

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИСТАНЦИОННОМУ КОНТРОЛЮ И АВТОМАТИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ В ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ В ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

1.1 Условия эксплуатации

Приборы контроля и регулирования должны обеспечивать измерение и автоматическое регулирование параметров режима сушки – температуры и относительной влажности (степени насыщенности) сушильного агента. Степень насыщенности измеряется психрометрическим методом, то есть по показаниям сухого и смоченного термометров с использованием психрометрических таблиц.

Дистанционный контроль и автоматическое регулирование параметров агента сушки должны осуществляться по температуре сухого термометра и психрометрической разности или непосредственно по температурам сухого и смоченного термометров.

Для контроля за параметрами агента сушки следует использовать при сушке пиломатериалов I и II категорий качества – показывающие или самопишущие электронные мосты; при сушке пиломатериалов III категории качества – измерительные системы с термометрами сопротивления и логометрами.

Температура сушильного агента регулируется посредством изменения количества пара, подаваемого в калориферы камеры. Для регулирования влажности изменяется степень открытия приточно-вытяжных каналов или в камеру подается водяной пар.

В системе автоматического регулирования должно быть предусмотрено:

- 1) автоматическое регулирование температуры сухого термометра и психрометрической разности или температур сухого и смоченного термометров;
- 2) дистанционный контроль температуры сухого термометра и психрометрической разности или температур сухого и смоченного термометров;
- 3) ручное и дистанционное управление регулирующими органами;
- 4) сигнализация или измерение степени открытия регулирующих органов и знака отклонения регулируемого параметра по каждой из камер (одновременно или поочередно).

В многоканальных системах контроль и регулирование каждого параметра в каждой камере осуществляется самостоятельно независимо от работы других каналов. Данное значение параметра устанавливается независимо по каждому каналу и может быть изменено в процессе работы прибора.

В проектах для камер с реверсивной циркуляцией предусматривается автоматическое устройство для реверсирования.

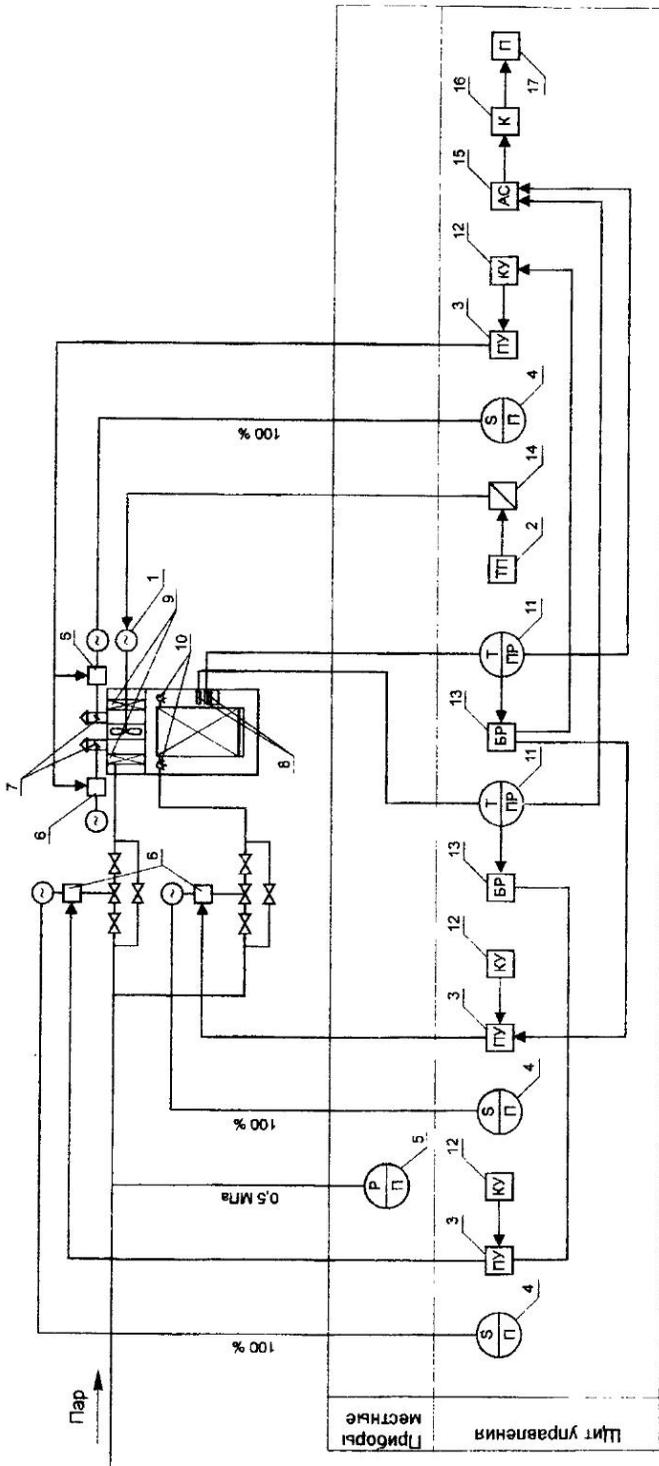


Рис. П.1.1. Функциональная схема автоматизации лесосушильных камер

1 - электродвигатель привода вентилятора; 2 - таймер программируемый; 3 - переключитель управления; 4 - указатель положения; 5 - манометр; 6 - исполнительный механизм; 7 - шибер; 8 - термообразователи сопротивления; 9 - калориферы; 10 - увлажнитель; 11 - измеритель-регулятор температуры микропроцессорный; 12 - ключ управления; 13 - блок реле; 14 - пускатель магнитный; 15 - датчик сети; 16 - адаптер сети; 17 - принтер.

На рис. П. 1.1. приведена функциональная схема автоматизации, выполненная в соответствии с изложенными требованиями. Температуру и степень насыщенности сушильного агента контролируют с помощью сухого и смоченного термометров сопоставления 8, которые посылают сигналы в измерительно-регулирующее устройство.

Если регулируемый параметр отклоняется от заданного, то подается сигнал на выходные реле БР, управляющие работой исполнительных механизмов 6. Управление исполнительными механизмами осуществляется или автоматически регулятором, или вручную с помощью переключателей ПУ и ключей дистанционного управления КУ, расположенных на щите управления. Степень открытия регулирующих органов контролируется указателями положения 4, которые находятся на щите управления.

В системе предусмотрено устройство 2 для автоматического программного управления вентиляторами камеры, в зависимости от объекта оно может быть расположено по месту или на щите управления.

Давление пара, подаваемого в камеру, контролируется по манометру 5.

Для регулирования параметров агента сушки рекомендуется использовать:

1. При сушке пиломатериалов I и II категорий качества – двухпозиционные одноканальные регуляторы с малой зоной нечувствительности для регулирования температуры и двух-, трехпозиционные одноканальные регуляторы для регулирования влажности по величине психрометрической разности. При большом числе камер – специализированные многоканальные регуляторы с малой зоной нечувствительности и малым временем цикла опроса или многоканальные быстродействующие приборы.

2. При сушке пиломатериалов III категории качества и малом числе сушильных камер – двухпозиционные регуляторы температуры. При большом числе камер – многопозиционные или релейные регуляторы. Если нет таких регуляторов, то можно использовать общепромышленные многоканальные релейные или импульсивные системы.

В табл. П. 1.1 приведены характеристики отдельных приборов и регуляторов.

При использовании систем автоматического регулирования температуры и степени насыщенности сушильного агента необходимо:

а) обеспечить сушильные камеры паром давлением 0,3 – 0,5 МПа в требуемом количестве (для стабилизации давления пара на входе в сушильный блок при колебаниях его в общей магистрали более $\pm 0,2$ МПа рекомендуется устанавливать специальный регулятор);

б) герметизировать камеры;

в) снабдить сушильные камеры исправными и надежными конденсатоотводчиками.

Скорость движения сушильного агента по материалу в штabelle должна быть не менее 1 м/с. Применять системы автоматического регулирования в камерах с естественной циркуляцией не рекомендуется.

Измерительные приборы и регуляторы должны устанавливаться в помещении с температурой воздуха 10 – 35° С и относительной влажностью 30-80 %.

**Приборы для контроля и автоматического регулирования
процессов сушки**

Наименование	Тип, марка	Шкала, градусировка	Применение	Завод- изготовитель
1. Технические ртутные термометры: прямые и с углом изгиба 90°С, длина нижней части в мм: 60, 80, 100, 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500	ТТ-1 ТТ-2 ТТ-3	0 – 100°С 0 – 150°С 0 – 200°С	Измерение температуры в камерах, сушильных шкафах, использование в качестве психрометров	г. Кляш, термометровый завод
2. Термометры ртутные лабораторные	ТЛ-2	0 – 100°С 0 – 150°С 0 – 200°С	Точные измерения температуры и контроль технических термометров	То же
3. Термометры сопротивления медные погружаемые, длина монтажной части 80, 160, 200 мм, материал защитной арматуры -- сталь 20 или сталь 12 Х18Н10Т	ТСМ-Х	-50 + 100°С град. 23	Дистанционный контроль температуры и влажности в камерах	г. Луцк, приборостроительный завод
4. Термометры сопротивления медные погружаемые, длина монтажной части 100, 250, 320 мм, материал защитной арматуры - латунь Л63	ТСМ – ХП	-50 + 100°С град. 23	Дистанционный контроль температуры и влажности в камерах	г. Луцк, приборостроительный завод
5. Термометры сопротивления медные погружаемые, длина монтажной части 80, 100, 120, 160, 200, 250 мм, длина выводов 1, 2, 3, 4, 5 м, материал защитной арматуры сталь 08Х18Н10Т, сталь 08Х13	ТСМ-0879-01	-50 + 150°С град. 50 М и 100 М	То же	г. Луцк, приборостроительный завод
6. Термометры сопротивления платиновые погружаемые, длина выводов 1, 2, 3, 4, 5 м, материал защитной арматуры сталь 12Х18Н10Т, сталь 08Х13	ТСП-0879-01	-50 + 150°С град. 21 и 100П	Датчики в системе автоматического регулирования температуры и влажности в камерах	г. Луцк, приборостроительный завод
7. Логометр щитовой, профильный, показывающий	Щ-69000	град. 23 0 – 100°С 0 – 150°С	Дистанционный контроль температуры и влажности в камерах	г. Ереван, Приборов. завод
8. Измеритель-регулятор микропроцессорный	ГРМ-5-РІС-Щ.01-Р11	0 - 150°С град. 50 М 100 М	В системе контроля и регулирования температуры лесосушильных камер	г. Москва завод «Овен»

1.2. Датчики температуры в системах контроля и регулирования

Датчики температуры должны быть работоспособными во влажной и агрессивной среде лесосушильных камер, то есть быть герметичными и коррозионноустойчивыми. Пределы измерения влажности окружающей среды 20 – 100%, температуры – 0 –150°C. Датчики должны быть взаимозаменяемыми, обладать достаточно большим сроком службы (межремонтный период составляет в среднем 200 суток).

В качестве датчиков психрометров используются медные или платиновые термометры сопротивления. Датчики температуры, применяемые в системе регулирования, должны быть малоинерционными, их показатель тепловой инерции не должен превышать 10 с (ГОСТ 6651-78). Обязательное условие – идентичность характеристик используемых датчиков. Датчики психрометра подбираются попарно так, чтобы показания их отличались не более чем на 0,5°C.

Точность измерения температуры с помощью термометров сопротивления в большой степени зависит от условий теплообмена с окружающей средой, наличия оттока тепла по арматуре и потерь тепла на излучение. Поэтому к месту и способу установки термометров в камерах предъявляются определенные требования. Для уменьшения погрешности измерения от лучеиспускания необходимо, например, полировать поверхность защитной арматуры термометра. Камера в месте установки термометров должна иметь хорошую теплоизоляцию ограждений, а термометры должны хорошо обдуваться сушильным агентом. Термометры надо обязательно экранировать от излучения калориферов.

Для уменьшения погрешностей измерений за счет теплопроводности необходимо увеличивать скорость обдува датчиков, уменьшать сечение защитной арматуры термометров, применять тепловую изоляцию в месте установки датчиков.

В камерах периодического действия с реверсивной циркуляцией датчики необходимо устанавливать в торце камеры со стороны коридора управления на высоте 1,5 м от пола.

В камерах непрерывного действия датчики устанавливаются в разгрузочном и загрузочном концах камеры со стороны входа агента сушки в сушильное пространство камеры и выхода его.

1.3. Автоматическое регулирование температуры и влажности агента сушки

При использовании серийных регуляторов регулирование процесса сушки ведется по температурам сухого и смоченного термометров. На каждую сушильную камеру устанавливается два регулятора, два исполнительных органа и блок датчиков с сухим и смоченным термометрами.

