

П.1
С 50

ШАЯ ШКОЛА МООП РСФСР

В. М. Смирнов

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА ПРОЦЕССОВ СУШКИ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

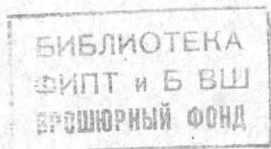
Москва — 1963

*Инженер-подполковник
В. М. СМЕРНОВ*

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА ПРОЦЕССОВ СУШКИ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

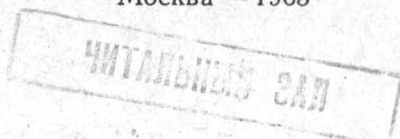
Лекции

Одобрено кафедрой пожарной профилактики



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ
ОТДЕЛ

Москва — 1963



I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Удаление влаги из материала производится в основном тремя способами: механическим (прессование, отстаивание, фильтрование, центрифугирование), физико-химическим (поглощение влаги гигроскопическими веществами) и тепловым (испарение, выпаривание, конденсация).

Механический способ применяется в тех случаях, когда не требуется полного удаления влаги; физико-химический — главным образом для удаления влаги из газов.

Тепловой способ обеспечивает более полное удаление влаги и является наиболее распространенным, особенно при сушке твердых веществ.

Процессом тепловой сушки называется удаление из материала влаги (воды или легковоспламеняющихся и горючих жидкостей) путем ее испарения (перевода в паровую фазу) при помощи тепловой энергии. При этом количество и качество абсолютно сухого материала остаются без изменения.

Процессы удаления из различных материалов и изделий естественной влаги и растворителей получили широкое распространение в народном хозяйстве. Сушке подвергают влажную и окрашенную строительную и технологическую древесину, окрашенные изделия и машины, различные промышленные продукты и материалы (клеенка, гранитоль, киноплёнка, целлулоид, искусственный шелк, пластические массы, электроизоляционные материалы, взрывчатые вещества, ткани и т. п.) и сельскохозяйственные продукты (хлопок, лен, зерно).

Тепловая сушка является сложным физическим, по существу диффузионным процессом, так как переход влаги материала в окружающую среду совершается путем ее поверхностного испарения и диффузии из внутренних слоев к поверхности материала.

Поскольку процесс сушки заключается в переходе влаги из твердой среды в газообразную, он возможен только в том случае, когда давление пара непосредственно на поверхности материала

больше парциального давления его в окружающей газообразной среде. При их равенстве, т. е. полном насыщении газа парами жидкости, испарение влаги из материала прекращается.

Теория процесса сушки и методы расчета сушилок разработаны русскими и советскими учеными: П. С. Коссовичем, Л. К. Рамзиным, М. Ю. Лурье, Н. В. Лыковым и др.

Процесс сушки подчиняется статическим и кинетическим законам.

Статика сушки устанавливает связь между начальными и конечными параметрами высушиваемого материала и сушильного агента и определяется уравнениями материального и теплового балансов; статика позволяет определить состав материала, расход сушильного агента и тепла.

Кинетика сушки устанавливает связь между изменением влажности материала во времени и параметрами процесса: свойствами и структурой материала, его размерами, гидродинамическими условиями обтекания материала сушильным агентом и др.

Уравнения кинетики, описывающие процесс удаления влаги из материала во времени, используются для определения продолжительности и режима сушки. Полный расчет процесса сушки производят на основе законов статике и кинетике.

В практике встречается большое количество различных типов сушилок как по конструкции, так и по виду применяемого теплоносителя.

По конструкции наиболее распространенными являются следующие типы сушилок:

- 1) камерные (одинарные или блочные камеры длиной 14—36 м);
- 2) туннельные (коридорные) сушилки (камера состоит из одного или нескольких параллельно расположенных каналов длиной до 30—50 м);
- 3) шахтные (вертикальные шахты открытые или с желобами для подачи теплоносителя);
- 4) ленточные (одно- и многоленточные, полочные и петлевые);
- 5) жалюзийные (вертикальные жалюзийные шахты);
- 6) барабанные (барабаны с внутренней распределительной насадкой или трубчатые);
- 7) вальцовые и цилиндрические (одно-, двухвальцовые и многоцилиндрические);
- 8) распылительные (механические и пневматические).

Камерные и туннельные сушилки в основном применяются для сушки древесины, готовых изделий и машин. Остальные типы сушилок — для сушки различных материалов и веществ в мелком, сыпучем, измельченном, тестообразном или распыленном состоянии.

По способу подвода тепловой энергии сушилки делятся на следующие типы:

1) конвекционные сушилки (тепло передается материалу нагретым воздухом, газом, жидкостями или перегретым паром вследствие конвекции). Из них наиболее распространены воздушные (калориферные) и дымогазовые сушилки;

2) контактные сушилки (тепло передается материалу непосредственным контактом с нагретой поверхностью. Например, в вальцовых и подовых сушилках). Нагрев греющей поверхности осуществляется паром, дымовыми газами и электроэнергией;

3) высокочастотные сушилки (тепло генерируется внутри материала электрическим полем токов высокой частоты);

4) радиационные сушилки (тепло передается материалу путем лучеиспускания);

5) комбинированные сушилки (паро-высокочастотные и радиационно-конвекционные).

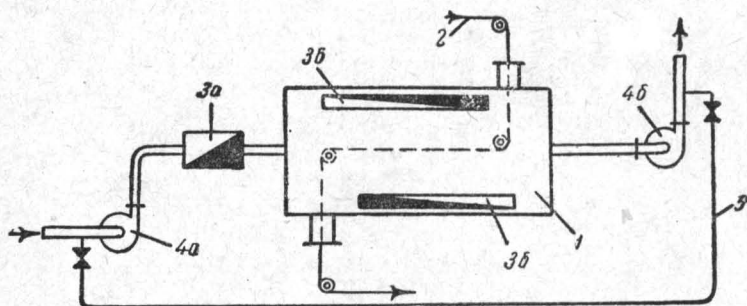


Рис. 1. Принципиальная схема сушильной установки

1 — сушильная камера; 2 — транспортные приспособления; 3а, б — подогреватели (калориферы); 4а, б — побудители движения среды; 5 — рециркуляционная линия

Указанные виды сушилок бывают периодического и непрерывного действия.

Циркуляция воздуха и газа в сушилках осуществляется как естественным, так и принудительным способами.

По условиям работы сушилки делятся на два типа: атмосферные и вакуумные. В атмосферных сушилках давление равно атмосферному или незначительно отличается от него, в вакуумных — значительно ниже атмосферного.

Наиболее часто применяются атмосферные сушилки, имеющие более простое устройство. Вакуумные сушилки получили широкое распространение в химической промышленности.

Все тепловые сушилки, независимо от их конструктивного различия и типов, имеют общие элементы, которые показаны на принципиальной схеме сушильной установки (рис. 1).

Установка состоит из сушильной камеры 1 непрерывного или периодического действия, в которой размещается высушиваемый материал; транспортных приспособлений 2, обеспечивающих загрузку и разгрузку камеры; подогревателей (калориферов) 3 а, б, которые возмещают теплопотери на испарение влаги, нагрев высушиваемого материала, конструктивных элементов сушилки и потери в окружающую среду; побудителей движения (вентиляторов) 4 а, б, обеспечивающих обмен насыщенного парами воздуха или газа в камере.

Устройство каждой конкретной сушильной камеры зависит от вида высушиваемого материала, способов его сушки и транспортировки.

Так, например, камеры для сушки твердых изделий и материалов значительно отличаются от камер для сушки сыпучих, измельченных или ленточных материалов.

В периодически действующих сушилках транспортными приспособлениями являются тележки, вагонетки, конвейеры и т. п.; в непрерывно действующих сушилках камерного и туннельного типа — вагонетки или транспортеры; ленточного типа — бесконечно движущиеся ленты; барабанного типа — вращающиеся барабаны; шахтного типа — вертикальные шахты и т. п.

В качестве подогревателей в зависимости от способа подвода тепловой энергии и вида высушиваемого материала применяются: в воздушных сушилках — калориферы, расположенные вне сушильной камеры 3а или внутри камеры 3б; в дымогазовых сушилках — камеры смешения и «огневые» калориферы в виде боровы или пода; в радиационных — электрические лампы излучения; в высокочастотных — электроды. В последних трех случаях нагреватели располагаются внутри камер.

Вентиляторы могут размещаться перед камерой 4а, после камеры 4б или внутри камеры.

Ниже рассматриваются основы расчета, устройство и пожарная профилактика отдельных типов сушилок в зависимости от способа подвода тепловой энергии, расположения нагревательных элементов и вида высушиваемого материала.

II. РАСЧЕТ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

При расчете сушилок обычно исходят из заранее определенного количества влажного материала, его начальной и конечной влажности. Чтобы определить количество удаляемой влаги, количество сухого материала, получаемого в результате сушки, расход воздуха и тепла, составляют материальный и тепловой балансы.

Для обеспечения пожарной безопасности сушилок берут допускаемую температуру при сушке и, исходя из заданной производительности сушилки, начальной и конечной влажности высушиваемого материала, определяют:

1) какое количество влаги (горючих паров растворителей) испаряется при сушке;

2) какое количество воздуха необходимо подать в сушилку, чтобы не образовалась концентрация, близкая к нижнему пределу взрываемости;

3) какая должна быть температура подаваемого теплоносителя (воздуха, газа), чтобы в процессе сушки поддерживалась заданная, допускаемая температура.

Для составления необходимых уравнений введем общепринятые обозначения:

G_1 — количество влажного материала, поступающего в сушилку, в $кг/час$;

G_2 — количество высушенного материала, выходящего из сушилки, в $кг/час$;

G_c — количество абсолютно сухого вещества во влажном материале в $кг/час$;

ω_1 — влажность сырого материала до сушки в %;

ω_2 — влажность высушенного материала после сушки в %;

W — количество влаги, удаляемой из материала в сушилке, в $кг/час$;

L — количество абсолютно сухого воздуха, проходящего через сушилку, в $кг/час$;

V — то же, в $м^3/час$;

x_1 — начальное влагосодержание воздуха при входе в сушилку
в кг влаги/кг сухого воздуха;

x_2 — конечное влагосодержание воздуха при выходе из сушилки
в кг влаги/кг сухого воздуха.

1. Определение производительности сушилки

Производительность сушилки определяется по сухому материалу, если она задана по влажному, и, наоборот, — по влажному материалу, если она задана по сухому.

При отсутствии потерь материала количество абсолютно сухого вещества в нем до и после сушки остается неизменным. Исходя из этого, вес абсолютно сухого вещества, проходящего через сушилку в кг/час, можно выразить следующим равенством:

$$G_c = G_1 \frac{100 - \omega_1}{100} = G_2 \frac{100 - \omega_2}{100},$$

откуда

$$G_1 = G_2 \frac{100 - \omega_2}{100 - \omega_1}; \quad (1)$$

$$G_2 = G_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}. \quad (2)$$

2. Определение количества удаляемой из материала влаги в процессе сушки

Количество влаги, удаляемой при сушке, равно разности весов влажного и сухого материала

$$W = G_1 - G_2 \text{ кг/час}; \quad (3)$$

подставив значения G_1 и G_2 из уравнений (1) и (2), получим:

$$\begin{aligned} W &= G_1 - G_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} = G_1 \left(1 - \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \right) = G_1 \left(\frac{100 - \omega_2 - 100 + \omega_1}{100 - \omega_2} \right) = \\ &= G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} \end{aligned} \quad (4)$$

и аналогично

$$W = G_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1}. \quad (5)$$

3. Определение количества воздуха, подаваемого в сушилку, по материальному балансу

Согласно уравнению материального баланса количество абсолютно сухого воздуха, проходящего через сушилку без потерь, так же как и количество абсолютно сухого материала, остается неизменным.

При установившемся состоянии процесса в сушилку поступает влаги в кг/час:

с высушиваемым материалом $G_1 \frac{\omega_1}{100}$;

с воздухом Lx_1 .

За это же время уходит влаги из сушилки в кг/час:

с высушенным материалом $G_2 \frac{\omega_2}{100}$;

с воздухом Lx_2 .

