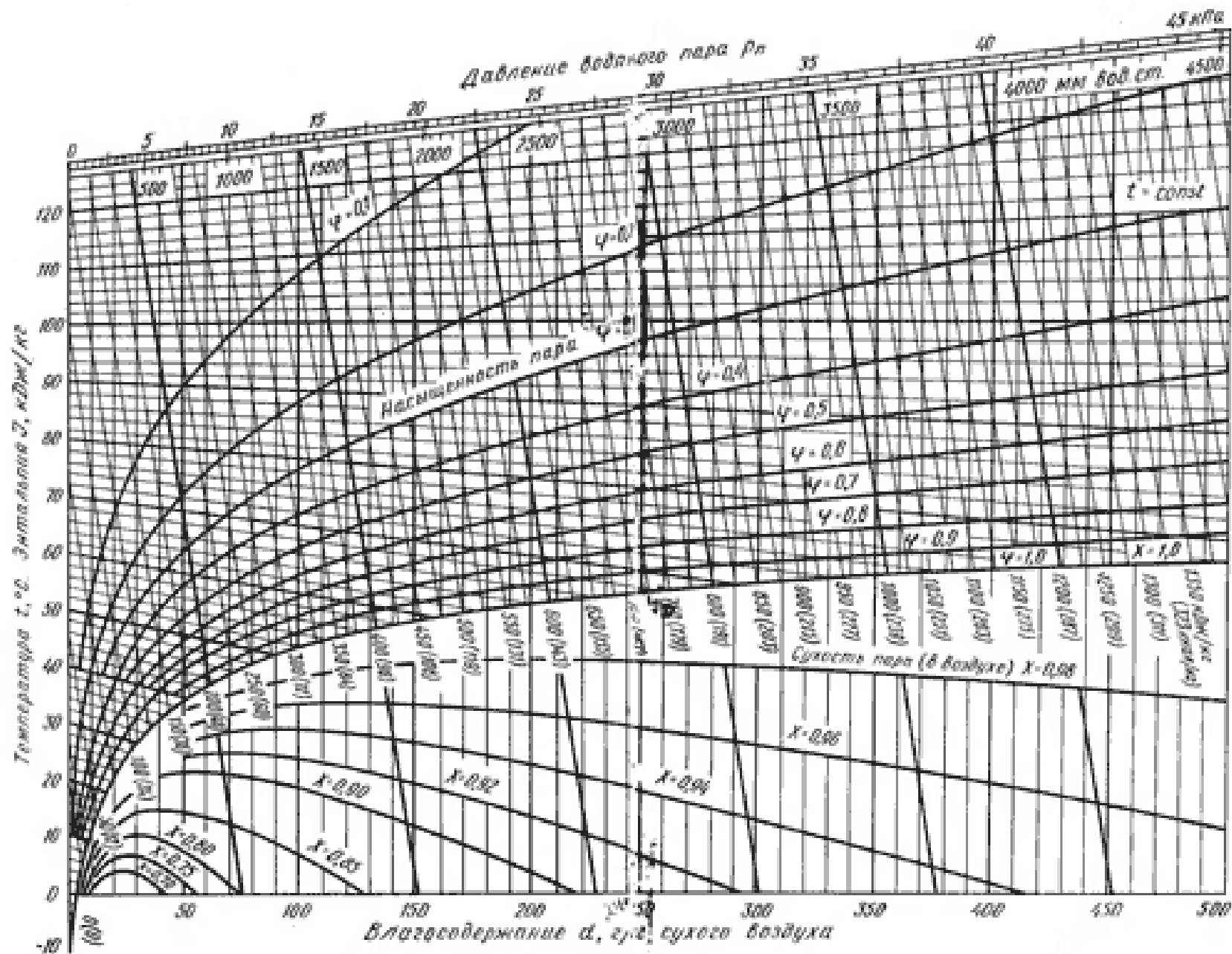


Рис.1 t-d-диаграмма

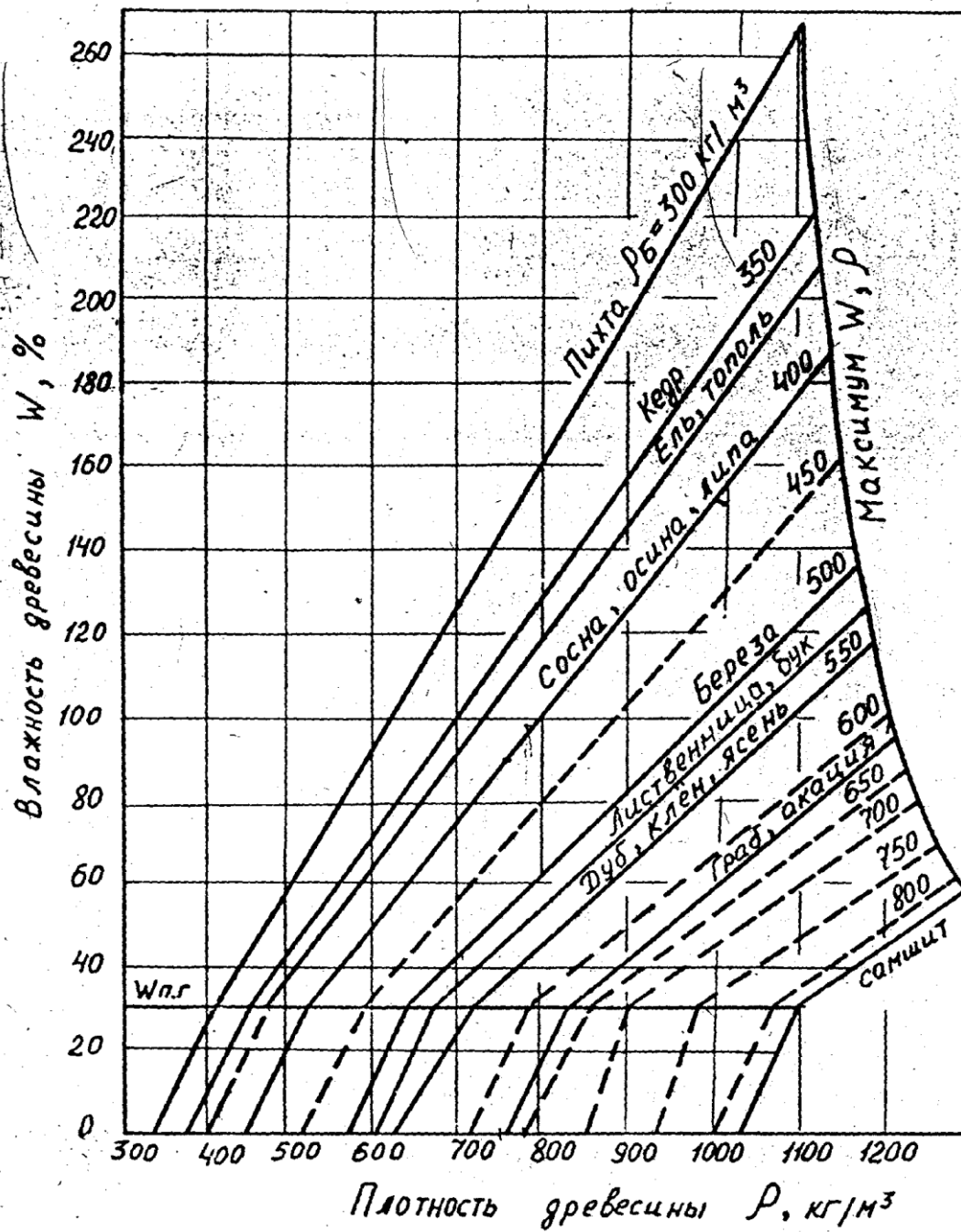


Рис.2 Диаграмма зависимости плотности древесины от ее влажности