«Сухой» исполнительный орган устанавливается на паропроводе подачи пара в калориферы и поддерживает заданную температуру воздуха в камере в соответствии с сигналами регулирующего прибора; «смоченный» исполнительный орган осуществляет подачу пара в увлажнительные трубы, если влажность воздуха в камере становится ниже заданной по режиму. Такой способ регулирования влажности воздуха применяется только при полностью закрытых приточно-вытяжных каналах, когда избыток влаги удаляется из камеры через неплотности ограждений. В камерах с герметичными ограждениями заданная влажность воздуха должна поддерживаться путем регулирования

воздухообмена камеры с окружающей средой за счет изменения степени открытия шиберов на приточно-вытяжных каналах.

При автоматическом регулировании заданный температурный и влажностный режим в камере поддерживается регуляторами. В этом случае оператор обязан контролировать работу основных узлов системы и изменять заданные температуры $t_{\text{зад}}$ и $t_{\text{м.зад}}$ при переходе с одного режима на другой. Переводить камеру на дистанционное управление допускается только при неисправности регулятора. В этом случае закрытием или открытием вентилей управляет оператор дистанционно со щита управления. Переход на ручное управление предусматривается в аварийных случаях при серьезных неисправностях системы. Оно ведется по месту, то есть оператор поддерживает заданный режим сушки, открывая и закрывая вентили в коридоре управления.

Ранее широко применялись регуляторы температуры на базе серийных уравновешенных мостов типа КСМ-2, КСМ-3, КСМ-4. Однако, у них оказалась низкая надежность редукторов и высокое число отказов механики приборов. В настоящее время они используются на большом количестве ранее построенных сушильных камерах.

В новых разработках применяются измерители-регуляторы температуры микропроцессорные. В качестве примера на рис. П.1.2. приведена электрическая принципиальная схема лесосушильной камеры КЭМ-98, изготавливаемой в ООО «НПО БЛОК» (г. Архангельск).

Регулирование температуры t производится периодическим включением и отключением секций электрокалорифера А1. Регулирование температуры $t_{\text{м}}$ осуществляется периодическим включением и отключением парогенератора А2 и изменением положения заслонок приточно-вытяжных каналов с помощью исполнительного механизма А3.

Управление камерой может осуществляться в двух режимах работы оборудования: ручном и автоматическом. Основным является автоматический режим управления. Ручной режим может применяться при подготовке оборудования к работе и в случае выхода из строя приборов автоматического регулирования.

Питание схемы осуществляется от сети 380 В, 50 Гц через выключатель QF1.

Двигатель М1 привода вентилятора запитывается через выключатель QF2 и пускатель КМ1 с тепловым реле F1.

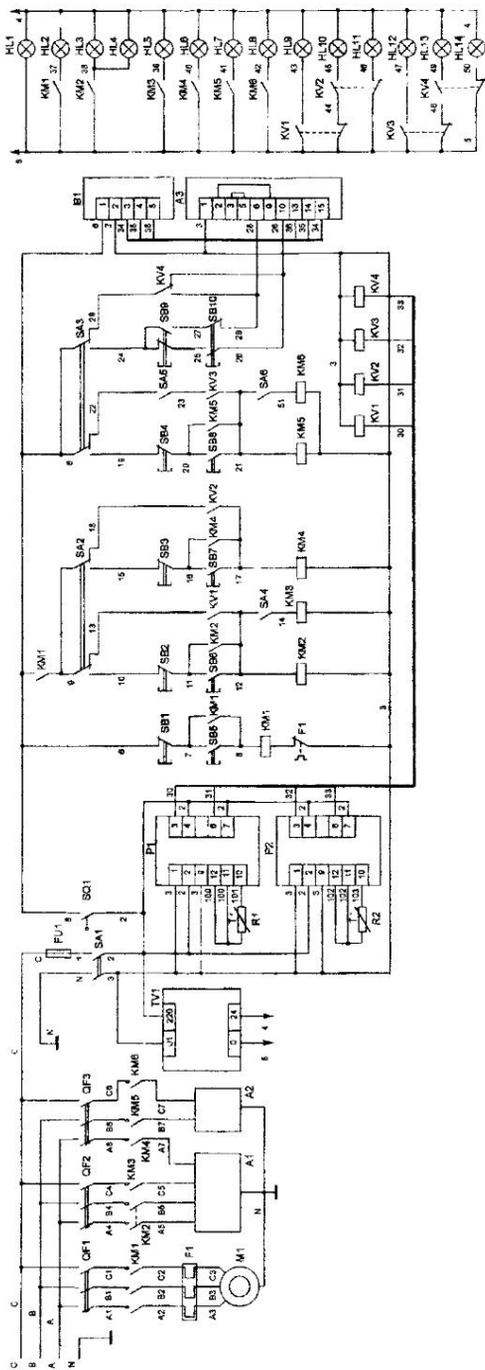
На две секции четырехсекционного электрокалорифера А1 напряжение подается через выключатель QF2 и пускатель КМ2, на третью – через выключатель QF3 и пускатель КМ3 и на четвертую – через выключатель QF4 и пускатель КМ4.

На каждую из двух секций парогенератора А2 напряжение подается через выключатель QF4 и пускатели КМ5 и КМ6.

Питание цепей управления, трансформатора TV1 питания сигнализации, приборов Р1, Р2 осуществляется через плавкую вставку FU1 и тумблер SA1. Напряжение на цепи управления, исполнительный механизм А3 и дистанционный указатель положения В1 подается через контакты конечного выключателя SQ1.

К приборам Р1 и Р2 по трехпроводной схеме подключены термопреобразователи сопротивления R1 и R2. С помощью термопреобразователя сопротивления R1 прибор Р1 измеряет температуру T агента сушки. С помощью термопреобразователя сопротивления R2 прибор Р2 измеряет температуру по смоченному гермометру $T_{\text{м}}$ агента сушки.

Управление пускателем КМ1 электродвигателя М1 осуществляется кнопками SB1 и SB5.



- А1 - электромагнит Б112.10.00-01;
 А2 - переключатель Б112.11.00-02;
 А3 - механизм исполнительный самоборотный МЭО-16/25-0,63-82;
 В1 - указатель положения дистанционный ДУП-К; 220 В, 50 Гц;
 F1 - реле тепловое РТЛ; В...19 А;
 FУ1 - вставка плавкая ВП1-1-В;
 НЛ1...НЛ14 - арматура АМЕ 324221У2, 24 В;
 КМ1 - прелевал магнитный ПМД-2210 02Б; 220 В, 50 Гц;
 КМ2...КМ6 - прелевал магнитный ПМД4100 04Б; 220 В, 50 Гц;
 КВ1...К4 - реле промежуточные РПЛ 122Х4; 220 В, 50 Гц;
 М1 - электродвигатель 4А132Б4У3; 5,5 кВт; 960 об/мин,
- П1, Р2 - измеритель-регулятор микропроцессорный ТРМ5-РС-Щ.01-Р1.1,
 QF1 - выключатель автоматический АЕ 2043М-100-00 УЭБ; 380 В; 50 Гц; 12 кА; 16 А;
 QF2, QF3 - выключатель автоматический АЕ 2043М-100-00 УЭБ; 380 В; 50 Гц; 12 кА; 50 А;
 R1, R2 - терморелеобразователь сопротивления ТСМ-0879-01; градуировка 50М;
 SA1...SA6 - тумблер ТБ1-2;
 SB1...SB4 - выключатель КЕ 011У3, исп. 5, красный; С;
 SB5...SB8 - выключатель КЕ 011У3, исп. 4, серый; С;
 SB9, SB10 - выключатель КЕ 011У3, исп. 2, черный; С;
 SQ1 - микровыключатель МП1306;
 ТУ1 - трансформатор ОСМ1-0,016 У3; 220/24 В.

Рис. П.1.2. Схема электрическая принципиальная лесопильной камеры КЭМ-98.

Питание цепей управления пускателей калорифера А1 подается через замыкающий контакт пускателя двигателя М1. Управление пускателем КМ2 двух секций электрокалорифера А1 производится кнопками SB2 и SB6 в ручном режиме и контактом реле KV1 в автоматическом режиме. На катушку пускателя КМ3 третьей секции калорифера А1 напряжение подается тумблером SA4 в ручном и автоматических режимах. Управление пускателем КМ4 четвертой секции калорифера А1 осуществляется кнопками SB3 и SB7 в ручном режиме и контактом реле KV2 в автоматическом режиме.

Управление пускателем КМ5 секции парогенератора А2 производится кнопками SB4 и SB8 в ручном режиме и контактом реле KV3 и тумблером SA5 в автоматическом режиме. На катушку пускателя КМ6 второй секции парогенератора А2 напряжение подается тумблером SA6 в ручном и автоматических режимах и тумблером SA5 в автоматическом режиме.

Управление исполнительным механизмом А3 производится кнопками SB9 и SB10 в ручном режиме и контактами реле KV4 в автоматическом режиме.

На сигнальную лампу HL1 «Сеть» напряжение подается непосредственно со вторичной обмотки трансформатора TV1.

На сигнальную лампу HL2 «Вентилятор» напряжение подается замыкающим контактом пускателя КМ1.

На сигнальные лампы HL3 «секция 1 калорифера» и HL4 «секция 2 калорифера» напряжение подается замыкающим контактом пускателя КМ2.

На сигнальную лампу HL5 «секция 3 калорифера» напряжение подается замыкающим контактом пускателя КМ3.

На сигнальную лампу HL6 «секция 4 калорифера» напряжение подается замыкающим контактом пускателя КМ4.

На сигнальную лампу HL7 «секция 1 парогенератора» напряжение подается замыкающим контактом пускателя КМ5.

На сигнальную лампу HL8 «секция 2 парогенератора» напряжение подается замыкающим контактом пускателя КМ6.

На сигнальную лампу HL9 «температура Т меньше нормы» напряжение подается замыкающим контактом реле KV1.

На сигнальную лампу HL10 «температура Т в норме» напряжение подается замыкающим контактом реле KV2 через размыкающий контакт реле KV1.

На сигнальную лампу HL11 «температура Т больше нормы» напряжение подается размыкающим контактом реле KV2.

На сигнальную лампу HL12 «температура T_m меньше нормы» напряжение подается замыкающим контактом реле KV3.

На сигнальную лампу HL13 «температура T_m в норме» напряжение подается замыкающим контактом реле KV4 через размыкающий контакт реле KV2.

На сигнальную лампу HL14 «температура T_m больше нормы» напряжение подается размыкающим контактом реле KV4.

Текущая влажность пиломатериалов определяется по контрольным образцам, укладываемым в штабель перед загрузкой его в камеру (раздел 4), либо влагомерами ИВ-1-1 и ВПК-12 М.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ, УЧЕТУ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХОВ И УЧАСТКОВ

1. КАЛЕНДАРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В СУШИЛЬНОМ ЦЕХЕ

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

При составлении календарного плана работы сушильного цеха рекомендуется пользоваться графиком (рис. П.2.1). На доске в горизонтальном направлении напротив номера камеры делаются продольные пазы, куда вставляются «плановые» ленты-карточки. На карточке отмечаются порода, толщина, начальная влажность высушиваемого материала. Длина карточек в масштабе доски соответствует продолжительности сушки материала (указанного на карточке), включая время на загрузку и выгрузку. Ленты-карточки лучше иметь разных цветов для определенных пород или толщин высушиваемых материалов.

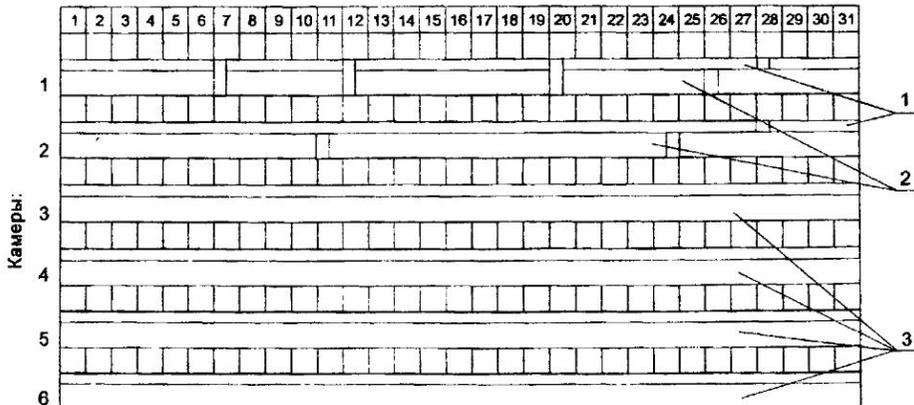


Рис. П.2.1. Передвижной график планирования работы сушильного цеха:

1 - карточки фактического выполнения плана; 2 - плановые карточки; 3 - пазы для размещения карточек.