При отсутствии потерь общее количество влаги остается постоянным и, следовательно, должно соблюдаться равенство:

$$G_1 \frac{\omega_1}{100} + Lx_1 = G_2 \frac{\omega_2}{100} + Lx_2.$$

Отсюда

$$G_1 \frac{\omega_1}{100} - G_2 \frac{\omega_2}{100} = L(x_2 - x_1),$$

где левая часть уравнения представляет собой количество влаги, удаляемой из высушиваемого материала в сушилке, т. е.

$$W = G_1 \frac{\omega_1}{100} - G_2 \frac{\omega_2}{100}.$$

Следовательно,

$$W = L(x_2 - x_1).$$

Отсюда общий расход воздуха на сушку равен

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} \text{ кг/час.}$$

Для условий, когда сушилка работает без рециркуляции, можно принять $x=0$, так как поступающий свежий воздух не содержит паров летучих растворителей.

Исходя из условий пожарной безопасности, x_2 должно приниматься по крайней мере в 2 раза меньше нижнего предела взрываемости паров.

В сушилках с рециркуляцией во избежание образования концентрации паров выше допустимой нормы воздух удаляется и заменяется свежим.

Если количество испаряемого в 1 час растворителя обозначить W_p г/час, а допустимую концентрацию паров растворителя в воздухе по условиям взрывобезопасности — C г/м³, то количество воздуха, которое надо удалить и заменить свежим, будет равно

$$V_{уд} = \frac{W_p}{C} \text{ м}^3/\text{час.}$$

4. Определение количества воздуха, необходимого для сушки материала, исходя из уравнения теплового баланса

Согласно уравнению теплового баланса приход тепла с подогретым воздухом и материалом должен равняться его расходу на согревание высушиваемого изделия, испарение влаги (растворителя), и потери на конвекцию, нагрев конструкции и в окружающую среду

$$Q_{\text{о возд}} + Q_{\text{мат}} = Q_{\text{выс. мат}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{конст}} + Q_{\text{пот}},$$

откуда $Q_{\text{о возд}} = Q_{\text{выс. мат}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{конст}} + Q_{\text{пот}} - Q_{\text{мат}};$

$$\text{или } L_{\text{в}} C_{\text{в}} (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) + G_1 C_1 (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) = G_2 C_2 (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + W C_{\text{в}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + W r + \\ + G_{\text{к}} C_{\text{к}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + F k (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}),$$

откуда $L_{\text{в}} = \frac{G_2 C_2 (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + W C_{\text{в}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + W r + G_{\text{к}} C_{\text{к}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + F k (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) - G_1 C_1 (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}{C_{\text{в}} (t_{\text{н}} - t_{\text{к}})},$

где

$Q_{\text{о возд}}$ — количество тепла, поступающего в сушилку с нагретым воздухом, в ккал/час;

$Q_{\text{мат}}$ — количество тепла, поступающего в сушилку с высушиваемым материалом, в ккал/час;

$Q_{\text{выс. мат}}$ — количество тепла, расходуемое на нагрев высушиваемого материала, в ккал/час;

$Q_{\text{исп}}$ — количество тепла, расходуемое на испарение влаги (растворителя), в ккал/час;

$Q_{\text{конст}}$ — количество тепла, расходуемое на нагрев конструкции сушилки (конвейера), в ккал/час;

$Q_{\text{пот}}$ — потери тепла в окружающую среду через ограждения камеры в ккал/час;

C — удельная теплоемкость соответствующих материалов и веществ в ккал/кг град;

r — скрытая теплота парообразования растворителя в ккал/кг;

k — коэффициент теплопередачи в ккал/м²/град/час;

F — поверхность ограждения сушилки в м²;

$t_{\text{н}}$ и $t_{\text{к}}$ — начальная и конечная температуры.

Проверка найденного количества воздуха по уравнению теплового баланса на допустимость концентрации паров растворителя

$$C_{\text{действ}} = \frac{W_{\text{р}} \text{ г/час}}{V_{\text{в}} \text{ м}^3/\text{час}} \text{ г/м}^3, \text{ где } V_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}} \text{ кг/час}}{\gamma_{\text{в}} \text{ кг/м}^3};$$

$$C_{\text{действ}} \text{ должна быть } < C_{\text{н. п. в.}} \approx (0,2 \div 0,5) C_{\text{н. п. в.}}$$

5. Определение количества тепла, уносимого выбрасываемым из системы воздухом при рециркуляции

Чтобы рассчитать $Q_{уд}$, необходимо определить температуру воздуха перед калорифером $t_{в. кал}$

$$t_{в. кал} = \frac{Lt_{в. уд} + L_{уд}t_{в. норм}}{L + L_{уд}};$$

$$Q_{уд} = L_{уд}C_v(t_{в. кал} - t_{в. норм}) \text{ ккал/час.}$$

6. Определение расхода теплоносителя на подогрев воздуха

Расход пара:

$$G_{пара} = \frac{(Q_{о. возд} + Q_{уд})1,1}{r} \text{ кг/час,}$$

где 1,1 — коэффициент запаса, учитывающий колебания в подаче пара;

r — скрытая теплота парообразования в ккал/кг.

III. КОНВЕКЦИОННЫЕ СУШИЛКИ

1. Воздушные сушилки

В воздушных сушилках материалы сушатся нагретым при помощи калориферов воздухом. Калориферы, обогреваемые паром или дымовыми газами, располагаются внутри или вне сушильных камер. Циркуляция воздуха в сушилках может быть естественная и принудительная. В зависимости от назначения сушилки бывают периодического и непрерывного действия.

Для работников пожарной охраны наибольший интерес представляет способ расположения и обогрева калориферов. Поэтому отдельно рассмотрим воздушные сушилки с внешним и внутренним расположением калориферов, обогреваемых паром или дымовыми (топочными) газами.

Сушилки с внутренним расположением калориферов получили широкое распространение благодаря большой экономической эффективности по теплотехническим показателям.

Первыми сушилками, предназначенными для сушки твердых материалов, были воздушные сушилки периодического действия с естественной циркуляцией воздуха системы Грум-Гржимайло.

Нагревательный калорифер в таких сушилках выполнен в виде труб, расположенных тремя группами в подвале под проходами между штабелями. Подвал отделяется от сушильного пространства решетчатым полом. Указанное расположение нагревательных труб способствует созданию восходящих потоков горячего воздуха в проходах между штабелями и между штабелями и стенами камеры. Нисходящие потоки воздуха проходят через штабеля материала.

Свежий воздух поступает под нагревательные трубы, а отработавший воздух с испарившейся влагой отводится в атмосферу через вытяжные каналы.

В лесосушильной промышленности наибольшее распространение получили сушилки с принудительной циркуляцией типа ВИАМ-I

(рис. 2а), ВИАМ-II (рис. 2б), ЦНИИМОД (рис. 3) и эжекционно-реверсивная сушилка конструкции И. В. Кречетова (рис. 4).

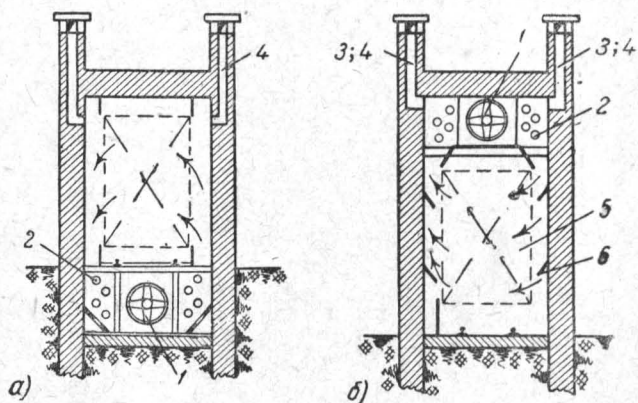


Рис. 2. Сушилки с принудительной циркуляцией среды
 а — типа ВИАМ-I; б — типа ВИАМ-II; 1 — осевые вентиляторы; 2 — калориферы; 3 и 4 — приточно-вытяжные каналы; 5 — штабель высушиваемого материала; 6 — направляющие экраны (щитки)

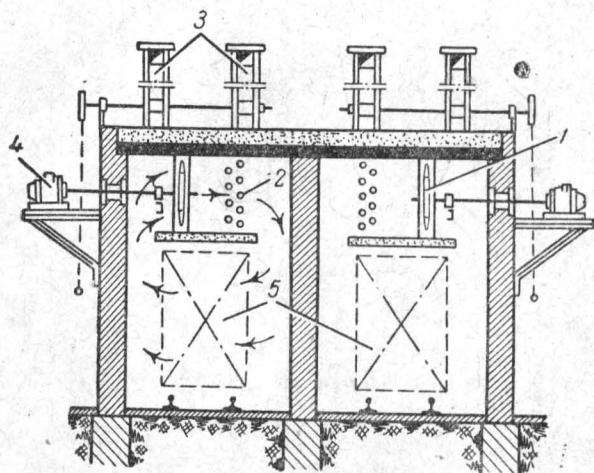


Рис. 3. Сушилка ЦНИИМОД
 1 — осевой реверсивный вентилятор; 2 — калориферы;
 3 — приточно-вытяжные каналы; 4 — электродвигатель;
 5 — высушиваемый материал

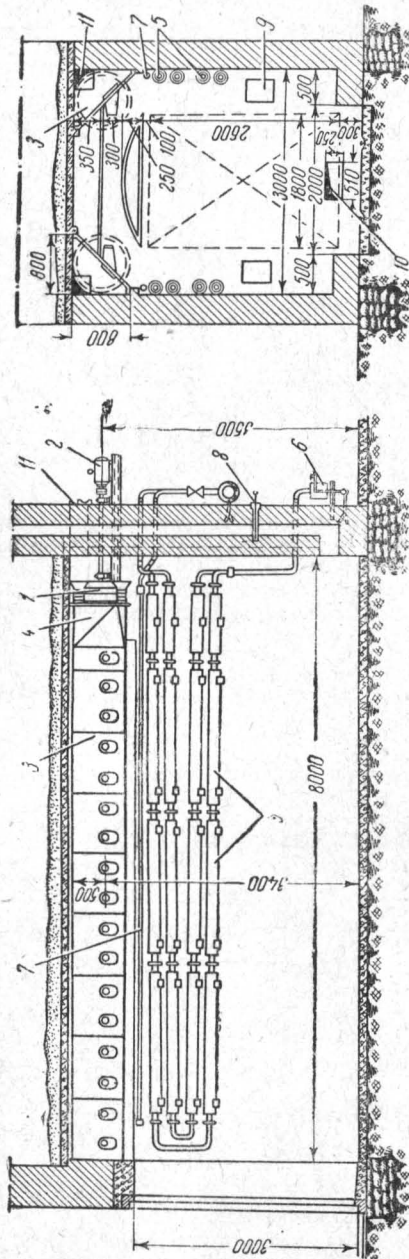


Рис. 4. Эжекционно-реверсивная сушилка

1 — осевой вентилятор; 2 — электродвигатель; 3 — воздухораспределительный канал с насадками; 4 — переходный патрубок; 5 — ребристый трубчатый calorifier; 6 — конденсатоотводчик; 7 — пропарочная труба; 8 — шибер; 9 — окно для установки психрометра; 10 — отверстие для выброса отработанного воздуха; 11 — отверстие для подсоса свежего воздуха

В сушилках ВИАМ-I вентилятор 1 и трубы калорифера 2 расположены под штабелем в подвале, в сушилках ВИАМ-II и ЦНИИМОД — над штабелем, а в сушилках конструкции Кречетова — по боковым стенкам камеры. Последние варианты с точки зрения пожарной безопасности предпочтительнее.