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

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

2. Отбираются или заготавливаются ленты-карточки в количестве, равном числу загрузок по сортаментам, в соответствии с данными п. 1.

3. Карточки раскладываются на доске без разрывов, число карточек должно соответствовать числу загрузок материала, подлежащего сушке.

Фактическое выполнение плана отмечается на графике путем вставки более высоких карточек сзади «плановых».

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

2. СЕБЕСТОИМОСТЬ СУШКИ И СОСТАВ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Себестоимость сушки (плановая и фактическая) 1 м³ условного материала определяется по статьям затрат, перечень которых приведен в табл. П.2.1. Состав технико-экономических показателей сушильного цеха приводится в табл. П.2.2.

Т а б л и ц а П.2.1

Наименование статей затрат	План		Фактически	
	Сумма расходов на квартал (месяц)	затраты на 1 м ³ усл. материала	сумма расходов на квартал (месяц)	затраты на 1 м ³ усл. материала
1. Материалы, р.				
2. Топливо и пар, р.				
3. Электроэнергия, р.				
4. Заработная плата основная и дополнительная, р.				
5. Отчисления на социальное страхование, р.				
6. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, р. в том числе амортизация				
7. Цеховые расходы, р.				
8. Прочие расходы, р.				
Итого цеховая себестоимость, р.				

Предприятие _____
 Отчет по сушильному хозяйству за _____ месяц _____ г.

Технико-экономические показатели

Показатели	План	Фактически
1. Всего камер, шт. в том числе по типам		
2. Число действующих камер, шт.		
3. Отработано камеро-суток		
4. Отработано камеро-оборотов		
5. Простои, камеро-суток		
6. Коэффициент использования сушильных камер		
7. Производственная мощность сушильных камер, м ³ усл.		
8. Высушено пиломатериалов:		
а) в фактическом материале, м ³		
б) в условном, м ³ усл.		
в) брак, %		
9. Производительность на 1 чел-день на транспортно-погрузочных работах:		
а) в фактическом материале, м ³ /чел-день		
б) в условном, м ³ усл./чел-день		
10. Расход пара:		
а) на фактический кубометр, т/м ³		
б) на условный кубометр, т/м ³ усл.		
11. Расход электроэнергии:		
а) на фактический кубометр, кВт · ч/м ³		
б) на условный кубометр, кВт · ч/м ³ усл.		
12. Фонд заработной платы, р.		
13. Себестоимость сушки на кубометр условного пиломатериала, р/м ³ усл.		
14. Прибыль по результатам работы цеха:		
а) общая по цеху, р.		
б) на 1 м ³ усл. пиломатериалов, р/м ³ усл.		

3. УЧЕТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ДЛЯ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХОВУ

Для повседневного учета и контроля работы лесосушильного цеха устанавливаются следующие единые формы: форма 1 – журнал учета поступления сырых и отгрузки сухих пиломатериалов (заготовок); форма 2 – сводка движения пиломатериалов в сушильном цехе за месяц; форма 3 – штабеленная карточка; форма 4 – журнал контроля режимов сушки; форма 5 – протокол контроля перепада влажности по толщине пиломатериалов (заготовок); форма 6 – протокол контроля остаточных напряжений; форма 7 – журнал учета формирования штабелей; форма 8 – журнал учета работ по загрузке и разгрузке пиломатериалов.

Журнал учета высушиваемых пиломатериалов

№ ка меры	№ шта- беля	По- рода	Размеры пилома- териала- лов	Сорт	На- зна- чение	Коли- чест- во	Влажность, %		Дата и время за- ката	Дата и время выкат- ки	Срок суш- ки, сутки	Кoeffи- циент ле- ревода в условные п/м	Коли- чество, м ³ ус- ловных	На- раста- ющий итог	При- ме- ча- ние
							W _н	W _к							

План на месяц

Высушено за месяц

Сводка движения пиломатериалов за август месяца

Наименование пиломатериалов	Порода и сорт	Остаток пиломатериалов на первое число отчетного месяца, м ³		Поступление сырых пиломатериалов (заготовок) на сушку в течение месяца, м ³	Отпущено в течение месяца сухих пиломатериалов (заготовок), м ³	Остаток пиломатериалов в сушильном цехе на первое число следующего месяца, м ³	Производительность сушильного цеха за август месяц			
		сухих	сырых				по плану		фактически выполнено	
							по факт. специф., м ³	в условном материале, м ³ усл.		по факт. специф., м ³
Хвойные обрезные	ель б/с		2000	7129	6300	2829	5300	3950	6280	4687
Хвойные необрезные										
Всего хвойных пиломатериалов										
Лиственные обрезные										
Лиственные необрезные										
Всего лиственных пиломатериалов										
Итого пиломатериалов за месяц										

Данные в сводке приведены в качестве примера

Ф о р м а 3

ЛДЖ №1
(наименование предприятия)

ШТАБЕЛЬНАЯ КАРТОЧКА №

Камера № 3

Дата и время укладки 02.10.99 10.00

Дата и время загрузки 02.10.99 10.30

Дата и время выгрузки 06.10.99 9.00

Порода	Назначение материала	Размеры материала		Количество штук	Объем, м ³	Влажность материала, %		Расчетный срок сушки, ч	Фактический срок сушки, ч
		сечение (толщина × ширина), мм	средняя длина, м			начальная	конечная		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ель	экспорт	63 × 100	5,0	360	11,3	52	20	92	95

Брак 1 шт. 0,0315 м³
Пересортца 3,1 %

Приведен пример заполнения штабеляной карточки

Определение начальной и текущей влажности материала

Секции влажности	Начальная масса секции, г	Масса секции в абсолютно сухом состоянии, г	Начальная влажность материала, %	Средняя начальная влажность материала, %
1	30,0	19,0	57,9	52,0
2	21,9	15,0	46,0	
3				
4				

Номер контрольного образца	Начальная масса контрольного образца, кг	Начальная влажность материала, %	Масса контрольного образца в абсолютно сухом состоянии, кг	Текущая масса контрольных образцов и текущая влажность материала					
				05.10		06.10		Дата	
				масса, кг	влажность, %	масса, кг	влажность, %	масса, кг	влажность, %
1	6,437	52	4,235	5,335	25,9	5,086	20,1		

Примечание. Штабельные карточки вставляются в секции диспетчерской доски. Диспетчерская доска разделяется на секции по числу камер в сушильном цехе. В камерах периодического действия штабельные карточки (количество их зависит от вместимости камер) находятся в секциях на протяжении всего процесса сушки соответствующих штабелей. В камерах непрерывного действия штабельные карточки перемещаются по секциям в соответствии с фактическим перемещением штабелей по путям камер.

После выгрузки штабелей из камер карточки, соответствующие этим штабелям, снимаются с диспетчерской доски и хранятся в специальных карманах.

ПРОТОКОЛ
контроля перепада влажности по толщине пиломатериалов (заготовок), %

Обозначение пиломатериалов (заготовок)	Контролируемые образцы						Среднее значение ΔW для пиломатериалов (заготовок)
	1			2			
	$W_{\text{вн}}$	$W_{\text{лов}}$	ΔW	$W_{\text{вн}}$	$W_{\text{лов}}$	ΔW	
1	11,3	8,8	2,5	11,0	8,3	2,7	2,6
2	10,9	8,6	2,3	9,8	7,4	2,4	2,35
3	8,7	6,9	1,8	8,5	6,8	1,7	1,75

$\Delta W_{\text{ср}} = 2,23$

Заключение: пиломатериалы влаготеплообработке не подлежат.

(Указывается, подлежат ли пиломатериалы (заготовки) влаготеплообработке).

« » _____ г. _____ Подпись _____

ПРОТОКОЛ
контроля остаточных напряжений

Обозначение пидоматериалов (заготовок)	Контролируемые образцы										Среднее значение f , % для пидоматериалов (заготовок)
	1					2					
	мм		L	мм		f, %	T	мм		f, %	
	T	T ₁		T ₁	L			T ₁	L		
1	32	40	125	3,2	32	39	125	2,8	3,0		
2	32	36	125	1,6	32	37	125	2,0	1,8		
3	32	38	125	2,4	32	37,5	125	2,2	2,3		

 $f_{cp} = 2,37$

Заключение: пидоматериалы влаготеплообработке не подлежат.

(Указывается, подлежат ли пидоматериалы (заготовки) влаготеплообработке).

« ____ » _____ г.

Подпись _____

4. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ ЦЕХОВ

4.1. Примерные штаты сушильного цеха (участка)

Количество штатных единиц персонала сушильного цеха и его состав зависят от производственной мощности сушильного хозяйства, спецификации высушиваемого материала, степени механизации и автоматизации процесса сушки.

Количество операторов сушильных камер может устанавливаться из расчета один оператор на 10 -12 камер.

Количество рабочих, занятых на формировании сушильных штабелей, загрузке и выгрузке материала из камер и на разборке штабелей, определяется в зависимости от объема работ и степени их механизации. При определении количества рабочих для сушильного цеха следует руководствоваться данными табл. П.2.3.

Таблица П.2.3.

Производительность труда при различных способах укладки досок в штабеля и пакеты для камерной сушки (данные ЦНИИМОДа)

Оборудование, применяемое для укладки и разборки штабелей	Количество человек, обслуживающих рабочее место	Производительность за смену, м ³	Производительность, м ³ /чел.-ч	Затраты труда, чел.-ч/м ³
Ручная укладка в сушильные штабеля (без шпаций)	2	<u>25-30</u> 35-40	<u>1,56-1,88</u> 2,19-2,50	<u>0,64-0,53</u> 0,45-0,40
Ручная разборка сушильных штабелей	2	<u>50-60</u> 70-80	<u>3,10-3,70</u> 4,30-5,00	<u>0,32-0,28</u> 0,23-0,20
Ручная укладка в сушильные штабеля с эстакады (без шпаций)	2	<u>30-35</u> 40-45	<u>1,88-2,19</u> 2,50-2,80	<u>0,53-0,45</u> 0,40-0,36
Укладка в пакеты на пакетформирующей машине	3	<u>159</u> 275	<u>6,62</u> 11,46	<u>0,151</u> 0,087
Лифты и вертикальные подъемники (типа Л-6,5-1,5; Л-214-5; ПВ-20) – укладка в штабеля (без шпаций)	2	<u>35-40</u> 50-55	<u>2,20-2,50</u> 3,10-3,44	<u>0,45-0,40</u> 0,32-0,29
Лифты и вертикальные подъемники – разборка штабелей	2	<u>70-80</u> 150-160	<u>4,40-5,00</u> 5,20-5,80	<u>0,23-0,20</u> 0,16-0,15
Укладка штабелеукладчиками	3	<u>100-125</u> 150-175	<u>4,16-4,80</u> 6,25-7,25	<u>0,24-0,21</u> 0,16-0,14
Ручная укладка пакетов (без шпаций)	2	<u>33-40</u> 46-52	<u>2,08-2,50</u> 2,86-3,23	<u>0,48-0,40</u> 0,35-0,31
Ручная разборка пакетов	2	<u>66-80</u> 92-104	<u>4,16-5,00</u> 5,72-6,44	<u>0,24-0,20</u> 0,18-0,16

Примечание. При укладке штабелей на пакетформирующих машинах средняя длина пиломатериалов принята равной 5м. В числителе приводится производительность труда при укладке и разборке досок сечением 25 × 140 × 5500 мм, в знаменателе – сечением 50 × 140 × 5500 мм.

Производительность труда на укладке досок в штабеля или пакеты со шпациями (ручная укладка в сушильные штабеля и с эстакады, укладка с помощью лифтов и подъемников, ручная укладка пакетов) принимается в среднем на 20% ниже по сравнению с указанной в таблице.

При укладке заготовок потребность в рабочей силе возрастает в 2 – 2,5 раза.

Технадзор и ремонт приборов и оборудования по дистанционному контролю и авторегулированию в лесосушильном цехе осуществляется службой контрольно-измерительных приборов КИП.

4.2. Оборудование лабораторий сушильного цеха

Хорошо оснащенная лаборатория должна иметь следующий набор приборов, инструментов и оборудования, используемых при повседневной работе сушильного цеха и при испытании сушильных камер:

- шкафы сушильные лабораторные (термостат № 3 или шкаф СНОЛ);
- технические весы с точностью до 0,01 г с набором разновесов;
- весы циферблатные (типа ВНЦ);
- влагомеры электрические (ИВ-1-1, ВПК-12М);
- термометры ртутные стеклянные лабораторные (ТЛ-4) с ценой деления 0,1°C: для пределов: 0-50°C, 50-100°C, 100-150°C;
- термометры технические (ТТ ГОСТ 2823-73) прямые и угловые со шкалой показаний 0-150°C;
- психрометр универсальный типа ПБУ-1М;
- аспирационный психрометр (МВ-4М);
- настольная пила ленточная с электродвигателем;
- пила-ножовка;
- фонари электрические аккумуляторные (переносные);
- измерительные приборы (рулетки стальные, складные метры, штангенциркули и т.п.);
- часы стенные;
- книги и пособия по сушке древесины и охране труда;
- аптечка первой помощи.

ИСХОДНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ДИАГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

В настоящем приложении приводятся методы расчета, предусматривающие использование вспомогательных графиков. Они рекомендуются для сравнительного анализа камер, теплового и аэродинамических расчетов при проектировании, а также для проверочных расчетов продолжительности камерной сушки пиломатериалов при заданных и надежно контролируемых условиях процесса.

Рассчитывается продолжительность собственно сушки. Для определения полной продолжительности процесса к найденной величине прибавляется время начального прогрева и влаготеплообработок.

В связи со спецификой низко- и высокотемпературных процессов и особенностями сушки в камерах периодического и непрерывного действия рекомендуемые методы расчета продолжительности процесса разработаны применительно к трем основным случаям:

- а). низкотемпературный процесс сушки в камерах периодического действия;
- б). высокотемпературный процесс сушки в камерах периодического действия;
- в). низкотемпературный процесс сушки в камерах непрерывного действия с противоточной циркуляцией.

1. КАМЕРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРОЦЕСС

Исходные для расчета формулы получены на основе уравнения влагопроводности. Упрощенная формула для камерной сушки в штабелях в случаях применения режимов с повышающейся жесткостью (степень насыщенности в конце процесса $\varphi = 0,3 - 0,4$) при фактически постоянной температуре смоченного термометра t_m имеет вид

$$\tau = \frac{C_\tau \cdot S_1^2 \cdot K}{a_m \cdot 10^6} \cdot C \cdot A_{ц.р.} \cdot A_\varphi \cdot \lg \frac{W_n}{W_k}, \quad (1)$$

где

- τ – продолжительность сушки, ч;
 C_τ – поправка на многомерность;
 a_m – коэффициент влагопроводности древесины, определяемой по средней в течение процесса температуре смоченного термометра, $\text{см}^2/\text{с}$;
 S_1 – толщина материала, см;
 K – коэффициент, зависящий от S_1 ;
 C – коэффициент замедления сушки в штабеле по сравнению с сушкой единичных сортиментов;
 $A_{ц.р.}$ – коэффициент, учитывающий характер циркуляции (реверсивная, неререверсивная);
 A_φ – коэффициент, учитывающий начальную степень насыщенности среды φ_n ;
 W_n, W_k – начальная и конечная влажность древесины, %.

Обозначим первый множитель уравнения (1) через B_1

$$\frac{S_1^2 \cdot K}{a_m \cdot 10^6} = B_1 \quad (2)$$

и получим формулу

$$\tau = C_\tau \cdot B_1 \cdot C \cdot A_{ц.р.} \cdot A_\phi \cdot \lg \frac{W_H}{W_K} \quad (3)$$

Для облегчения расчетов по формуле (3) основные входящие в нее величины представлены в виде графиков.

Расчет ведется в следующей последовательности:

1. По известному отношению толщины к ширине S_1/S_2 определяется (при $W_H > 50\%$ и $W_K = 8 - 20\%$) значение C_τ (рис. П.3.1, а).

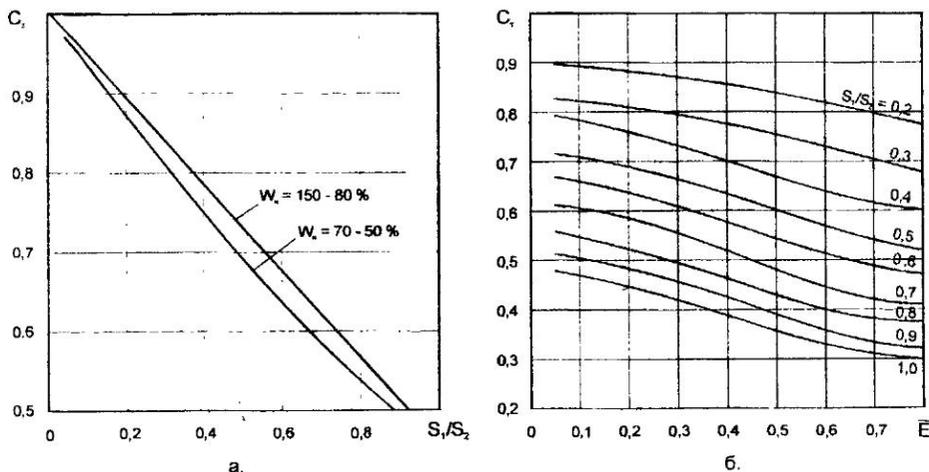


Рис. П.3.1. График для определения C_τ .

При $W_H < 50\%$ или $W_K > 20\%$ для определения используется рис. П.3.1. б, на котором

$$\bar{E}_i = \frac{W_K - W_p}{W_H - W_p} \quad (4)$$

где W_p - равновесная влажность на последней ступени сушки (рис. П.3.2).

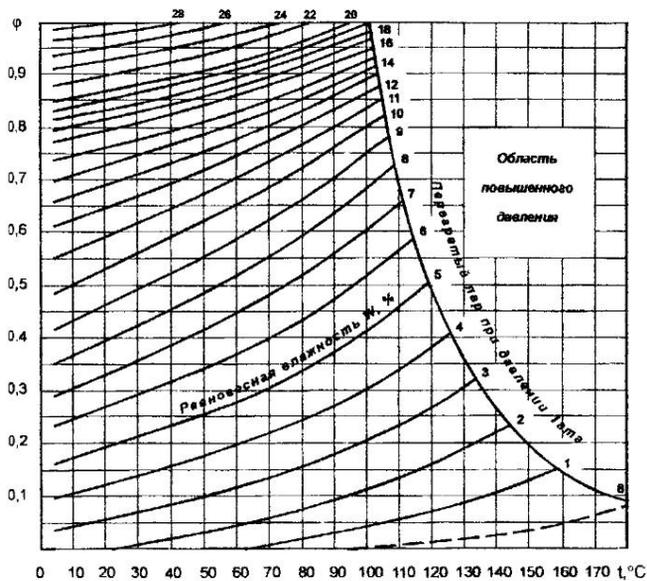


Рис. П.3.2. Диаграмма равновесной влажности древесины.

2. По породе, известной величине t_m и толщине материала определяется комплекс B_1 (рис.П.3.3).

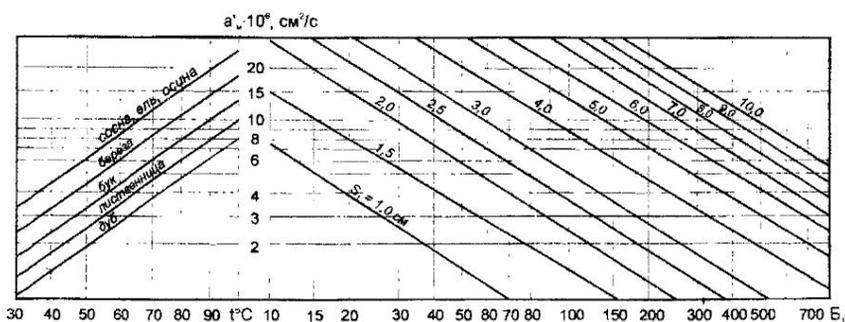


Рис. П.3.3. График для определения комплекса B_1 .

3. Находится произведение $C_T \cdot B_1$.

4. По величине $C_T \cdot B_1$, скорости циркуляции агента сушки по материалу Ω_{mat} и ширине штабеля B определяется коэффициент замедления сушки C (рис. П.3.4).

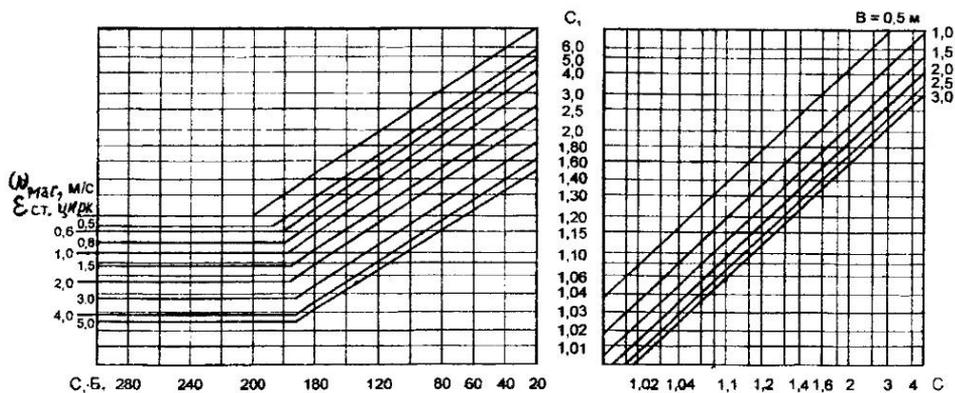
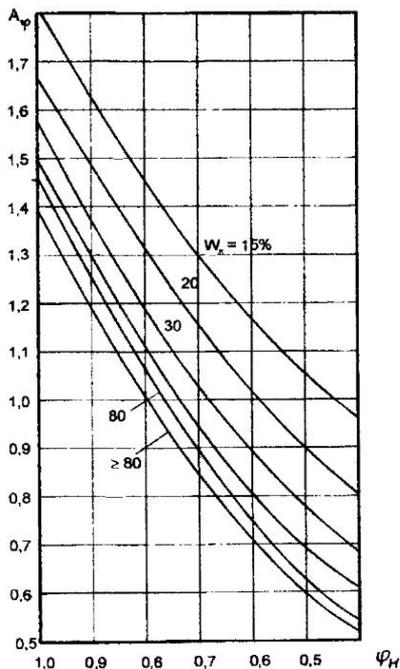


Рис. П.3.4. График для определения коэффициента замедления сушки в шкафеле С.

5. Значение $A_{ц.р.}$ принимается равным 1 при реверсивной циркуляции и 1,1 – при нереверсивной.

6. Определяется коэффициент A_{φ} (рис. П.3.5) в зависимости от начальной степени насыщенности среды φ_H и начальной влажности древесины W_0 .

Рис. П.3.5. График для определения коэффициента A_{φ}



7. Находится значение $\lg \frac{W_H}{W_K}$ (рис. П.3.6).

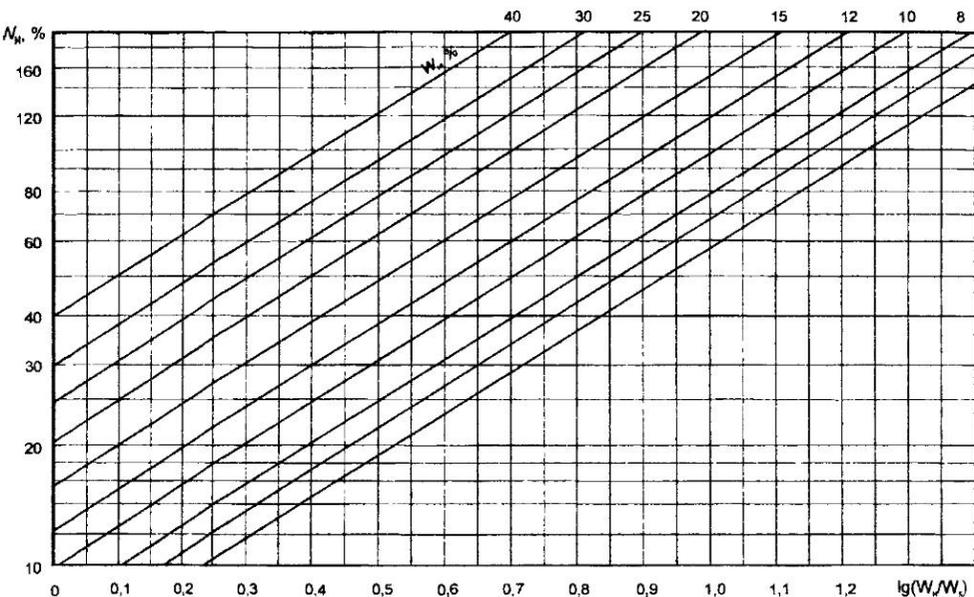


Рис. П.3.6. График для определения $\lg(W_H / W_K)$.