При сушке различных материалов широко применяются воздушные сушилки непрерывного действия с естественной и принудительной циркуляцией воздуха, которые экономически более выгодны, чем сушилки периодического действия. В таких сушилках по их длине

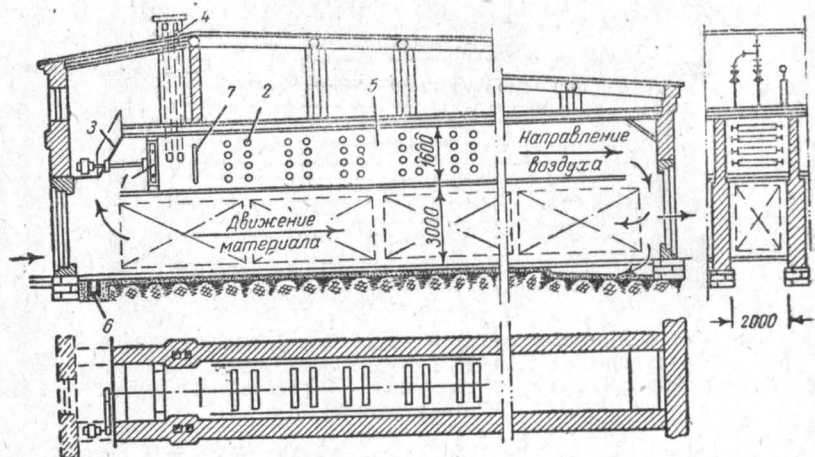


Рис. 5. Сушилка непрерывного действия с принудительной циркуляцией воздуха системы ЦНИИМОД

1 — осевой вентилятор; 2 — калорифер; 3 — отверстие для притока свежего воздуха; 4 — вытяжная труба; 5 — рециркуляционный канал; 6 — конденсационный горшок; 7 — увлажнительная труба

размещается в среднем пять штабелей, а по ширине — один-два штабеля. Загрузка камеры производится с одного (сырого) конца, а выгрузка — с другого (сухого), где температура воздуха на $15\text{--}20^\circ$ выше, чем в начале. Движение воздуха производится противотоком. В сушилках с естественной циркуляцией воздуха нагревательные элементы располагаются под штабелями.

На рис. 5 показана схема сушилки непрерывного действия с принудительной циркуляцией воздуха системы ЦНИИМОД. В этих сушилках нагревательные элементы 2 и вентилятор 1 располагаются в верхней части, в рециркуляционной камере 5, над штабелями.

Сушилка работает по принципу противотока, как показано на рис. 5 стрелками.

На рис. 6 показана схема многоленточной сушилки непрерывного действия, широко применяемой в химической промышленности для сушки сыпучих материалов. Сушилка состоит из прямоугольной камеры 1, в которой движутся несколько бесконечных лент 2, надетых на барабаны 3. Сушилка имеет паровой калорифер 5 и питатель 6.

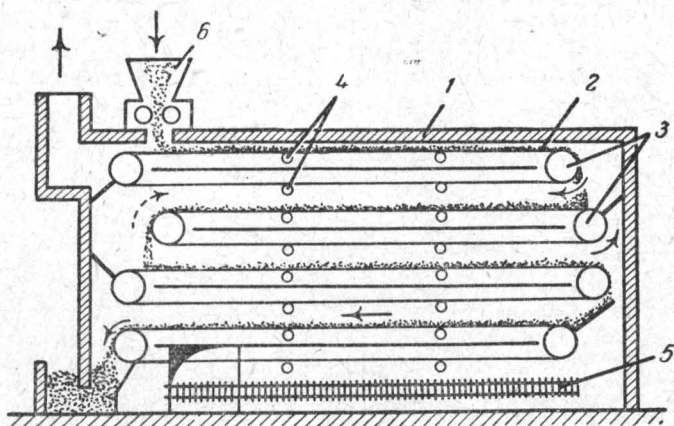


Рис. 6. Многоленточная сушилка непрерывного действия
1 — сушильная камера; 2 — бесконечные ленты; 3 — барабаны; 4 — паровые змеевики; 5 — паровой калорифер;
6 — питатель

Свежий воздух при помощи вентилятора нагнетается в калорифер, подогревается и проходит последовательно над всеми лентами навстречу движущемуся веществу или поднимается снизу вверх, проходя через слой материала.

В практике применяются и многоленточные сушилки с опрокидывающимися полками. В химической промышленности большое распространение получили также одноленточные сушилки непрерывного действия.

Сушилки с внешним расположением калориферов предпочтительнее с точки зрения пожарной безопасности, но для сушки крупногабаритных материалов и готовых изделий они применяются реже. Большое распространение они получили в химической промышленности и для сушки хлопка-сырца (сушилки с дымогазовыми калориферами).

На рис. 7 показана эжекционная сушильная камера периодического действия с выносным пластинчатым калорифером.

Для циркуляции воздуха в таких сушилках применяются эжекторы в виде конических насадок (сопел).

Воздух подсасывается из камеры вентилятором 1, а при необходимости добавляется свежий воздух через отверстие 7. Проходя че-

рез калорифер 5, воздух подогревается и нагнетается в канал воздуховода 2 с насадками 3, из которых он выбрасывается со скоростью 20—35 м/сек в пространство камеры и вызывает подсос воздуха из штабеля. В результате происходит смешение подогретого эжектирующего воздуха с эжектируемым воздухом из штабеля и образующаяся смесь направляется к высушиваемому штабелю 6.

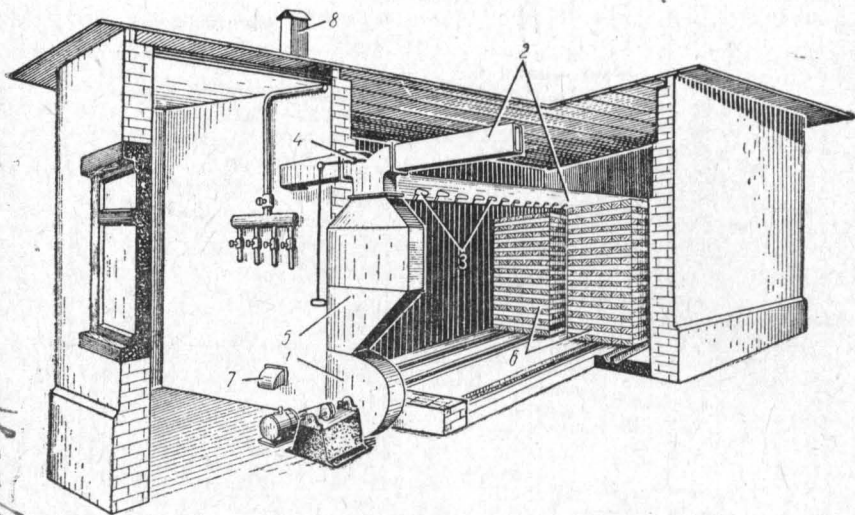


Рис. 7. Эжекционная сушилка периодического действия с внешним калорифером и вентилятором

1 — вентилятор; 2 — воздуховод; 3 — насадки; 4 — заслонка для реверсирования циркуляции воздуха; 5 — пластинчатый калорифер; 6 — высушиваемый материал; 7 — отверстие для подсоса свежего воздуха; 8 — вытяжная труба

Принципиальная схема сушилки приведена на рис. 8.

На рис. 9 показана схема ленточной сушилки непрерывного действия с внешним расположением калорифера, которая широко применяется в химической промышленности для сушки измельченных материалов. Обогрев сушилки производится горячим воздухом, поступающим из калорифера 3, а также паровыми змеевиками 4, расположенными внутри камеры. Движение воздуха и высушиваемого материала осуществляется по принципу противотока.

Широкое распространение в промышленности имеет искусственная тепловая сушка различных материалов и изделий из летучих растворителей. Такая сушка производится после процесса окраски, при изготовлении клеенки и гранитоля, киноплнки, целлулоида и изделий из него, искусственных шелков, кожи, прорезиненных и прооли-

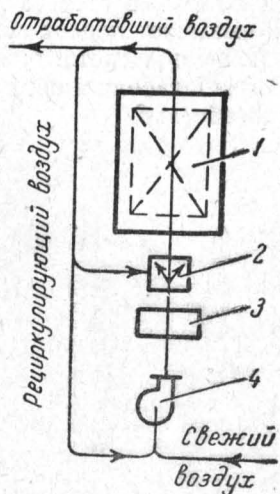


Рис. 8. Принципиальная схема эжекционной сушилки

1 — высушиваемый материал; 2 — эжектор; 3 — калорифер; 4 — вентилятор

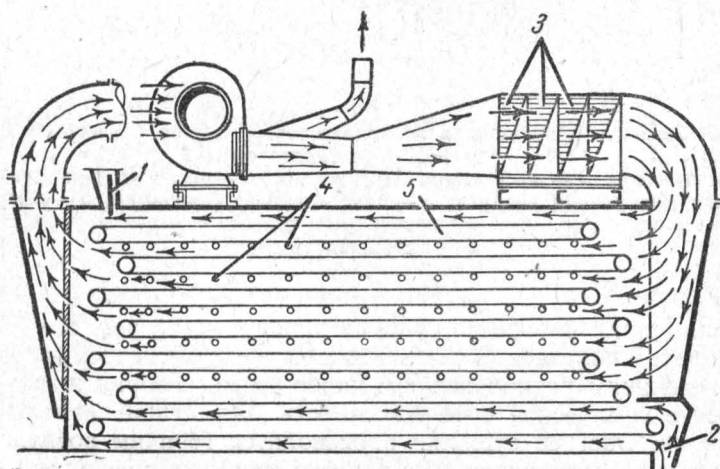


Рис. 9. Ленточная сушилка непрерывного действия с внешним калорифером

1 — бункер питателя; 2 — бункер для сухого материала; 3 — калориферы; 4 — паровые змеевики; 5 — бесконечная лента

фенных тканей, электроизоляционных материалов, пластических масс, порохов и т. п.

Искусственная сушка окрашенных изделий при повышенной температуре получила широкое распространение благодаря ускорению процесса сушки, пленкообразования и повышению качества покрытий.

Наибольшее распространение получили сушилки с принудительной циркуляцией воздуха при помощи вытяжного вентилятора и с рециркуляцией воздуха (рис. 10а, б).

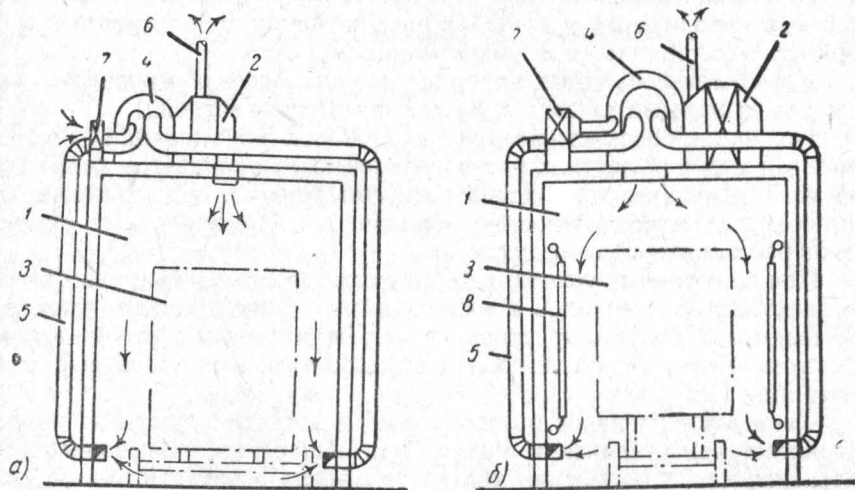


Рис. 10. Сушилка для окрашенных изделий

а — с рециркуляцией воздуха; б — с рециркуляцией и комбинированным подогревом;

1 — камера; 2 — калорифер; 3 — высушиваемый материал; 4 — вентилятор; 5 — каналы для отсоса паров; 6 — вытяжная труба; 7 — фильтр; 8 — секция дополнительного нагрева

Первый вариант является экономически менее выгодным, так как воздух покидает сушильную камеру при $40-50^{\circ}$ и выбрасывается в атмосферу.

При сушке с рециркуляцией нагретый воздух по выходе из сушилки не выбрасывается наружу, а с помощью вентилятора вновь поступает в калорифер и в сушильную камеру.

Но, поскольку при повторных прохождениях через сушилку воздух постепенно насыщается парами растворителя, часть такого воздуха удаляется из системы наружу, а взамен его засасывается свежий воздух. Количество удаляемого и засасываемого воздуха регулируется соответствующими заслонками или клапанами, что весьма важно для предотвращения возможности образования взрывчатых смесей.

Воздух, поступающий в сушилку, обычно нагревается в калорифере, расположенном вне камеры.

Иногда для повышения температуры сушки применяют дополнительный нагрев за счет установки в сушильной камере батарей парового отопления или электрических нагревательных элементов (см. рис. 106).

В поточно-массовом и крупносерийном производстве применяются сушильные установки непрерывного действия — тоннельные, проходного типа, одно- и многоходовые.