Изложенные рекомендации пригодны также для определения продолжительности сушки в камерах непрерывного действия с поперечной позонной циркуляцией.

Пример 1. Определить продолжительность сушки сосновых пиломатериалов сечением $S_1 \times S_2 = 5 \times 12$ см от начальной влажности $W_H = 65$ % до конечной влажности $W_K = 9$ % при температуре $t_m = 60^\circ\text{C}$ и $\phi_n = 0,80$ в камере с реверсивной циркуляцией ($\omega_{\text{мат}} = 1$ м/с) при ширине штабеля $B = 1,8$ м.

Применяем упрощенную формулу (1).

Находим: при $S_1/S_2 = 0,417$, $C_\tau = 0,76$ (рис. П.3.1, а); $B_1 = 165$ (рис. П.3.3); при $C_\tau \cdot B_1 = 125$; $C = 1,28$ (рис. П.3.6); $A_{\text{ц.р.}} = 1,0$; $A_\phi = 1,02$ (рис. П.3.5); $\lg \frac{W_H}{W_K} = 0,86$ (рис. П.3.6).

$$\text{Отсюда } \tau = C_\tau \cdot B_1 \cdot C \cdot A_{\text{ц.р.}} \cdot A_\phi \cdot \lg \frac{W_H}{W_K} = 0,76 \cdot 165 \cdot 1,28 \cdot 1,0 \cdot 1,02 \cdot 0,86 = 162 \text{ ч.}$$

Во всех случаях более точно, особенно когда температура смоченного термометра t_m изменяется в процессе сушки (в частности, при сушке лиственницы), графоаналитический расчет выполняется при суммировании длительности процесса по ступеням в соответствии с формулами:

1-я ступень режима сушки

$$\tau_1 = C_{\tau 1} \cdot \frac{65 \cdot S_1^2}{a_{c.1} \cdot 10^6} \cdot C_1 \cdot A_{ц.р.} \cdot \lg 0,81 \frac{W_{н1} - W_{р1}}{W_{к1} - W_{р1}}; \quad (5)$$

Примечание. При низкой $W_{н1}$ $\left(\frac{W_{н1} - W_{р1}}{W_{к1} - W_{р1}} \right) < 1,4$ в формуле (5) значение 0,81 заменяется на 1.

2-я ступень режима сушки

$$\tau_2 = C_{\tau 2} \cdot \frac{65 \cdot S_1^2}{a_{c.2} \cdot 10^6} \cdot C_2 \cdot A_{ц.р.} \cdot \lg \frac{W_{н2} - W_{р2}}{W_{к2} - W_{р2}}; \quad (6)$$

3-я ступень режима сушки

$$\tau_3 = C_{\tau 3} \cdot \frac{65 \cdot S_1^2}{a_{c.3} \cdot 10^6} \cdot C_3 \cdot A_{ц.р.} \cdot \lg \frac{W_{н3} - W_{р3}}{W_{к3} - W_{р3}}. \quad (7)$$

Общая продолжительность сушки

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \quad (8)$$

В этих формулах:

$a_{c.i}$ - коэффициенты влагопроводности ($\text{см}^2/\text{с}$), определяемые по температуре среды t_c на каждой ступени режима сушки (левая часть рис. П.3.3);

S_1 - толщина пиломатериалов, см;

$W_{н1}, W_{н2}, W_{н3}$ - начальные, а $W_{к1}, W_{к2}, W_{к3}$ - конечные влажности на каждой ступени режима сушки (при нормативных режимах $W_{к2} = W_{к1} = 35\%$; $W_{к3} = W_{к2} = 25\%$);

$W_{р1}, W_{р2}, W_{р3}$ - равновесная влажность древесины на каждой ступени режима (определяется по рис. П.3.2);

$A_{ц.р.}$ - коэффициент, учитывающий характер циркуляции;

$C_{\tau 1}, C_{\tau 2}, C_{\tau 3}$ - поправки на многомерность, определяемые по рис. П.3.1, б по безразмерной влажности E_1 на каждой ступени режима

$$\bar{E}_1 = \frac{W_{к1} - W_{р1}}{W_{н1} - W_{р1}} \quad (9)$$

и отношению толщины S_1 к ширине S_2 ;

C_1, C_2, C_3 - коэффициенты замедления сушки, определяемые по рис. П.3.4 для каждой ступени режима по комплексам

$$C_{\tau i} \cdot B_i = C_{\tau i} \cdot \frac{65 \cdot S_1^2}{a_{c.i} \cdot 10^6} \cdot 1,31, \quad (10)$$

скорости циркуляции $\omega_{\text{мат}}$ и ширине штабеля B .

2. КАМЕРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРОЦЕСС

Исходные для расчета уравнения получены при приближенном решении задачи Стефана и системы уравнений переноса тепла и влаги в процессе сушки.

Для камерной сушки в штабелях уравнения для расчета длительности процесса имеют вид: (начальная влажность W_n больше переходной $W_{пер}$, а конечная W_k меньше ее)

для первого периода:

$$\tau_1 = C_\tau \frac{S_1 \cdot \rho_{усл} \cdot t_0 (W_n - W_{пер})}{72(t_c - t_{кип})} \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{S_1}{400\lambda} \right) \cdot C \cdot A_{ц.р.}; \quad (11)$$

для второго периода:

$$\tau_1 = C_\tau \frac{S_1 \cdot \rho_{усл} \cdot t_0}{72(t_c - t_{кип})} \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{S_1}{200\lambda} \right) \cdot (W_{пер} - W_p) \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{W_{пер} - W_p}{W_k - W_p} \cdot C \cdot A_{ц.р.} \quad (12)$$

В этих формулах:

τ_1 и τ_2 – длительность первого и второго периодов сушки, ч;

C_τ – поправка на многомерность;

t_c – температура среды, °С;

S_1 – толщина пиломатериала, см;

$\rho_{усл}$ – условная (базисная) плотность древесины, кг/м³;

t_0 – скрытая теплота парообразования, МДж/кг;

$W_{пер}$ – переходная между первым и вторым периодом сушки влажность, для производственных расчетов принимается равной 20 %;

$t_{кип}$ – температура кипения влаги в древесине, равная для древесины сосны, ели, березы 100°С;

α – коэффициент теплообмена между средой и материалом при сушке, Вт/м²·град;

λ – коэффициент теплопроводности древесины в подсушенной зоне, Вт/м·град;

C – коэффициент замедления сушки в штабеле по сравнению с сушкой единичных сортиментов;

W_p – равновесная влажность древесины;

$A_{ц.р.}$ – коэффициент, учитывающий характер циркуляции (при реверсивной $A_{ц.р.} = 1$, при неревверсивной $A_{ц.р.} = 1,10$).

Приняв $t_{кип} = 100^\circ\text{С}$ и $W_{пер} = 20\%$ и, обозначив множители

$$\frac{S_1 \cdot \rho_{усл} \cdot t_0}{72(t_c - 100)} = B \quad (13)$$

$$\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{S_1}{400\lambda} \right) = \Gamma_1 \quad (14)$$

$$\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{S_1}{200\lambda} \right) = \Gamma_2 \quad (15)$$

$$(20 - W_p) \cdot 2,3 \lg \frac{20 - W_p}{W_k - W_p} = E, \quad (16)$$

получим выражения

для первого периода сушки:

$$\tau_1 = C_\tau (W_n - 20) B \cdot \Gamma_1 \cdot C \cdot A_{ц.р.} \quad (17)$$

для второго периода сушки:

$$\tau_1 = C_\tau \cdot B \cdot \Gamma_2 \cdot C \cdot A_{ц.р.} \quad (18)$$

При высокотемпературной сушке возможны стабильные и двухэтапные (с разной температурах на этапах) режимы.

Общая продолжительность процесса сушки определяется по следующим формулам:

при стабильных режимах

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = C_\tau \cdot B \cdot C \cdot A_{ц.р.} ((W_H - 20)\Gamma_1 + \Gamma_2 \cdot E), \quad (19)$$

при двухэтапных ($W_{пер} = 20\%$)

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = C_\tau \cdot C \cdot A_{ц.р.} ((W_H - 20)B_1 \cdot \Gamma_1 + B_2 \cdot \Gamma_2 \cdot E). \quad (20)$$

При конечной влажности $W_K > 20\%$ (второго периода нет) длительность процесса (первого периода) равна

$$\tau_1 = C_\tau \frac{S_1 \cdot \rho_{удл} \cdot r_0 (W_H - W_K)}{72(t_c - 100)} \cdot \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{S_1}{400\lambda} \left(\frac{W_H - W_K}{W_H - 20} \right) \right) \cdot C \cdot A_{ц.р.}, \quad (21)$$

или после принятия обозначения

$$\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{S_1}{400\lambda} \cdot \frac{W_H - W_K}{W_H - 20} \right) = \Gamma', \quad (22)$$

$$\tau_1 = C_\tau (W_H - W_K) B \cdot \Gamma' \cdot C \cdot A_{ц.р.} \quad (23)$$

При $W_K = 20\%$ выражение (22) превращается в формулу (14), а формула (23) в формулу (17).

Если $W_H \leq 20\%$, то используется формула (18), в которой величина E подсчитывается по выражению (16) при подстановке в него вместо $W = 20\%$ фактического значения W_H .

Основные величины, входящие в формулы (7 - 20, 23) представлены в виде графиков.

Расчет с использованием графиков ведется в следующей последовательности.

1. По отношению S_1/S_2 определяется (при $W_H > 50\%$ b $W_K = 8 - 10\%$) значение C_τ (рис. П.3.1, а). При $W_H < 50\%$ и $W_K > 20\%$ C_τ определяется по рис. П.3.1, б, в котором $E = \frac{W_K - W_p}{W_H - W_p}$. Здесь W_p - (рис. П.3.2) равновесная влажность второй ступени процесса при определении общей его длительности и на первой ступени при определении продолжительности сушки только первого этапа.

2. По толщине S_1 , породе древесины и температуре среды определяется (рис. П.3.7) значение B (при двухэтапном режиме - B_1 и B_2).

Прямая для лиственницы построена ориентировочно по данным опытов МЛТИ и СибТИ. Для кедра может использоваться верхняя линия (ель).

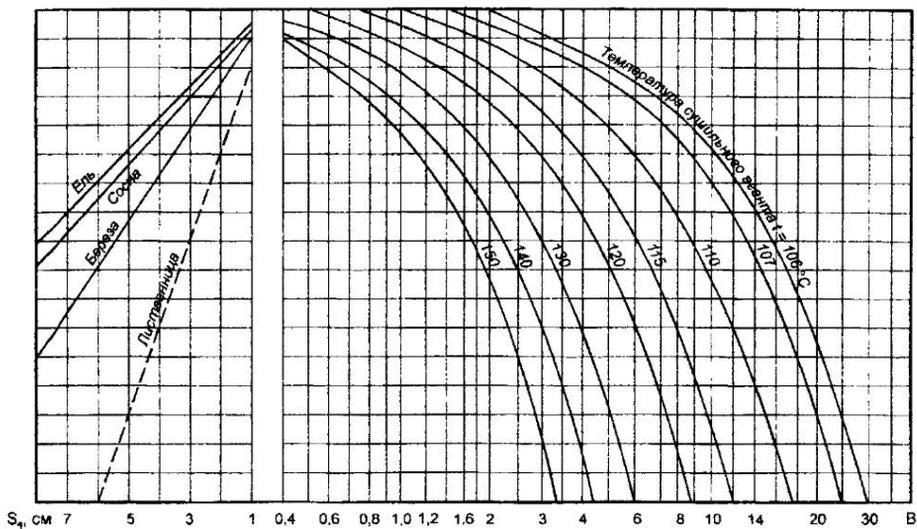


Рис. П.3.7. График для определения W

3. По величине S_1 , породе древесины и скорости циркуляции по материалу $\omega_{\text{мат}}$ находят величины Γ (Γ') и Γ_2 (рис.П.3.8). При этом Γ' определяется по $S_1 \cdot \frac{W_H - W_K}{W_H - 20}$, а Γ_2 – по $2S_1$ (откладывается на оси абсцисс вместо S_1).

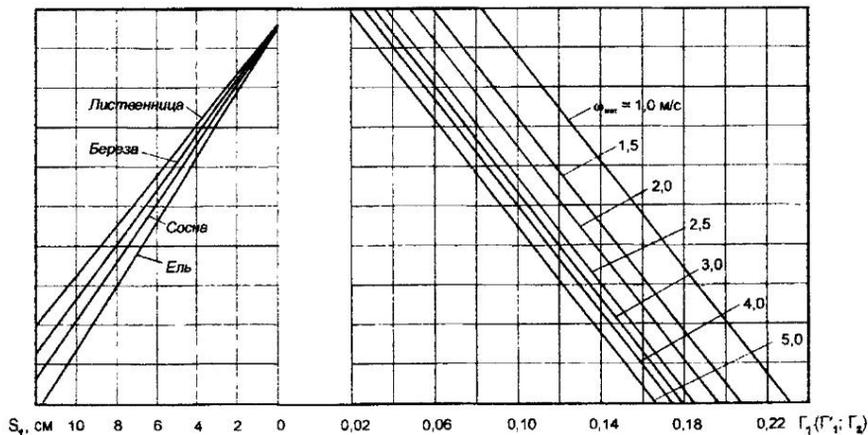


Рис. П.3.8. График для определения Γ_1 (Γ'_1 ; Γ_2)

4. Определяется расчетная толщина материала

$$S_p = S_1 \cdot C_\phi, \quad (24)$$

где C_ϕ – коэффициент формы, определяемый по рис. П.3.9, а в случаях, когда C_τ определяется по рис. П.3.1, а и по рис. П.3.9, б, если C_τ определяется по рис. П.3.1, б, C_ϕ можно определять по выражению $C_\phi = \sqrt{C_\tau}$.

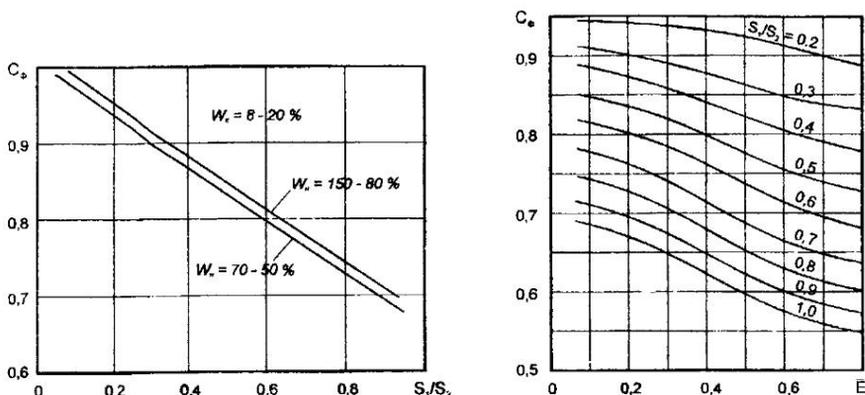


Рис. П.3.9. График для определения коэффициента C_ϕ .

5. По расчетной толщине материала S_p скорости циркуляции по материалу $\omega_{\text{мат}}$ и ширине штабеля непосредственно определяется (рис. П.3.10) коэффициент замедления сушки в штабеле C для всех пород, кроме лиственницы.

Для лиственницы значение искомого коэффициента (C_L) определяется по формуле

$$C_L = 1 + \frac{C - 1}{2}, \quad (25)$$

где C – значение, полученное по рис. П.3.10.

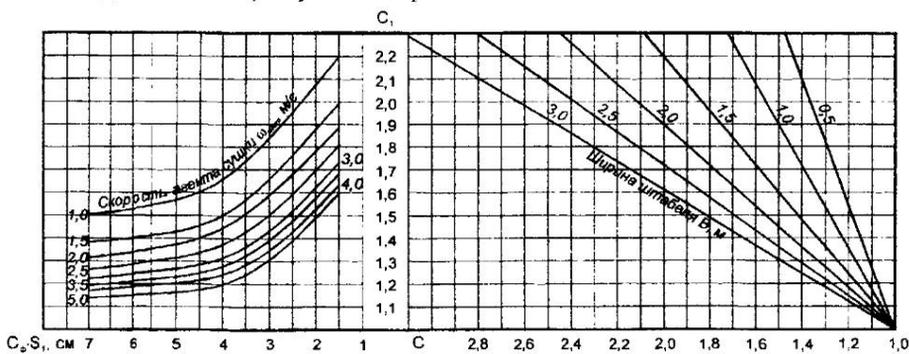


Рис. П.3.10. График для определения коэффициента замедления C сушки в штабеле.

6. Устанавливается в зависимости от характера циркуляции величина $A_{ц.р.}$.

7. По температуре среды t_c , температуре смоченного термометра t_m и конечной влажности W_k определяется значение E (рис. П.3.11).

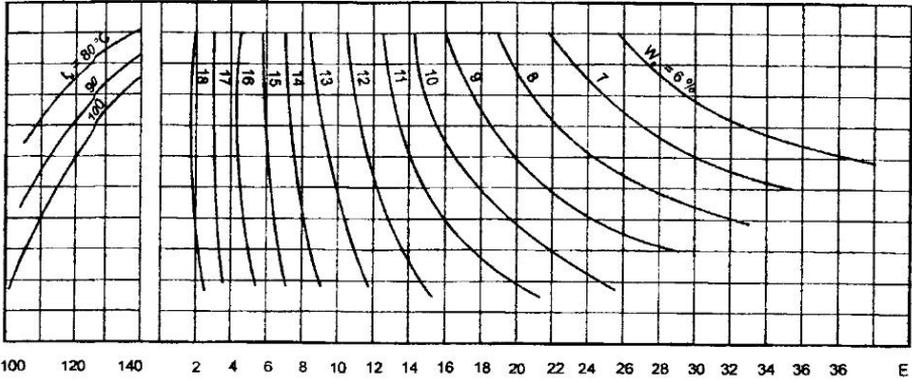


Рис. П.3.11. График для определения значения E .

Пример 2. Определить продолжительность сушки сосновых пиломатериалов сечением 5×12 см в среде перегретого пара при стабильной температуре $t_c = 110^\circ\text{C}$ и скорости реверсивной циркуляции по материалу $\omega_{\text{мат}} = 2,0$ м/с; $W_n = 80\%$; $W_k = 25\%$; $B = 2$ м.

Применим формулу (23) ($W_k > 20\%$).

Определяем: $C_\tau = 0,70$ (рис. П.3.1, б) по $E = \frac{W_k - W_p}{W_n - W_p} = \frac{25 - 7}{80 - 7} = 0,392$,

($W_p = 7\%$ определено по рис. П.3.2) и $S_1 \setminus S_2 = 0,415$; $B = 6,3$ (рис. П.3.7); $\Gamma' = 0,105$ (рис. П.3.8) по $S_1 \cdot \frac{W_n - W_k}{W_n - 20} = 5 \cdot \frac{80 - 25}{80 - 20} = 4,6$ см; $S_p = S_1 \cdot C_\phi = S_1 \cdot \sqrt{C_\tau} = 5 \cdot 0,836 = 4,18$ см, $C = 1,52$ (рис. П.3.10 по $S_p = 4,18$ см, $\omega_{\text{мат}} = 2,0$ м/с, $B = 2$ м), $A_{ц.р.} = 1$ (реверсивная циркуляция).

Продолжительность сушки составит

$$\tau = C_\tau (W_n - W_k) \cdot B \cdot \Gamma' \cdot C \cdot A_{ц.р.} = 0,70(80 - 25) \cdot 6,3 \cdot 0,105 \cdot 1,52 \cdot 1 = 38,6 \text{ ч.}$$

Пример 3. Определить продолжительность сушки при тех же данных, что и в примере 2, но $W_k = 10\%$. Режим стабильный. Пользуемся формулой (19).

$C_\tau = 0,78$ (рис. П.3.1, а по $S_1 \setminus S_2 = 0,415$); множитель B остался прежним: $B = 6,3$ (рис. П.3.7); Γ_1 и Γ_2 равны соответственно 0,11 и 0,166 (рис. П.3.8), $S_p = S_1 \cdot C_\phi = S_1 \cdot \sqrt{C_\tau} = 5 \cdot \sqrt{0,78} = 5 \cdot 0,883 = 4,41$ см. Тогда $C = 1,48$ (рис. П.3.10 по $S_p = 4,41$ см; $\omega_{\text{мат}} = 2,0$ м/с, $B = 2$ м); $E = 20$ (рис. П.3.11 по $t_c = 110^\circ\text{C}$, $t_m = 100^\circ\text{C}$, $W_k = 10\%$).

Продолжительность сушки

$$\tau = C_\tau \cdot B \cdot C \cdot A_{ц.р.} (\Gamma_1 \cdot (W_n - 20) + \Gamma_2 \cdot E) = 0,78 \cdot 6,3 \cdot 1,48 \cdot 1(0,11 \cdot 60 + 0,166 \cdot 20) = 72,1 \text{ ч.}$$

Пример 4. Определить продолжительность сушки по условиям примера 3 для 2-этапного режима. На первом этапе $t_{c1} = 110^\circ\text{C}$, на втором – $t_{c2} = 120^\circ\text{C}$.

Пользуемся формулой (20). Кроме величин, найденных выше, требуется определить B_2 и новое значение E .

По рис. П.3.7 $B_2 = 3,2$; $E = 16,6$ (рис. П.3.11). Тогда получится

$$\begin{aligned} \tau &= C_\tau \cdot C \cdot A_{ц.р.} \cdot ((W_n - 20) \cdot B_1 \cdot \Gamma_1 + B_2 \cdot \Gamma_2 \cdot E) = \\ &= 0,78 \cdot 1,48 \cdot 1,0((80 - 20) \cdot 6,3 \cdot 0,11 + 3,2 \cdot 0,166 \cdot 16,6) = 56,8 \text{ ч.} \end{aligned}$$

3. ПРОТИВОТОЧНЫЕ КАМЕРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Состояние агента сушки по длине противоточной камеры непрерывного действия зависит от скорости циркуляции по материалу или от количества подаваемого в камеру агента сушки. При малой скорости движения воздух (газ) может оказаться насыщенным, не достигнув сырого конца камеры. Время высыхания материала при этом увеличивается. Поэтому продолжительность сушки пиломатериалов в камерах непрерывного действия рассчитывается в зависимости от того, известно или неизвестно состояние агента сушки в сыром конце, достиг или не достиг он состояния насыщения.

По приведенным далее уравнениям и графикам продолжительность сушки, как и в предыдущих случаях, определяется без учета времени на начальный прогрев и влаго-теплообработку.

3.1. Воздух в сыром конце камеры не достиг насыщения, состояние его не известно

Процесс сушки в этом случае определяется влагонепроводностью древесины. Исходным будет уравнение (1), в котором коэффициенты циркуляции $A_{ц.р.}$ и замедления сушки в штабеле C равны единице:

$$\tau = C_\tau \frac{S_i^2 \cdot K}{a_M \cdot 10^6} \cdot A_\phi \cdot \lg \frac{W_n}{W_k} \quad (26)$$

В соответствии с уравнением (2)

$$\frac{S_i^2 \cdot K}{a_M \cdot 10^6} = B_1.$$

Тогда

$$\tau = C_\tau \cdot B_1 \cdot A_\phi \cdot \lg \frac{W_n}{W_k} \quad (27)$$

Все величины, входящие в расчетную формулу (27), определяются по графикам (см. рис. П. 3.1 – П. 3.3, П. 3.5, П. 3.6).

Пример 5. Определить продолжительность сушки пиломатериалов в противоточной камере непрерывного действия при следующих условиях: сосна, сечение 4×12 см; $W_n = 70\%$; $W = 12\%$; степень насыщенности среды в сыром конце камеры непрерывного действия $\phi_2 = 0,9$; температура смоченного термометра $t = 65^\circ\text{C}$.

Находим: $C_\tau = 0,81$ (рис. П.3.1, а); $B_1 = 91$ (рис. П.3.3); $C_\phi = 1,2$ (рис. П.3.5);

$\lg \frac{W_n}{W_k} = 0,75$ (рис. П.3.6). Тогда $\tau = C_\tau \cdot B_1 \cdot A_\phi \cdot \lg \frac{W_n}{W_k} = 0,80 \cdot 91 \cdot 1,2 \cdot 0,765 = 66,8$ ч.

3.2. Состояние воздуха в сыром конце камеры неизвестно или известно, что он стал насыщенным, не достигнув сырого конца камеры

Расчетная формула в общем случае принимает вид

$$\tau = C_{\tau} \cdot B_1 \cdot K_V \cdot A_{\varphi} \cdot \lg \frac{W_{\mu}}{W_k}, \quad (28)$$

где K_V – коэффициент замедления сушки в камерах непрерывного действия, отличающийся по своей сущности от коэффициента замедления сушки в камерах периодического действия.