Пожарная опасность воздушных сушилок зависит от способа обогрева калориферов и места их расположения, от опасности высушиваемых материалов и температурного режима.

Как отмечалось выше, калориферы чаще всего обогреваются паром или дымовыми газами, а иногда и электроэнергией.

Пожарная опасность воздушных сушилок при удалении из материалов и изделий летучих растворителей обуславливается наличием горючей среды (в виде подсушиваемого материала при повышенной температуре) и возможностью образования взрывоопасных смесей паров растворителей с воздухом.

При нормальных условиях работы атмосферных сушильных установок концентрация паров в воздухе камер ниже нижнего предела взрываемости. Однако при нарушении режима эксплуатации и возникновении неисправностей могут образоваться взрывоопасные концентрации.

Концентрация паров растворителей в воздухе сушильных камер возрастает при увеличении поверхности испарения, повышении его интенсивности, уменьшении кратности обмена воздуха и при работе сушилки с большим коэффициентом возврата (рециркуляции) воздуха.

Увеличение поверхности испарения имеет место обычно при перегрузке сушилок высушиваемым материалом.

Увеличение количества выделяющихся паров в единицу времени происходит также при повышении температуры в сушилке и увеличении влажности высушиваемого материала.

Уменьшение кратности воздухообмена наблюдается при снижении производительности вентилятора и увеличении сопротивления линии (уменьшение числа оборотов вентилятора, засорение фильтров, подогревателей, решеток и т. п.).

Наиболее опасно полное прекращение циркуляции воздуха вследствие остановки вентилятора. В этом случае пары растворителей из сушильной установки не отводятся и их концентрация быстро возрастает до взрывоопасных пределов.

Это можно подтвердить небольшим расчетом, например, для сушилок целлулоида.

Пример. В сушильную камеру размером $10,3 \times 5,3 \times 3,2$ м загружено 3 т целлулоидных листов с содержанием этилового спирта

13%. По окончании сушки влажность равна 3%. Двери камеры плотно закрыты, температурный режим нормальный (37—50°). Пределы взрываемости паров спирта в воздухе равны 3,3—18,4%, температурные пределы взрываемости 11—40°C.

Решение. 1. Максимальное количество испарившегося спирта будет равно 10%, что составляет $3000 \times 0,1 = 300$ кг.

2. Объем камеры равен $10,30 \times 5,3 \times 3,20 = 175$ м³.

3. При температуре в камере, равной 42°C, концентрация насыщенных паров будет равна:

$$q = \frac{p_{\text{пар}} M}{V_{\text{гр.-мол}} 760} = \frac{149 \cdot 46}{25,86 \cdot 760} = 350 \text{ г/м}^3,$$

где $p_{\text{пар}} = 149$ мм рт. ст. при 42°C;

$M = 46$.

Следовательно, из целлулоида при указанных условиях может испариться всего лишь $0,350 \times 175 = 61$ кг спирта, после чего наступит равновесное состояние между парами спирта в воздухе и спиртом в целлулоиде. Поэтому в камере будут насыщенные пары уже при частичном испарении спирта (около 20%).

4. Процентная концентрация насыщенного пара спирта при температуре в сушилке 37—50°C будет равна:

а) при $t = 37^\circ$, $p_{\text{пар}} = 115,4$ мм рт. ст.

$$V\% = \frac{p_{\text{пар}} \cdot 100}{760} = \frac{115,4 \cdot 100}{760} = 15,2\%;$$

б) при $t = 42^\circ$, $p_{\text{пар}} = 149$ мм рт. ст.

$$V\% = \frac{p_{\text{пар}} \cdot 100}{760} = \frac{149 \cdot 100}{760} = 19,6\%;$$

в) при $t = 45^\circ$, $p_{\text{пар}} = 172,1$ мм рт. ст.

$$V\% = \frac{p_{\text{пар}} \cdot 100}{760} = \frac{172,1 \cdot 100}{760} = 22,7\%.$$

Следовательно, при температурах от 37 до 40° концентрация паров спирта в сушилке будет в пределах взрывоопасности, что соответствует и температурным пределам взрываемости.

При более высокой температуре (выше 40°) концентрация паров будет выше верхнего предела взрываемости.

Приведенный расчет показывает, что в сушилках даже при наличии незначительного воздухообмена могут образоваться взрывоопасные концентрации паров растворителей с воздухом.

Остановка вентилятора, отсасывающего пары растворителей, представляет большую опасность и для сушилок непрерывного дейст-

вия. В этом случае при продолжении движения высушиваемого материала через сушилку количество паров не уменьшается, а удаляться их из сушилки будет значительно меньше, чем предусмотрено расчетом. Это особенно характерно для сушилок электроизоляционных материалов, прорезиненных тканей и т. п.

В сушилках с рециркуляцией воздуха при нарушении нормальных условий работы системы рециркуляции, т. е. коэффициента возврата, концентрация паров растворителей может достигнуть опасных пределов. Если действительный коэффициент возврата больше расчетной величины, то воздух будет постепенно насыщаться парами до образования взрывоопасных концентраций. Такую же опасность представляет прекращение подачи свежего воздуха в калорифер сушилки. В этом случае пары растворителя могут образовать горючую среду внутри калорифера. Так, из-за остановки вентилятора, нагнетающего воздух в электрокалорифер для его подогрева и подачи в сушильную печь, возник пожар в сушильной печи лакокрасочного цеха консервного завода, где производилась сушка жестяных листов, окрашенных лаком № 41.

В результате остановки вентилятора нагнетание воздуха в калорифер прекратилось и межтрубное пространство заполнилось смесью паров лака с воздухом. Эта смесь воспламенилась от высокой температуры труб, равной 500—600°.

Некоторую особенность, с точки зрения пожарной опасности, представляют сушилки периодического действия. В этих сушилках наибольшее количество паров выделяется в первый период сушки, а затем скорость испарения резко понижается. Поэтому в первый период сушки особо опасно нарушение нормального режима работы таких сушилок.

При анализе пожарной опасности сушилок необходимо учитывать наличие не только горючих паров, но и высушиваемых изделий (дерево, ткань, волокнистые материалы, нитроклетчатка и т. п.), которые сосредоточиваются в больших количествах на сравнительно небольшой площади сушильных камер.

Источниками воспламенения горючих паров и высушиваемых изделий внутри сушильных камер чаще всего являются нагретые поверхности систем обогрева, механические воздействия неисправных вентиляционных установок, самовозгорание высушиваемых материалов.

Температура в сушилках при сушке лакокрасочных покрытий принимается различной, в зависимости от их свойств и рода высушиваемого материала. Но она редко превышает 110—120°.

Только некоторые лаки на масляно-асфальтовой основе сушат при 200—300°. Масляные краски и лаки сушат при температуре не выше 110—120°; глифталевые лаки и эмали — при 80—120°, окрашенное дерево — при 65—70°.

Температура поверхности нагревательных приборов (паровых калориферов) обычно не превышает 140—150°. Такая температура не вызывает воспламенения взрывоопасных паровоздушных смесей, но она может быть причиной самовозгорания отложений органической пыли и частиц высушиваемого материала, а также разложения некоторых высушиваемых лакокрасочных покрытий и материалов (нитрокраски, нитролаки, целлулоид и т. п.) с последующим их воспламенением. Указанные вещества имеют температуру самовоспламенения около 140—160°.

Например, на одной из зарубежных фабрик произошел пожар и взрыв при сушке искусственного фетра, обработанного нитролаками. Температура в сушилке не превышала 60—70°. Воздух нагревался паровыми змеевиками, расположенными в камере под решетчатым полом. В день взрыва вентиляционная система в связи с ремонтом не работала и вытяжка производилась естественным путем. В результате уменьшения кратности воздухообмена в сушилке образовалась взрывоопасная концентрация. Причиной взрыва явилось самовоспламенение нитролака, капли которого попали на нагретую поверхность парового змеевика с температурой около 145° и при длительном воздействии температуры начали разлагаться.

Иногда пожары в сушилках возникают в результате самовозгорания тканей, покрытых масляными лакокрасочными материалами.

В сушилках непрерывного действия при остановке транспортирующих приспособлений высушиваемый материал может воспламениться в результате длительного воздействия температуры.

Пожар или взрыв в сушилках также могут вызвать искры от удара металла о металл, перегрев трущихся частей вентилятора, транспортных приспособлений, неисправность электрооборудования и т. п.

Пожарная опасность сушилок твердых материалов объясняется скоплением в них большого количества сухого материала и наличием нагревательных элементов. При расположении нагревательных калориферов в нижней части сушилок на их поверхности, особенно между пластинками, скапливаются отходы и пыль. Температура в сушилках колеблется от 40 до 120°. Для получения указанных рабочих температур воздуха поверхность паровых калориферов должна иметь температуру от 140 до 160°. Эти температуры значительно ниже температуры самовоспламенения большинства твердых горючих веществ. Однако отходы и пыль вследствие длительного нагревания, сильного высушивания и обугливания могут воспламениться.

Попадание отходов горючих материалов на поверхность нагревательных элементов также опасно и при расположении последних вне камер. В этом отношении весьма характерен пожар, который произошел при сушке древесно-волоконистых изоплит. Сушка изоплит производилась воздухом, нагретым в калориферах до 80°. Давление пара в сети доходило до 8,2 атм, что соответствует его температуре в тру-

бопроводах, равной 180°. Забор воздуха в калориферы производился из цеха, где имелось большое количество древесной и бумажной пыли во взвешенном состоянии. Пыль осаждалась на ребрах калориферов, переходила в пирофорное состояние, самовозгоралась и в виде горящих частиц уносилась нагнетаемым воздухом в сушильную камеру, что и вызвало пожар.

При сушке измельченных полимерных материалов (даже в воздушных и конвейерных ленточных сушилках) возможно и самовозгорание. Такие случаи неоднократно происходили при сушке измельченной крошки синтетического дивинилстирильного каучука в одноленточной сушилке со смешанным расположением нагревательных элементов. Причиной самовозгорания, вероятнее всего, было попадание масел на крошку из трущихся частей сушильной установки и задержка этой крошки на транспортирующих приспособлениях сушильной камеры.

При пересыпании измельченных и порошкообразных материалов могут образоваться взрывоопасные концентрации пыли с воздухом. Кроме того, при этом значительное количество пыли оседает на конструкциях, что способствует быстрому распространению пожара. Наряду с высушиваемым материалом горючую среду в сушилках иногда представляют сгораемые транспортирующие приспособления (конвейеры и тележки), стеллажи, теплоизоляция и др.

Источником воспламенения могут быть искровые разряды статического электричества и неисправность электрооборудования.

Пожарнопрофилактические мероприятия в сушилках должны предусматривать невозможность образования горючей взрывоопасной среды, регулярную уборку отходов, устранение источников воспламенения и предотвращение возможности распространения пожара. Исходя из этих требований, конструктивные элементы сушилок и их оборудования должны выполняться из несгораемых материалов, а сушильные цехи разделяться на отдельные камеры.

Калориферы целесообразно располагать вне сушильных камер. Если нагревательные приборы необходимо расположить внутри камер, то следует предусмотреть меры, устраняющие возможность соприкосновения с высушиваемыми материалами, а также предохраняющие загрязнение поверхности нагревательных приборов пылью и отходами.

При нижнем расположении нагревательных элементов в подвалах над ними устраиваются решетки, применяются гладкие трубы. Кроме того, во избежание прямого попадания отходов и пыли на нагревательные элементы, над последними должны устраиваться металлические щитки (экраны) или сплошные настилы. Загрузка и разгрузка штабелей в тележки должна производиться вне камер.

В процессе работы сушилок после извлечения высушиваемого материала или перед загрузкой новых порций пыль и прочие отходы из камер, особенно под решетками, где расположены нагрева-

тельные приборы, необходимо убирать. Забираемый в калориферы воздух не должен содержать пыль и отходы.

Во вновь проектируемых сушилках нагревательные калориферы в виде ребристых труб располагают обычно в верхних зонах сушильных камер или по боковым поверхностям (см. рис. 3, 4, 5).

Расположение нагревательных калориферов в верхних зонах сушилок устраняет возможность попадания на них горючих отходов и осаждения пыли на ребристых трубах.