Продолжительность сушки в этом случае рассчитывается следующим образом:

1. По заданной толщине S_1 , типу камеры, коэффициенту заполнения штабеля по ширине $\beta_{ш}$ по диаграмме (рис. П.3.12) определяется вместимость камеры $E_{кам}$.

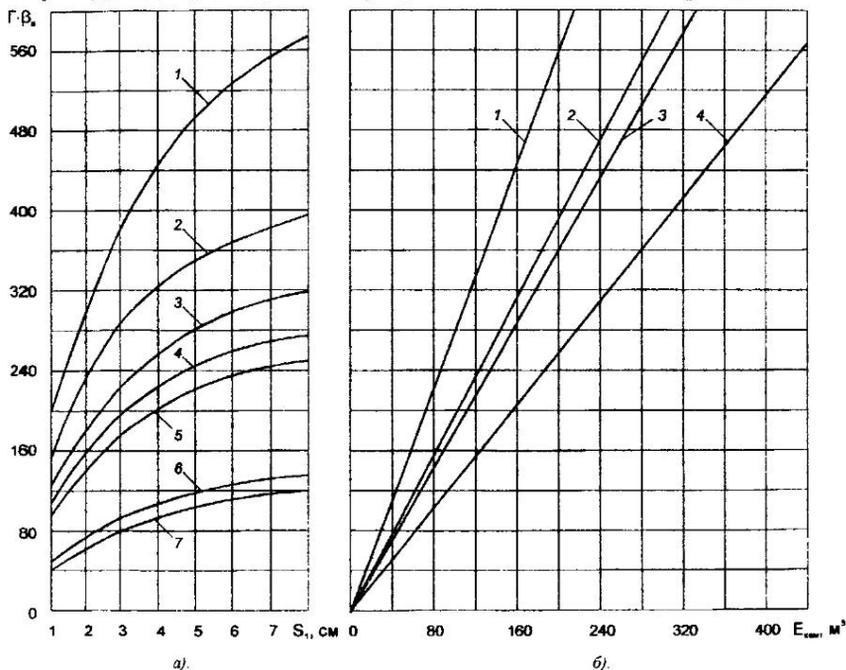


Рис. П.3.12. Диаграмма для определения вместимости камеры $E_{кам}$.

а). 1 - камера «Валмет-3»; 2 - камера НВ-1; 3 - ЦНИИМОД-56; 4 - «Валмет-1», «Валмет-2», СП-5КМ; 5 - ЦНИИМОД-49; 6 - ЦНИИМОД-24; б). 1 - укладка необрезных пиломатериалов со шпациями; 2 - укладка необрезных пиломатериалов без шпаций; 3 - укладка обрезных пиломатериалов со шпациями; 4 - укладка обрезных пиломатериалов без шпаций.

2. По формуле (27) определяется предварительное значение продолжительности сушки $\tau_{пр}$.

При этом принимается $\varphi_{2пр} = 1$, что соответствует определенным значениям A_{φ} .

3. По разности $(W_{\mu} - W_k) = \Delta W$, условной плотности или породе древесины, величине $\tau_{пр}$ и вместимости камеры $E_{кам}$ определяется по номограмме (рис. П.3.13) среднечасовое количество испаряемой влаги $M_{ср}$ ч.

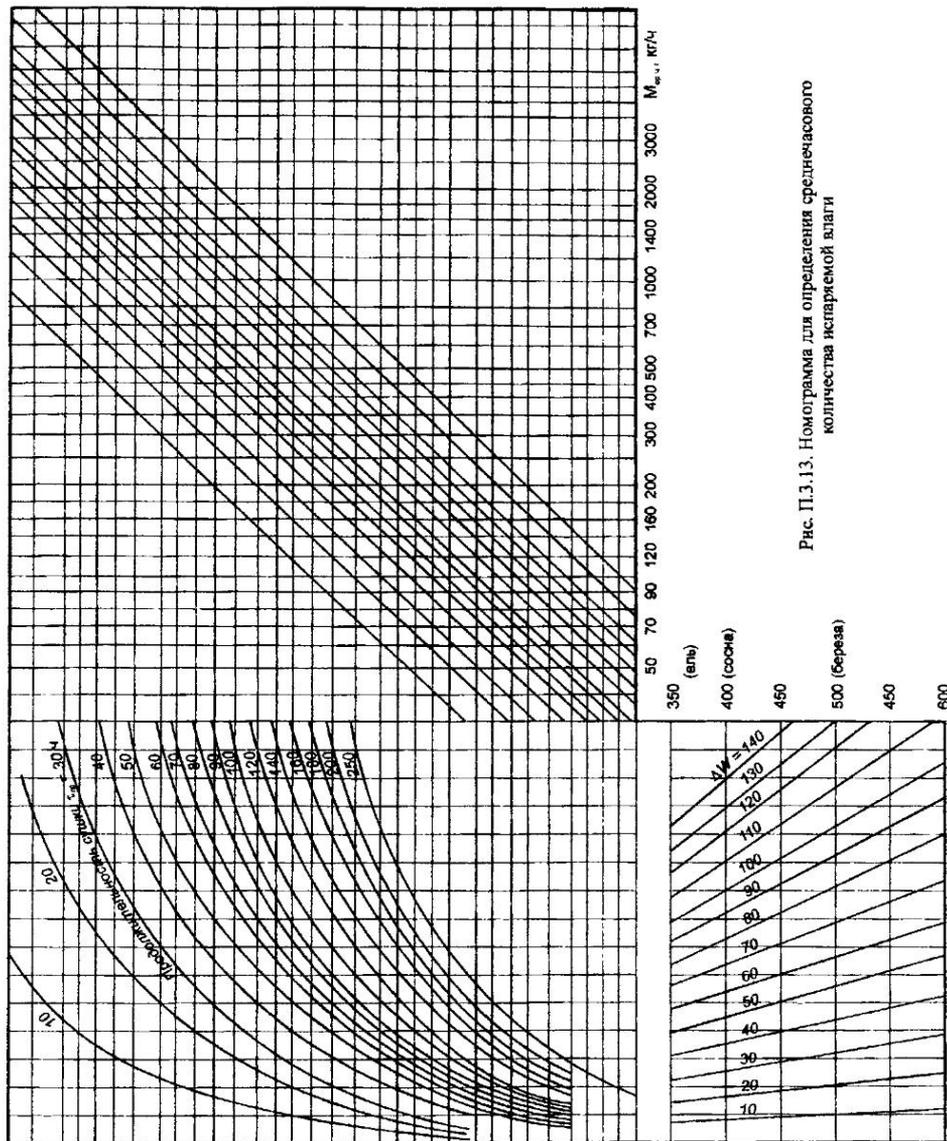


Рис. П.3.13. Номограмма для определения среднечасового количества испаряемой влаги

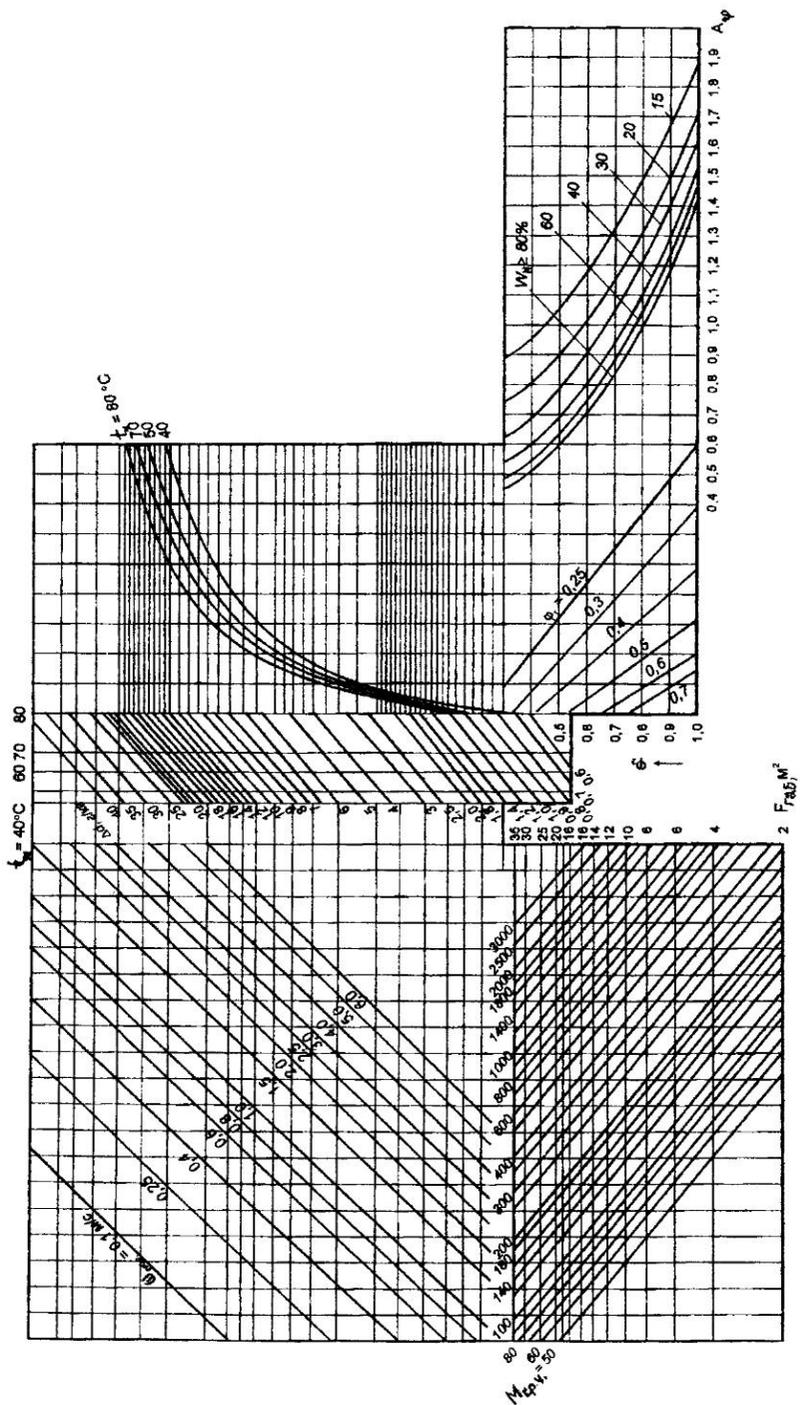


Рис. П.3.14. Расчетная номограмма.

4. По $M_{\text{ср.ч}}$, габаритному сечению штабеля $F_{\text{габ.шт.}}$, расчетной скорости воздуха в этом сечении $\omega_{\text{габ.р.}}$, температуре смоченного термометра t_m определяется предварительное значение перепада влагосодержания $\Delta d_{\text{пр}}$ (рис. П. 3.14).

При этом скорость $\omega_{\text{габ.р.}}$ наиболее надежно определяется по производительности вентиляторной установки V_B ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$\omega_{\text{габ.р.}} = \frac{V_B}{F_{\text{габ.шт.}} \cdot 3600}. \quad (29)$$

Если скорость, то может быть определена по замерам скорости в нескольких точках циркуляционного канала ($\omega_{\text{цир.кан.}}$)

$$V_B = F_{\text{цир.кан.}} \cdot \omega_{\text{цир.кан.}} \cdot 3600, \quad (30)$$

где $F_{\text{цир.кан.}}$ – площадь поперечного сечения канала.

Расчетная скорость в габаритном сечении штабеля $\omega_{\text{габ.р.}}$ может быть подсчитана по выражению

$$\omega_{\text{габ.р.}} = \frac{\omega_{\text{габ.}}}{\eta_b}, \quad (31)$$

где $\omega_{\text{габ.}}$ – скорость циркуляции в габаритном сечении штабеля (сечение перед штабелем или после него, перпендикулярное движению агента сушки). При известной скорости циркуляции по материалу скорость в габаритном сечении штабеля находится по выражениям:

при укладке без шпаций

$$\omega_{\text{габ.}} = \omega_{\text{мат.}}(1 - \beta_b), \quad (32)$$

при укладке со шпациями

$$\omega_{\text{габ.}} = \omega_{\text{мат.}}(1 - \beta_b \cdot \beta_{\text{ш}}),$$

где

β_b и $\beta_{\text{ш}}$ – коэффициенты заполнения штабеля по высоте и ширине;

η_b – коэффициент использования воздушного потока, представляющий собой отношение количества воздуха, идущего в штабель $V_{\text{шт.}}$, к общему количеству воздуха, подаваемой вентиляторной установкой, $V_{\text{шт.}}$;

$$\eta_b = \frac{V_{\text{шт.}}}{V_b}, \quad (33)$$

Коэффициент η_b зависит от типа камеры, толщины материала и ширины зазоров между штабелем и продольными стенами. Чем шире зазор, тем меньше η_b . Расчетное значение η_b определяется по выражению

$$\eta_b = \eta_{b0,1} \cdot K_{\eta},$$

где

$\eta_{b0,1}$ – коэффициент использования воздушного потока при зазоре $\Delta B = 0,1$ м (рис. П.3.15);

K_{η} – коэффициент, равный

$$K_{\eta} = \frac{\eta_{\text{м.}}}{\eta_{b0,1}},$$

определяемый по рис. П.13.16.