При удалении летучих растворителей необходимо предупредить возможность образования в сушилке взрывоопасных концентраций паров с воздухом, выхода паров из сушильной камеры в производственное помещение, попадания лакокрасочных материалов на нагревательные приборы или внутрь калориферов.

Для предотвращения возможности образования взрывоопасных концентраций в сушилках последние оборудуются вентиляционными системами, не связанными с общесеховой вентиляцией.

Вентиляционная установка должна обеспечивать концентрацию паров в сушильных камерах ниже нижнего предела взрываемости. Обычно эта концентрация принимается в полтора, два раза ниже нижнего предела взрываемости, а для сушилок, в которых требуется хотя бы временное пребывание людей, — по санитарным нормам.

Рабочая концентрация в сушильных камерах должна устанавливаться расчетным путем. Для этого определяют количество паров, выделяемых в единицу времени, и по допустимой концентрации рассчитывают количество подаваемого в сушилку воздуха по следующей формуле:

$$L = \frac{W_p}{C} \text{ кг воздуха/час, или } V = \frac{W_p}{C_\gamma} \text{ м}^3/\text{час},$$

где W_p — количество удаляемого растворителя в кг/час;

C — предельно допустимая концентрация паров растворителя в отходящем (удаляемом) воздухе в кг/кг воздуха;

$$C = (0,5 + 0,65) \cdot \text{н. п. в.};$$

γ — объемный вес воздуха при температуре сушки в кг/м³.

Количество выделяемого из материала растворителя определяют, исходя из производительности сушилки и содержания влаги в материале, по следующей формуле:

$$W_p = G_{с.м} \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1} \text{ кг/час},$$

где $G_{с.м}$ — часовая производительность сушилки по сухому материалу в кг/час;

ω_1 — содержание влаги в материале перед сушкой в %;

ω_2 — содержание влаги в материале после сушки в %.

По требуемому количеству подаваемого в сушилку воздуха подбирают производительность вентилятора (см. пример расчета сушилок).

В процессе эксплуатации сушилок фактическая концентрация паров в воздухе должна периодически проверяться путем анализа взятых проб.

В мощных пожароопасных сушильных установках контроль содержания паров в воздухе целесообразно производить непрерывно стационарно установленными газоанализаторами, например СГГ-2. По тем же соображениям в сушилках должна предусматриваться автоматическая сигнализация, предупреждающая об уменьшении производительности или полной остановке вентилятора. Для этого можно использовать реле потока воздуха РПВ-2.

Чтобы в процессе эксплуатации сушилки расчетная концентрация паров не оказалась выше допускаемых пределов, должны быть установлены предельно допустимая норма загрузки высушиваемым материалом и рабочий температурный режим.

В сушилках, работающих с рециркуляцией воздуха, особое внимание должно быть обращено на соблюдение установленного предельно допустимого коэффициента рециркуляции. Для этого необходимо следить за положением шиберов на выкидной линии. Шиберы должны иметь четкие обозначения о предельно допустимом закрытии и оборудованы ограничителями.

Для сушки материалов, связанных с выделением большого количества растворителей, когда при нормальных условиях концентрации будут лежать в пределах взрываемости, необходимо применять вакуумные сушилки или сушилки с инертной средой.

Для предотвращения выхода паров растворителя из сушильной камеры в производственное помещение давление в камере необходимо поддерживать несколько ниже давления воздуха в производственном помещении.

Сушильные камеры периодического действия должны оборудоваться плотно закрываемыми дверями или воротами.

В сушилках непрерывного действия с постоянно открытыми проемами система отсоса должна обеспечивать скорость воздуха в этих проемах не менее 0,75—1,2 м/сек во избежание диффузий паров растворителей в цех.

При сушке нитросоединений и органических соединений, выделяющих пыль (кинопленка, целлулоид, нитрокраски и т. п.), нагревательные элементы, во избежание попадания на них лакокрасочных материалов и органической пыли, должны располагаться вне сушильной камеры.

Если нагревательные элементы разрешено устанавливать внутри камеры, то они должны располагаться по периметру боковых стен таким образом, чтобы исключалась возможность их соприкосновения с высушиваемыми изделиями или перегрева материала

лучеиспусканием. При этом нагревательные элементы должны быть доступны для осмотра и чистки.

Наиболее безопасны нагревательные элементы (калориферы) с гладкой поверхностью, обогреваемые горячей водой или паром.

В процессе эксплуатации необходимо следить за регулярной очисткой сушильных камер, подогревателей, воздухопроводов, фильтров и транспортных приспособлений от пыли и других отложений.

Во избежание образования искр от механических ударов лопасти или ротор вентилятора на выкидной линии должны быть изготовлены из мягкого металла, а притворы дверей — из материалов, не выделяющих искр.

Наиболее важной задачей, обеспечивающей режим сушки и пожарную безопасность, является автоматизация управления процессом сушки, т. е. автоматическое регулирование температуры и влажности теплоносителя.

Весьма важным направлением автоматизации процесса сушки является создание систем, указывающих окончание сушки. Такие системы обеспечивают оптимальные условия и исключают возможность перегрева высушиваемого материала. Они состоят из двух датчиков температуры: один из них измеряет температуру высушиваемого материала, а второй — температуру теплоносителя. Прибор, измеряющий разность обеих температур, дает сигнал о завершении сушки, когда эта разность становится равной нулю или приближается к нулю на заданную величину.

Для автоматизации процессов сушки применяются приборы автоматического контроля и регулирования.

Для контроля температуры в сушилках применяются в основном различные спиртовые и ртутные термометры, в том числе электроконтактные, предназначенные для подачи сигнала при максимальной температуре, биметаллические и стержневые (дилатометрические) датчики, манометрические показывающие и сигнализирующие термометры и различные потенциометры.

Ртутные контактные термометры применяются как для сигнализации, так и для регулирования температуры в сушилках.

Биметаллические и дилатометрические датчики, электроконтактные и манометрические сигнализирующие термометры при заданной максимальной температуре замыкают или размыкают контакты электрической цепи и обеспечивают отключение подачи теплоносителя в сушилку, предотвращая перегрев высушиваемого материала.

Поддержание заданной температуры обеспечивается автоматическим регулированием количества подаваемого в сушилку теплоносителя при помощи различных регуляторов прямого и непрямого действия.

Ниже приводятся некоторые наиболее характерные варианты схем регулирования температуры в сушилках различных типов.

При регулировании температуры пневматическим поршневым регулятором в сушильной камере (рис. 11) установлен термобаллон 1 (или баллон парового манометрического термометра), капилляр которого введен в гармониковую мембрану (сильфон) 2. Свободное дно сильфона перемещается в зависимости от давления воздуха или пара в баллоне, которое изменяется пропорционально изменению температуры в камере. Этому перемещению противодействует пружина 3, предварительное натяжение которой создается по заданию винтом (задатчиком) 4. Перемещение свободного дна сильфона,

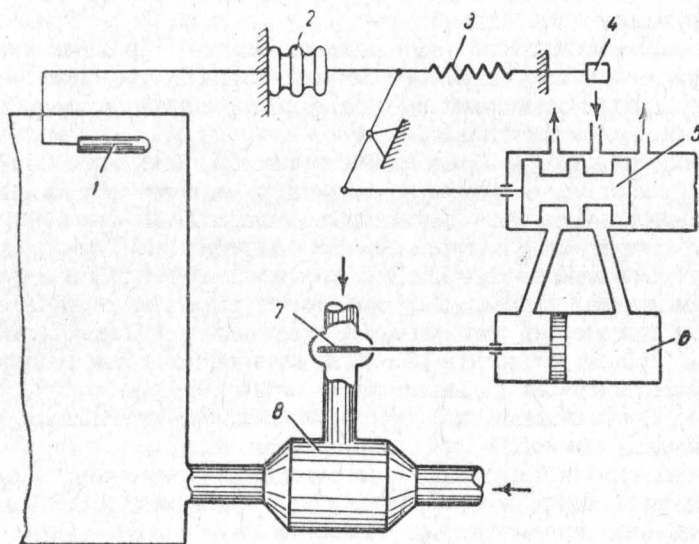


Рис. 11. Схема регулирования температуры в сушилке
1 — термобаллон; 2 — сильфон; 3 — пружина; 4 — задатчик;
5 — золотниковый усилитель; 6 — сервомотор; 7 — задвижка;
8 — калорифер

вследствие его растяжения или сжатия, приводит через систему рычагов к перемещению золотника 5 усилителя, управляющего поступлением воздуха в область исполнительного органа — сервомотора 6. Поршень сервомотора связан с регулирующим органом — задвижкой 7 на линии пара, который попадает в калорифер 8 и нагревает поступающий в сушилку воздух.

Когда температура в камере равна заданной, золотник находится в нейтральном положении, воздух в цилиндр не поступает и паровая задвижка неподвижна.

Если температура в камере превысит заданную, давление в сильфоне повысится, его дно переместится вправо, а золотник влево (как

показано на рисунке). При этом откроется доступ воздуха в правую полость сервомотора, поршень переместится влево, прикроет задвижку 7 и уменьшит проход пара в калорифер, что приведет к понижению температуры воздуха, поступающего в сушилку.

Падение температуры, наоборот, обеспечивает большее открытие заслонки и увеличение прохода пара в калорифер. Положение рычагов, золотника и поршня для этого случая на рис. 10 показано пунктиром. Таким образом в сушилке будет поддерживаться нормальная заданная температура, что обеспечивает пожарную безопасность процесса сушки.

В настоящее время выпускаются манометрические регуляторы температуры и влажности воздуха в сушилках типа 32-ТГ-420 и 32-ТГ-620 со шкалой 0-120°.

Регуляторы указанного типа регулируют температуру по сухому и мокрому термометрам, которые установлены в сушильной камере, путем открывания и закрывания мембранных клапанов, устроенных на паровых линиях калорифера и увлажнительной системы. Регулятор (рис. 12) состоит из двух измерительных систем с двумя датчиками 4 и 12 и двух исполнительных и регулирующих органов 2 и 10.

Температура в сушильной камере измеряется при помощи термобаллона 4, от которого через капиллярную трубку 5 изменение давления передается полый многовитковой пружине 6. При повышении температуры пружина раскручивается и через систему рычагов перемещает записывающее перо 7, которое записывает изменение температуры на шкале прибора. Перемещение стрелки с пером 7 за контрольную стрелку 8, установленную на заданную температуру, вызывает через первичное и вторичное реле (усилители) повышение давления воздуха над мембраной клапана 2, установленного на паровой трубе 1. Давление воздуха в трубке 3, идущей от вторичного усилителя к клапану 2, повышается лишь тогда, когда температура в камере увеличивается выше заданной величины. Под действием повышенного давления воздуха сжимается пружина клапана, шток перемещается вниз и клапан перекрывает пар, идущий в калорифер. В результате этого прекращается дальнейшее повышение температуры в сушильной камере и предотвращается перегрев высушиваемого материала.

При снижении температуры в камере ниже установленной величины происходит обратное явление: давление в термобаллоне 4 снижается, свободный конец многовитковой пружины 6 перемещается в обратном направлении, перо 7 отходит от контрольной стрелки 8, открывается заслонка первичного усилителя и сжатый воздух из вторичного усилителя и трубки 3 выходит свободно в атмосферу. Это вызывает снижение давления над мембраной клапана 2, пружина клапана поднимает шток и клапан вверх и пар снова начинает поступать в калорифер.

Работа системы регулирования влажности по мокрому термометру 12 подобна описанной.

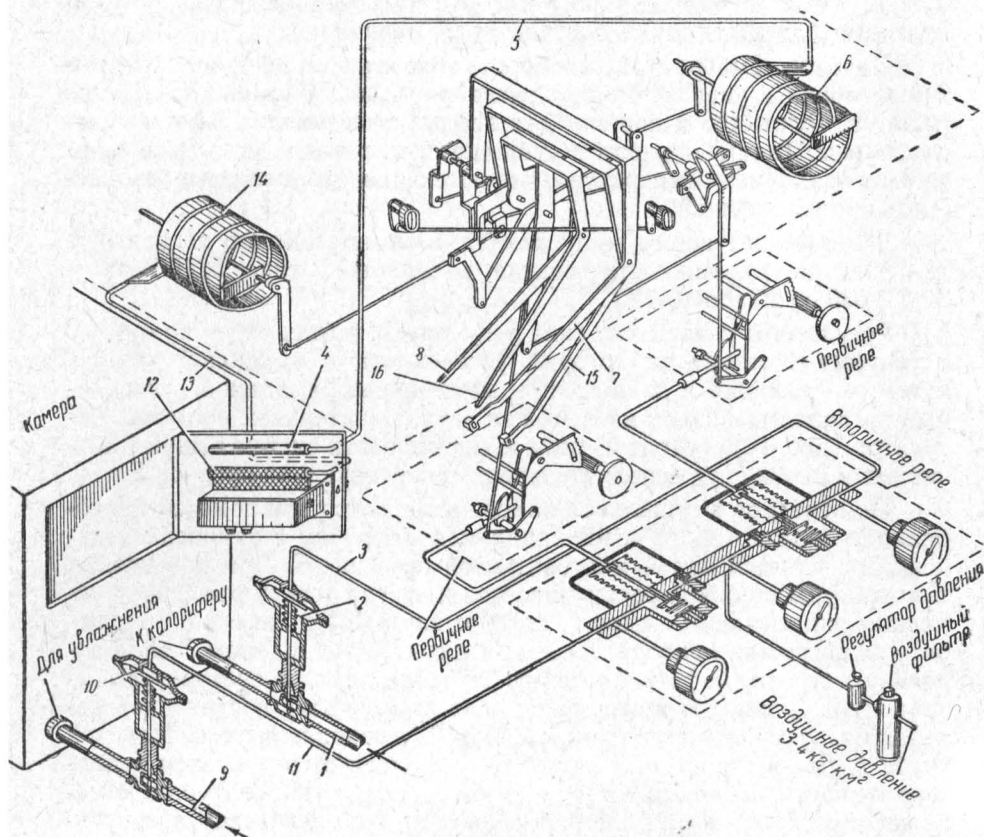


Рис. 12. Схема манометрического регулятора температуры и влажности
 1 и 9 — паропроводы в калорифер и на увлажнение; 2 и 10 — мембранные пневматические клапаны; 3 и 11 — трубки для подачи сжатого воздуха; 4 и 12 — термобаллоны сухой и мокрый; 5 и 13 — капиллярные трубки; 6 и 14 — многоспиральные полые пружины; 7 и 15 — перья для записи t_c и t_m ; 8 и 16 — контрольные (задающие) стрелки, устанавливаемые на нужную температуру

Для дистанционного регулирования температуры в сушилках и других объектах с медленно проходящими температурными режимами в настоящее время выпускается электронный автоматический трехпозиционный регулятор температуры ЭАТРТ.

Принцип действия регулятора основан на изменении омического сопротивления полупроводникового термосопротивления, включен-

ного в неравновесный мост, вследствие изменения контролируемой температуры.

Регулятор (рис. 13) состоит из трех основных узлов: полупроводникового датчика, электронного прибора и регулирующего клапана.

Электронный мост прибора состоит из четырех плеч: сопротивлений R_2, R_3, R_4 и полупроводникового датчика R_1 , устанавливаемого в регулируемую среду (камеру сушилки).

Настройку регулятора на заданную температуру производится изменением переменного сопротивления R_2 .

Мост находится в равновесии, когда $R_2 = \frac{R_4}{R_3} R_1$.

При изменении температуры изменяется сопротивление датчика и нарушается равновесие моста. В результате на вершинах диагонали моста возникает некоторое напряжение того или другого направления.

Часть напряжения направляется в двухкаскадный электронный усилитель — лампы L_1 и L_2 . Нагрузкой второго каскада усилителя является обмотка I поляризованного реле P_1 , контакты которого K_1P_1 и K_2P_1 включают цепь обмоток промежуточных реле P_2 и P_3 , управляющих включением исполнительного механизма $Пр-1$ и сигнальных ламп L_3 и L_4 .

Когда регулируемая температура в сушилке соответствует заданному значению (с допускаемыми отклонениями), то контакты якоря поляризованного реле находятся в нейтральном положении, исполнительный орган выключен и не вращается.

При отклонении температуры от заданного значения поляризованное реле P_1 срабатывает и подает импульс тока на вспомогательное реле P_2 или P_3 .

При повышении температуры срабатывает реле P_3 , включается электродвигатель исполнительного органа на закрытие регулирующего клапана, в результате количество теплоносителя, поступающего в сушилку, уменьшится и температура снизится до заданного значения. При понижении температуры срабатывает реле P_2 и включается электродвигатель на открытие клапана теплоносителя. Температура будет повышаться до заданной величины. Таким образом, регулятор обеспечивает поддержание постоянной, заданной и, следовательно, безопасной температуры в сушилке.

Для регулирования температуры в паровых сушилках применяются и электропневматические регуляторы типа У-2, разработанные УкрНИИМОД.

Датчиком регулятора является контактный ртутный термометр с магнитной головкой ТК-6, а исполнительным, регулирующим органом — пневматический мембранный вентиль, установленный на линии подачи пара.

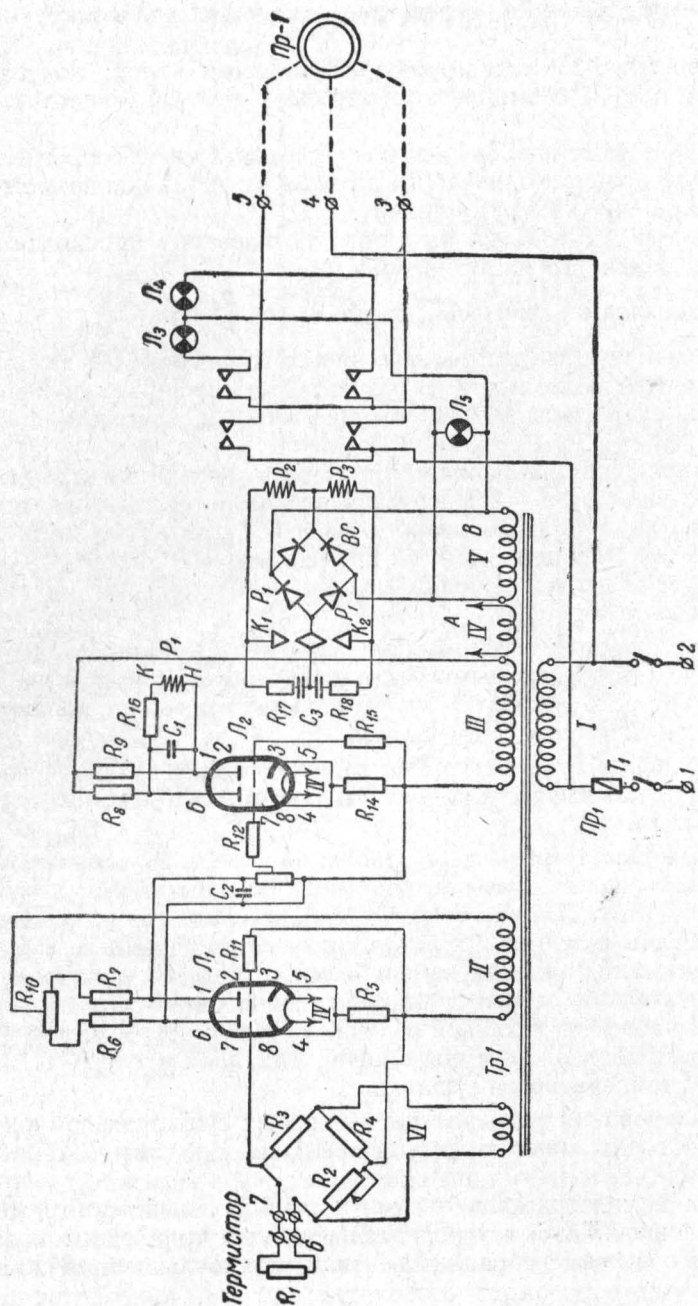


Рис. 13. Схема электронного регулятора температуры ЭАТР
 R_1 — полупроводниковый датчик (термосопротивление); R_2, R_3, R_4 — плечи мостовой схемы; $R_5 \dots R_{10}$ — сопротивления; Λ_1, Λ_2 — лампы усилителя; $C_1 \dots C_4$ — конденсаторы; L_1, L_2 — индуктивности; K_1, K_2, K_3, K_4 — контакты реле; P_1 — исполнительный механизм; Λ_3, Λ_4 — сигнальные лампы; Тр.1 — трансформатор; 1 и 6 — анодные линии; 2 — аноды; 3 и 8 — катоды; 4 и 5 — сетка; 7 — аноды; 7 — аноды

Датчик действует на регулирующий клапан через промежуточное и управляющее реле и пневматический золотник.

Для автоматического регулирования процесса конвейерной сушки окрашенных нитролаками изделий применяются и современные пневматические приборы АУС. Эта система надежно обеспечивает пожарную безопасность процесса сушки при наличии испаряющихся паров летучих растворителей.

В процессе сушки при этом автоматически контролируются и регулируются следующие параметры: давление газа, поступающего в топку, с помощью гидравлического регулятора; температура теплоносителя при помощи изодромного регулятора АУС, который соответственно изменяет подачу газа в топку воздухонагревателя; количество поступающего в сушилку нагретого воздуха с учетом температуры отработавшего теплоносителя при помощи изодромного регулятора; концентрация паров лакокрасочных материалов в сушилке при помощи специального датчика паров с сигнализацией опасного повышения этой концентрации за счет сигнальной лампы и sireны; давление в сушилке при помощи изодромного регулятора и температура перед воздухонагревателями.

Температура теплоносителя на входе в сушилку измеряется манометрическим термометром.

Заданное значение температуры в сушилке устанавливается в регулирующем блоке программным задатчиком в зависимости от значения температуры отработавшего воздуха.

В зависимости от разности температур теплоносителя на входе в сушилку и на выходе из нее изменяется подача газа в топку одновременно с изменением расхода теплоносителя (нагретого воздуха). Количество подаваемого теплоносителя регулируется автоматически в зависимости от нагрузки сушилки в каждый момент. Температура на выходе из сушилки измеряется термометром, и сигнал из датчика температуры подается в камеру измерения регулирующего блока.

Изменение заданного значения температуры в регулирующем блоке осуществляется программным задатчиком по параметру в зависимости от концентрации паров нитролака, которая измеряется специальным датчиком. Такое программное регулирование устраняет возможность образования взрывоопасных концентраций в сушилке в каждый данный момент. Это является весьма ценным и надежным участком в системе регулирования, которая обеспечивает пожарную безопасность процесса сушки от летучих растворителей нитролаков.

Кроме того, опасная концентрация паров нитролака автоматически сигнализируется, для чего применены блок сигнализации, пневмозлектрический преобразователь, сигнальная лампа и сирена.

Для регулирования давления в сушилке применяется изодромный регулятор. В качестве датчика давления принят тягонапор-

мер; сигнал с выхода датчика подается в камеру измерения регулирующего блока. Заданное значение давления устанавливается дистанционным задатчиком. Давление в сушилке поддерживается изменением открытия регулирующего органа через исполнительный механизм на линии сброса отработавшего воздуха.

Температура поверхности труб воздухонагревателя измеряется термопарой и термоэлектрическим пирометром с пневмовыходом. Сигнал, пропорциональный величине температуры, подается в регулирующий блок, а заданная температура устанавливается дистанционным задатчиком. Эта температура поддерживается регулированием расхода отработавших газов, перепускаемых обратно в топку через регулирующий орган.

Чтобы предотвратить возможность образования взрывоопасных концентраций в топочном пространстве (например, при падении давления газа или воздуха, при остановке вентиляторов или дымоcоса), схема регулирования обеспечивается системой защиты (автоматикой безопасности) в виде механизма отсечки газа.

Во избежание распространения пожара сушильные камеры должны размещаться по периметру здания и отделяться от остальных помещений брандмауэрами.

На линиях подачи свежего воздуха и отсасывающих линиях должны устанавливаться автоматически закрывающиеся задвижки.

Во избежание разрушения конструкций сушилок при взрыве закрытые камеры должны иметь легкое покрытие или предохранительные взрывные клапаны.

В качестве средств тушения в сушилках устраивают спринклерные или дренчерные системы. При закрытых камерах целесообразно предусматривать объемное тушение с помощью пара или негорючих газов. При сушке пожароопасных продуктов необходимо предусмотреть автоматическую подачу пара, используя любые температурные датчики.