Для определения $\Delta d_{\text{пр}}$ от заданного значения $F_{\text{габ.}}$ Проводится горизонталь влево до пересечения с наклонной линией, отвечающей заданному значению $M_{\text{ср.ч}}$. От точки пересечения проводится вертикаль вверх до линии, соответствующей расчетному значению скорости циркуляции в габаритном сечении ($\omega_{\text{габ.р.}}$) штабеля.

От точки пересечения с линией $\omega_{\text{габ.р.}}$ проводится горизонталь до вертикальной линии Δd при $t_m = 70^\circ\text{C}$ и затем – по направлению наклонных линий до требуемого значения t_m . От этой точки вновь проводится горизонталь до шкалы при $t_m = 70^\circ\text{C}$, по которой определяется искомое значение $\Delta d_{\text{пр}}$.

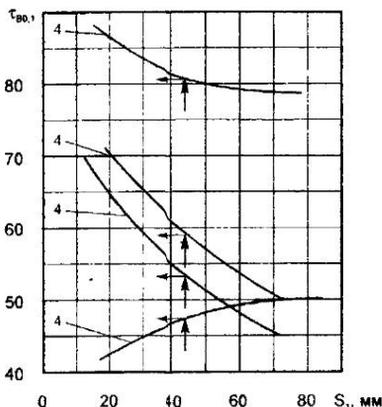


Рис. П.3.15. Зависимость коэффициента использования воздуха $\tau_{\text{во.1}}$ от толщины материала для камер: 1 - Валмет; СП-КМ; 2 - ЦНИИМОД-49; 3 - ЦНИИМОД24; 4 - ЦНИИМОД-32.

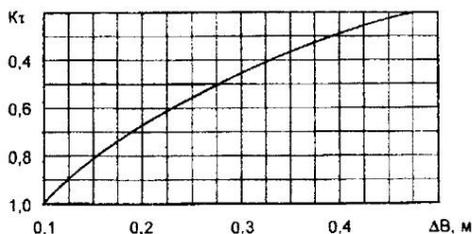


Рис. П.3.16. Зависимость коэффициента K_t от от ширины зазора ΔB между штабелями и ограждениями камер.

5. По степени насыщенности среды в сыром конце (было принято $\phi_{2\text{пр}} = 1$) и заданным ϕ_1 и t_m , пользуясь номограммой (рис. П.3.14), определим максимально возможный при данных условиях перепад $\Delta d_{\text{макс}}$.

Значение $\Delta d_{\text{макс}}$ определяется по шкале Δd . Для этого проводится вертикаль от точки пересечения горизонтальной линии $\phi_2 = 1,0$ с наклонной линией заданной ϕ_1 (нижний средний участок номограммы) до пересечения с линией заданной t_m , от нее влево до шкалы Δd при $t_m = 70^\circ\text{C}$ и далее по наклонной линии до заданного значения t_m . От полученной точки проводится горизонталь до шкалы Δd , нанесенной на вертикаль при $t_m = 70^\circ\text{C}$, которое и дает искомое значение $\Delta d_{\text{макс}}$.

6. Если $\Delta d_{\text{пр}} > \Delta d_{\text{макс}}$ (это означает, что воздух в сыром конце камеры насыщен), то

$$K_V = \frac{\Delta d_{\text{пр}}}{\Delta d_{\text{макс}}} \quad (36)$$

и продолжительность сушки равна

$$\tau = \tau_{\text{пр}} \cdot K_V \quad (37)$$

7. Если $\Delta d_{\text{пр}} < \Delta d_{\text{макс}}$, то $\tau = \tau_{\text{пр}}$.

8. Если $\Delta d_{\text{пр}} < \Delta d_{\text{макс}}$ (это означает, что воздух в сыром конце камеры не насыщен), то при помощи номограммы (рис. П.3.14) определяется по $\Delta d_{\text{пр}}$ новая величина

A_{ϕ} ($A_{\phi \text{ нов.}}$). Для этого от ранее найденной точки на линии $\omega_{\text{габ.р.}}$ проводится горизонталь направо до пересечения с кривой заданного значения $t_{\text{м}}$ и от нее вертикаль вниз до пересечения с линией заданного значения ϕ_1 . Проводя от нее горизонталь до линии известного $W_{\text{н}}$ и затем вертикаль до шкалы A_{ϕ} , определяем значение $A_{\phi \text{ нов.}}$. Расчетное значение $A_{\phi \text{ рас.}}$

$$A_{\phi \text{ рас}} = \frac{A_{\phi \text{ нов.}} + A_{\phi \text{ фр.}}}{2} \quad (38)$$

Продолжительность сушки будет определяться по формуле (28), в которой

$$A_{\phi} = A_{\phi \text{ рас.}}, \text{ а } K_{\nu} = 1.$$

Пример 6. Определить продолжительность сушки пиломатериалов в противоточной камере непрерывного действия ЦНИИМОД-49 при следующих условиях: сосна, сечение 4×12 см, начальная и конечная влажность древесины соответственно 70 и 12 %; скорость в габаритном сечении штабеля $\omega_{\text{габ.}} = 1,5$ м/с, температура смоченного термометра $t_{\text{м}} = 65^{\circ}\text{C}$, температура среды в сухом конце $t_1 = 90^{\circ}\text{C}$ ($\phi_1 = 0,31$). Ширина зазоров $\Delta B = 0,1$ м.

1. Величина $E_{\text{жам}}$ в соответствии с рис. П. 3.12 равна 155 м^3 (обрезной материал, укладка без шпаций).

2. Определяем предварительную продолжительность сушки $\tau_{\text{пр}}$ по формуле (28). При этом $C_{\tau} = 0,79$ по $S_1/S_2 = 0,333$ (рис. П.3.1, а); $B_1 = 90$ (рис. П. 3.3); $A_{\phi \text{ пр}} = 1,42$ (рис. П.3.5) по $\phi_2 = 1$; $\lg \frac{W_{\text{н}}}{W_{\text{к}}} = 0,75$ (рис. П.3.6).

Тогда

$$\tau_{\text{пр}} = C_{\tau} \cdot B_1 \cdot A_{\phi} \cdot \lg \frac{W_{\text{н}}}{W_{\text{к}}} = 0,79 \cdot 0,90 \cdot 1,42 \cdot 0,75 = 75,4 \text{ ч.}$$

3. $M_{\text{ср.ч}}$ в соответствии с рис. П. 3.13 по значениям $(W_{\text{н}} - W_{\text{к}}) = 58 \%$, $\tau_{\text{пр}} = 75,4$ ч. $E_{\text{жам}} = 155 \text{ м}^3$, равна 480 кг/ч .

4. $\Delta d_{\text{пр}}$ в соответствии с рис. П. 3.14 по значениям $F_{\text{габ}} = 6,5 \cdot 2,6 = 16,9 \text{ м}^2$,

$$\omega_{\text{габ.р}} = \frac{\omega_{\text{габ}}}{\eta_{\text{в}}} = \frac{1,5}{0,545} = 2,7 \text{ м/с,}$$

$\eta_{\text{в}}$ определяется по рис. П.3.15, а при $S_1 = 40 \text{ мм}$) и $t_{\text{м}} = 65^{\circ}\text{C}$, равна $4,5 \text{ г/кг}$.

5. Величина $\Delta d_{\text{макс}}$ в соответствии с рис. П. 3.14 по $\phi_1 = 0,31$ при $\phi_2 = 1$ и $t_{\text{м}} = 65^{\circ}\text{C}$ равна 16 г/кг .

6. Величина $\Delta d_{\text{пр}} < \Delta d_{\text{макс}}$, следовательно, (рис. П.3.14) по значениям $F_{\text{габ}} = 16,9 \text{ м}^2$, $\omega_{\text{габ.}} = 2,75 \text{ м/с}$, $t_{\text{м}} = 65^{\circ}\text{C}$, $\phi_1 = 0,31$, получим $A_{\phi \text{ нов.}} = 0,57$ (для $W_{\text{н}} = 70 \%$).

7. Определяем продолжительность сушки по формуле (28), в которой $K_{\nu} = 1$,

$$A_{\phi \text{ расч}} = \frac{A_{\phi \text{ нов.}} + A_{\phi \text{ фр.}}}{2} = \frac{0,57 + 1,42}{2} = 0,995,$$

Тогда

$$\tau_{\text{пр}} = C_{\tau} \cdot B_1 \cdot A_{\phi} \cdot \lg \frac{W_{\text{н}}}{W_{\text{к}}} = 0,79 \cdot 0,90 \cdot 1 \cdot 0,995 \cdot 0,75 = 53 \text{ ч.}$$

Пр и м е р 7. Определить продолжительность сушки по условиям примера 6, но $\omega_{\text{габ.}} = 0,3$ м/с.

1. Определяем расчетную скорость

$$\omega_{\text{габ.р}} = \frac{\omega_{\text{габ}}}{\eta_{\text{в}}} = \frac{0,3}{0,545} = 0,55 \text{ м/с.}$$

$\Delta d_{\text{пр}}$ по номограмме (рис. П.3.14) при прежних значениях других параметров и $\omega_{\text{габ.р}} = 0,55$ м/с получается равным 23 г/кг,

2. Величина $\Delta d_{\text{макс}} = 16$ г/кг (см. пример 6).

$$\text{Следовательно } K_V = \frac{\Delta d_{\text{пр}}}{\Delta d_{\text{макс}}} = \frac{23}{16} = 1,44.$$

3. Определяем продолжительность сушки по формуле (36)

$$\tau = \tau_{\text{пр}} \cdot K_V = 75,4 \cdot 1,44 = 108,6 \text{ ч.}$$

Пр и м е р 8. Определить продолжительность сушки по условиям примера 6, в котором скорость в габаритном сечении штабеля неизвестна, но на основании замеров установлена средняя скорость агента сушки в циркуляционном канале $\omega_{\text{цирк.кан.}} = 4,42$ м/с (площадь $F_{\text{цирк.кан.}} = 10,5$ м²).

Тогда в соответствии с формулой (30)

$$V_{\text{в}} = 10,5 \cdot 4,42 \cdot 3600 = 167\,300 \text{ м}^3/\text{ч},$$

а $\omega_{\text{габ.р.}}$ по формуле (29).

$$\omega_{\text{габ.р}} = \frac{V_{\text{в}}}{F_{\text{габ.шт.}} \cdot 3600} = \frac{167300}{16,9 \cdot 3600} \approx 2,7 \text{ м/с.}$$

Получили такую же расчетную скорость $\omega_{\text{габ.р.}}$ как в примере 6, в соответствии с чем продолжительность сушки будет (при прочих одинаковых условиях) равной 53 ч.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Укладка пиломатериалов в штабеля для камерной сушки.....	3
2. Нормы требований к качеству сушки.....	6
3. Режимы сушки.....	11
4. Проведение процесса сушки.....	26
5. Хранение пиломатериалов после сушки.....	40
6. Определение продолжительности камерной сушки пиломатериалов.....	46
7. Расчет производительности лесосушильных камер.....	61
8. Методика испытаний и определения технико-экономических показателей лесосушильных камер.....	73
9. Приложение 1. Рекомендации по дистанционному контролю и автоматическому регулированию параметров среды в лесосушильных камерах.....	84
10. Приложение 2. Рекомендации по планированию, учету и организации работы лесосушильных цехов и участков.....	92
11. Приложение 3. Исходные уравнения и диаграммы для расчета продолжительности сушки пиломатериалов.....	106

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Ответственный за выпуск
кандидат технических наук *А.А. Горьев*
Редактор *Е.Д. Аристова*

Подписано в печать 03.04.2000. Формат бумаги 60x90 1/16
Усл. печ. л. 7,75. Тираж 500 экз. Заказ № 31.

Издательский центр АОКБ, тел. 44-30-65
163045, г. Архангельск, пр. Ломоносова, 292.

ОАО «Научдревпром – ЦНИМОД»

**РУКОВОДЯЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ
МАТЕРИАЛЫ ПО ТЕХНОЛОГИИ КАМЕРНОЙ
СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ**

**Архангельск
2000**