2. Воздушные сушилки с дымогазовыми калориферами

Воздушные сушилки с дымогазовыми трубчатыми калориферами получили широкое распространение для сушки сельскохозяйственных продуктов, в частности хлопка-сырца.

Такая сушильная установка состоит из топочного и сушильного отделений. Сушильный агрегат, в свою очередь, состоит из питателя, сушильного сетчатого барабана, шлюзового затвора (вакуум-клапана), сорного шнека и электропривода. Сушилки СНХ-3 имеют по три барабана, которые хлопок проходит последовательно.

Воздух после нагрева в калориферах до 280—300° движется внутри барабана навстречу потоку хлопка-сырца или в одном направлении с ним и выходит из барабана с температурой 55—75°. В процессе перемещения внутри барабана хлопок разрыхляется и пе-

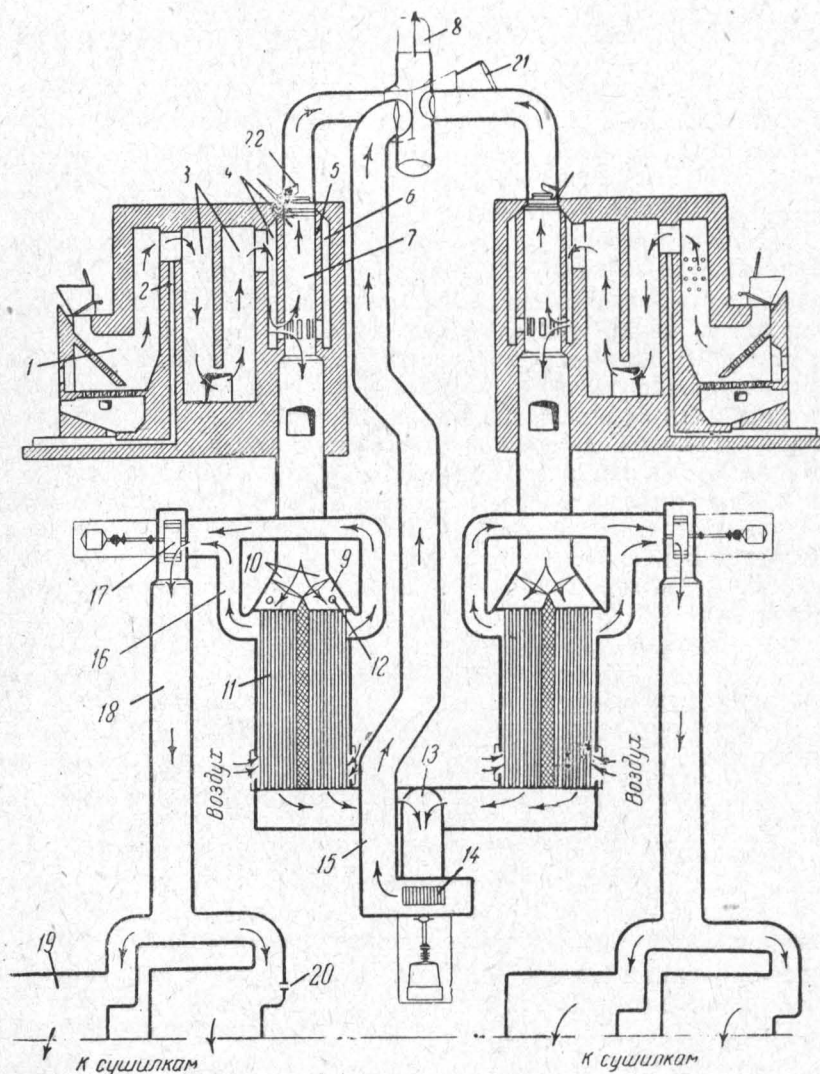


Рис. 14. Схема топочного устройства и газораспределения воздушной сушилки с дымогазовыми калориферами

1 — топка; 2 — канал добавочного воздуха; 3 — колодцы осадочной камеры; 4 — циклон; 5 — внутренний цилиндр; 6 — пружинный колодец; 7 — внутренний колодец; 8 — дымовая труба; 9 — боровая; 10 — шиберы; 11 — калориферы; 12 — отверстия для термомпар; 13 — канал отработанного газа; 14 — дымосос; 15 — нагнетательный трубопровод; 16 — всасывающий трубопровод горячего воздуха; 17 — вентилятор рабочего воздуха; 18 — каналы горячего рабочего воздуха; 19 — сушилки; 20 — отверстия для термометров; 21 — клапан холодного воздуха; 22 — рециркуляционный клапан

риодически встряхивается при ударе о перфорированные стенки барабана.

В топочном отделении сушилок 2СХЛ-1,5 и 2СХЛ-1,5М (рис. 14) располагаются две сблокированные печи с топочными и осадочными камерами, циклонами, дымовой трубой и боровами, дымогазовые трубчатые калориферы, дымосос, два вентилятора для горячего воздуха, газоходы, воздухопроводы и измерительная аппаратура.

Осадочная камера состоит из двух сообщающихся между собой вертикальных колодцев.

Второй колодец осадочной камеры в верхней части соединяется с циклоном искроуловителя. В осадочной камере и циклоне догорают твердые частицы. Циклон состоит из внутреннего цилиндрического и наружного кольцевого колодцев, связанных между собой отверстиями. Внутренний колодец соединяется с дымовой трубой и является камерой смешивания топочных газов с наружным воздухом или газами рециркуляции. Из циклона топочные газы по боровам направляются в калорифер, откуда дымососом отсасываются и выбрасываются в атмосферу. Через межтрубное пространство калориферов противотоком проходит наружный воздух, который нагревается в них до 200—300° и вентилятором нагнетается в сушилки.

Температура смеси топочных газов у входа в калориферы путем разбавления их отходящими дымовыми газами поддерживается в пределах 500—600°.

На рис. 15 показана принципиальная аксонометрическая схема модернизированной двухтопочной печи с калориферами, которая в последнее время получила широкое распространение при сушке хлопка-сырца.

Пожарная опасность воздушных сушилок с дымогазовыми калориферами заключается в возможности воспламенения волокнистого материала в сушилке в результате попадания в нее искр, а также вследствие перегрева высушиваемого материала.

В барабанных сушилках хлопок-сырец может воспламениться от искр, попадающих из калориферов вместе с горячим воздухом.

Искры попадают в калориферные установки через трещины в поде над боровами, в местах заделки труб или через прогоревшие калориферные трубы. Этому способствует неисправность искрогасящих устройств в топке и загрязненность сажей поверхности боронов и каналов.

В практике наблюдались случаи воспламенения хлопка в сушильном барабане от искр, проникающих в калориферную камеру из дымового канала через трещины в поду и обмуровке воздухоподогревателя.

Искры могут возникнуть в калориферной камере также и вследствие попадания в нее вместе с подсасываемым воздухом

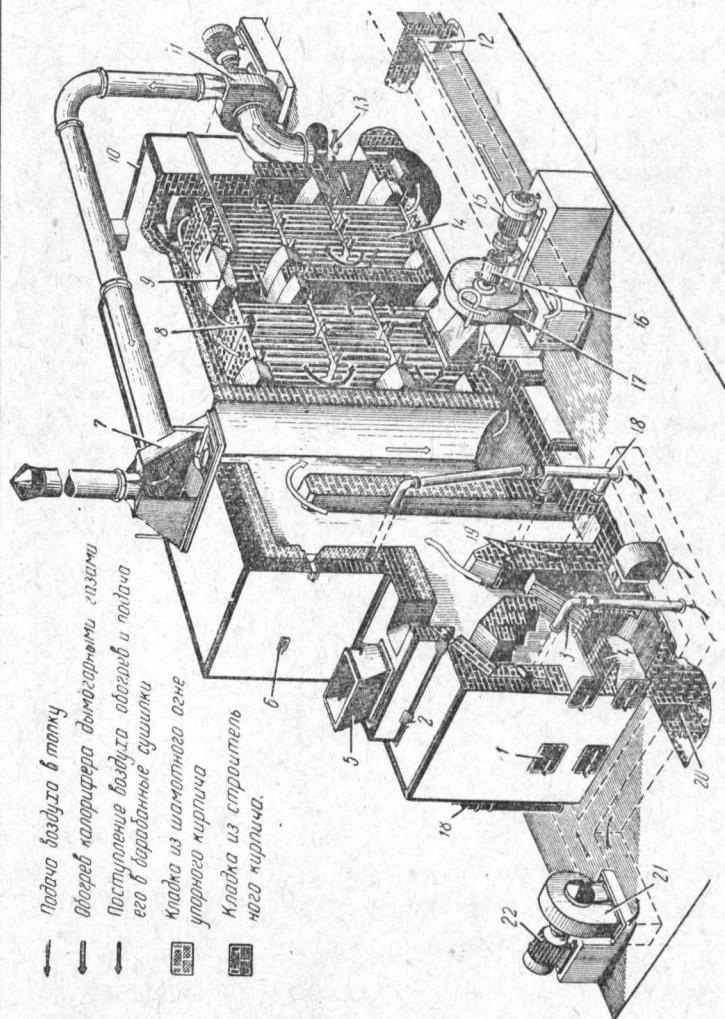


Рис. 15. Принципиальная схема двухтопочной печи с calorifierами
 1 — топочная дверка; 2 — люк шуровочный; 3, 4 — колосники; 5 — бункер загрузочный; 6 — смотровое окно; 7 — основание трубы с искроуловителем; 8 — опорные балки; 9 — стяжные болты; 10 — каркас топки; 11 — дымосос; 12 — канал для подачи горячего воздуха к сушильным барабанам; 13 — шибер; 14 — трубы calorifiera; 15 — электродвигатель; 16 — подшипники с водяным охлаждением; 17 — вентилятор; 18 — трубопровод подачи воздуха в топку; 19 — сопло; 20 — канал для подачи воздуха в топку; 21 — вентилятор; 22 — электродвигатель

хлопковой пыли из-за отсутствия или неисправности фильтрационных сеток на всасывающих отверстиях.

Хлопок может загореться и от искр, образующихся при задевании неподвижного кожуха вращающимся барабаном. Это может произойти при неправильном монтаже барабана в кожухе.

Хлопок может воспламениться и в результате длительного воздействия на него теплоносителя, имеющего температуру 250—300°.

Воспламенение наиболее вероятно при задержке хлопка на выходе из барабана.

Бывают случаи заноса горячим воздухом частичек высушенного хлопка в пространство между барабаном и его кожухом.

В практике имелись случаи воспламенения отходов хлопка-сырца, осевших на наружной стороне неизолированного горячего металлического кожуха барабана.

Пожарнопрофилактические мероприятия для воздушных сушилок с дымогазовыми калориферами: обеспечение исправности топочного устройства, осадительных камер, циклонов, боровов, каналов и калориферов; периодическая их очистка от сажи и золы; поддержание чистоты циркулирующего через калориферы наружного воздуха; проверка надежности теплоизоляции металлического кожуха сушильного барабана; обеспечение исправности вентиляторов и дымососов; поддержание заданной температуры в сушилках.

Все обнаруженные щели и неплотности вокруг калориферных труб, в перемышках и стенах боровов и каналов под калориферами должны немедленно заделываться. Щели в стенах и сводах печи, ее осадочных камерах, циклонах-искроуловителях, в месте установки растопочной трубы, неплотности вокруг загрузочного бункера должны зачеканиваться асбестом и оштукатуриваться сверху. На всасывающих воздушных отверстиях калориферов, для улавливания пыли должны быть установлены исправные сетки. В процессе работы сушилки сетки необходимо чистить от пыли не реже, чем через 2 часа. Перед чисткой сетки снимаются с отверстий калориферных камер и на их место ставятся очищенные.

Трубы калориферов необходимо очищать от сажи через каждые 4—5 суток.

Перед пуском топочных устройств рекомендуется проверить состояние и исправность всех механизмов, вентиляторов и дымососов, электродвигателей, наличие воды в охлаждающей системе и смазки в подшипниках редукторов.

Перед растопкой печи все газоходы необходимо продуть при помощи дымососа в течение 5 мин. для удаления продуктов неполного сгорания и предотвращения возможности взрыва при растопке.

Для контроля температуры дымовых газов и воздуха применяются контрольно-измерительные приборы, которые устанавливаются в топочном отделении (рис. 16). Обслуживающий персонал должен поддерживать нормальную температуру в топке и калори-

ферах, чтобы не допустить подачу в сушильные барабаны воздуха с температурой выше нормы. Во избежание загорания пыли и отходов высушиваемого материала наружные поверхности металлического кожуха сушильного барабана, калориферов, вентиляторов и воздуховодов горячего воздуха и дыма изолируются слоем асбослюда толщиной 60—80 мм по металлической сетке. Топка и оборудование должны в надлежащие сроки подвергаться профилактическому ре-

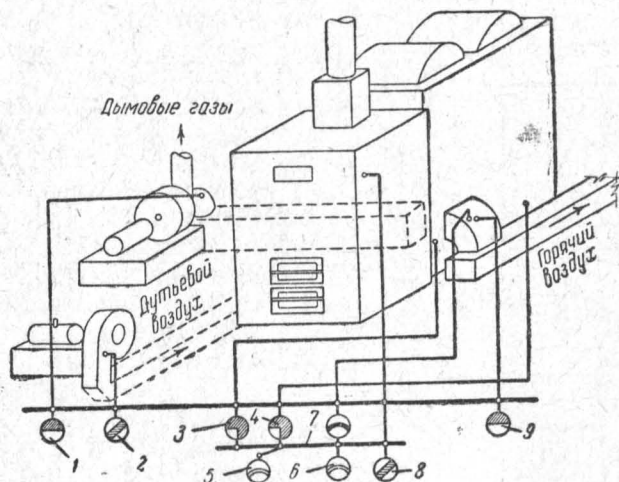


Рис. 16. Схема контроля параметров топочного пространства

1 — термометр технический; 2 — манометр U-образный; 3 — контроль температуры до 800°; 4 — контроль температуры до 600°; 5 — милливольтметр; 6 — термометр манометрический; 7 — щиток; 8 — тягомер; 9 — термометр технический

монту. Во избежание перегрева хлопка в сушильном барабане не допускается работа установки на воздухе с повышенной температурой и задержка хлопка на выходе из барабана.

3. Дымогазовые сушилки

Дымогазовые сушилки получили широкое распространение для сушки различных материалов и веществ, особенно древесины (строительной и технологической), зерна, льна, хлопка, тканей и т. п.

В качестве теплоносителя в этих сушилках применяется смесь топочных дымовых газов с воздухом, которая подается по каналам в сушильные камеры.

Дымогазовые сушильные камеры в основном строятся с принудительной циркуляцией газов без калориферов. Основными элементами таких сушилок являются топка, смеситель для получения смеси топочных газов и воздуха и сушильная камера (рис. 17).

Кроме того, еще встречаются газоогневые и комбинированные сушилки с огневым калорифером, расположенным внутри сушильной камеры. В текстильной промышленности применяются дымогазовые сушилки, в которых производится сушка тканей за счет тепла, получаемого при сжигании горючих газов.

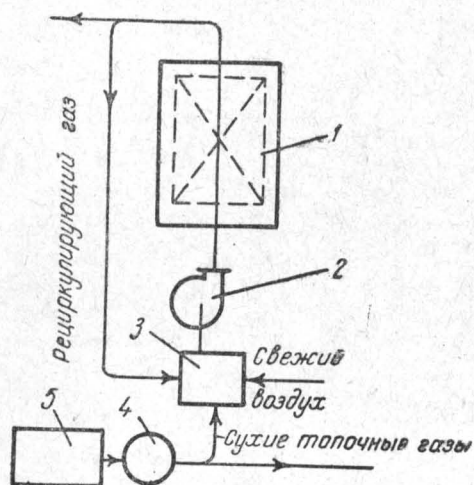


Рис. 17. Схема дымогазовой сушилки
1 — высушиваемый материал; 2 — вентилятор; 3 — смеситель; 4 — искроотделительный циклон; 5 — топка

По конструкции дымогазовые сушилки бывают камерные, ленточные, роликовые, барабанные, шахтные. Как и воздушные сушилки, они бывают периодического и непрерывного действия.

Рассмотрим принципиальное устройство дымогазовой сушилки, применяемой для сушки любых твердых материалов.

В дымогазовой сушилке периодического действия конструкции ВТИ (см. рис. 18б) топочные газы проходят осадочные камеры топки и искроотделительный циклон, очищаются от твердых несгоревших частиц и затем направляются в газораспределительный боров.

Из борава топочные газы подсасываются вентилятором в камеру смешения, куда одновременно поступают свежий воздух и рециркулирующий газ из сушильной камеры. Из камеры смешения газы с необходимой температурой нагнетаются в сушильную камеру или туннель. Порции смешиваемых газов (топочных и отработавших рециркулирующих) и свежего воздуха устанавливаются при помощи шибера по показаниям психрометра.

В дымогазовых сушилках одна топка может обеспечивать газом блок из 4—5 камер. Сушилки ВТИ получили распространение для сушки древесины и льняной тресты. Газовые сушилки хлопка и других сельскохозяйственных продуктов имеют те же основные элементы, только сушильная камера снабжена сетками.

Сушилки ВТИ для сушки льна и других сельскохозяйственных продуктов выполнены конвейерными с ленточным транспортером.

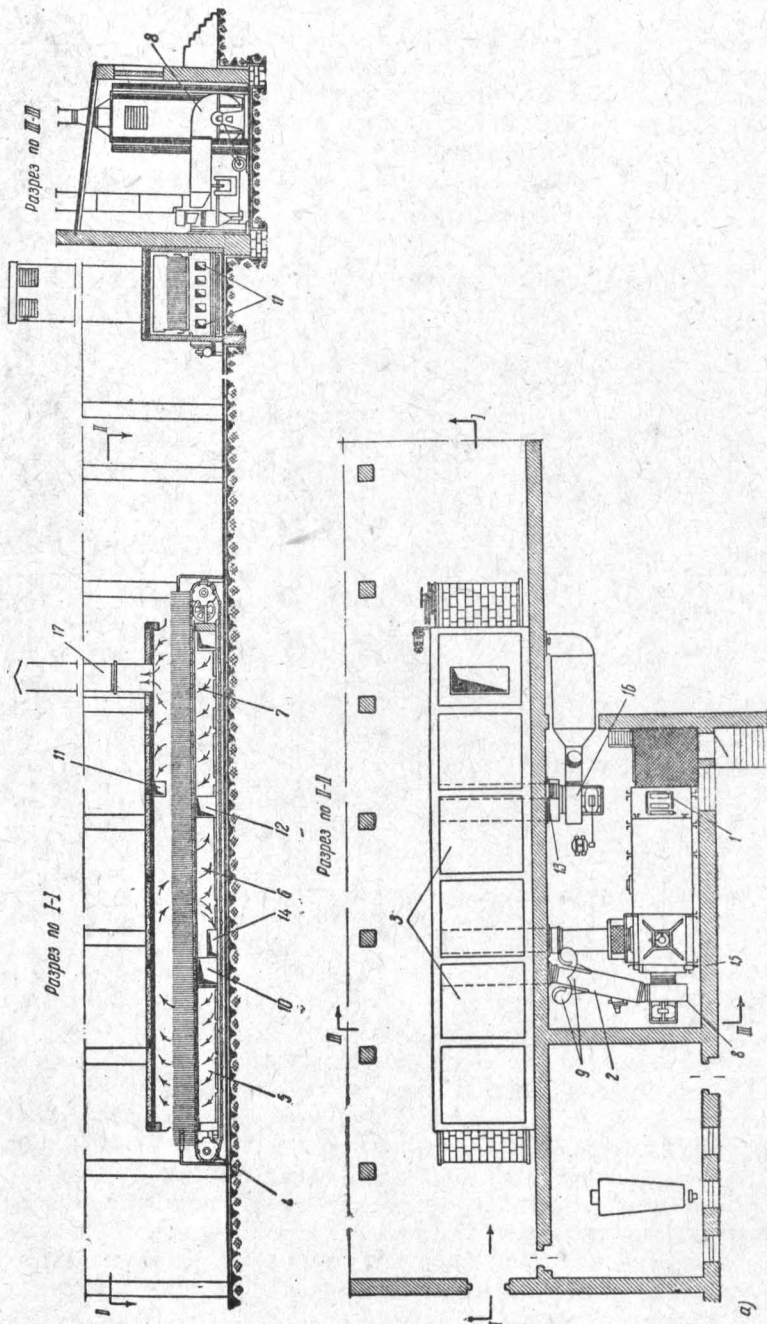


Рис. 18а. Сушилка ВТИ для сушки льна

1 — топочное устройство; 2 — вентиляционная система; 3 — тоннель; 4 — транспортер; 5 — нагревательная часть; 6 — отсасывающая часть; 7 — увлажняющая часть; 8 — вентилятор; 9 — циклоны-искрогасители;

10 — канал; 11 — раздаточное окно; 12 — канал; 13 — камера смешения; 14 — рециркуляционный канал; 15 — смесительная камера; 16 — вентилятор; 17 — шахта

Такая сушилка (рис. 18а) состоит из топочного устройства 1 с осадочными камерами и циклоном, вентиляционной системы 2 с жалюзийными циклонами и тоннели 3 с ленточным транспортером. Сушилка прямоточная с частичной рециркуляцией дымогазовой смеси. Тоннель выполняется из негоряемых материалов длиной около 19 м и шириной 3,5 м. Топка дымогазовой сушилки ВТИ показана на рис. 18 б.

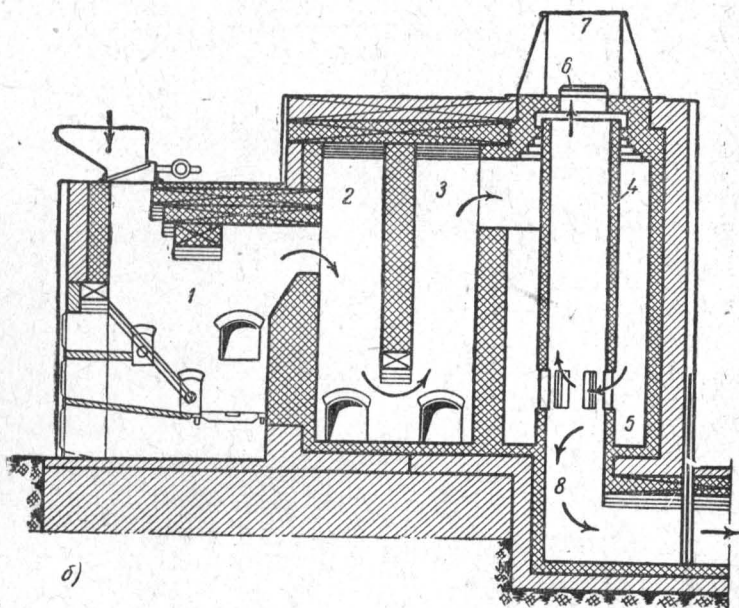


Рис. 18б. Топка дымогазовой сушилки ВТИ
1 — топочник; 2—3 — осадочные камеры; 4—5 — циклон;
6—7 — растопочная труба; 8 — бор

В зависимости от вида сырья температура дымогазовой смеси, поступающей в зону суши, поддерживается в пределах 95—100°.

Внутри тоннеля 3 проходит ленточный стальной транспортер 4, на который комлями вниз загружается треста. Тоннель под лентой транспортера разделен на три части: нагнетательную 5, отсасывающую 6 и увлажняющую 7.

Топочные газы, получающиеся в результате сжигания в топке костры, имеют температуру 1000—1100°. Для снижения их температуры топочное устройство имеет смесительную камеру, в которой дымовые газы разбавляются наружным воздухом до необходимой температуры. Рабочая смесь дымовых газов и воздуха вентилятором 8 по газоходу, оборудованному двумя жалюзийными циклонами —

искрогасителями 9, подается в канал 10 и из него через раздаточное окно 11 — под ленту транспортера и пронизывает снизу вверх тресту, находящуюся в зоне сушки. Затем газовая смесь в отсасывающей зоне 6 проходит через сырье сверху вниз и поступает по каналу 12 в камеру 13 для смешения с рециркуляционным воздухом, поступающим из зоны увлажнения 7. Остальная часть смеси по рециркуляционному

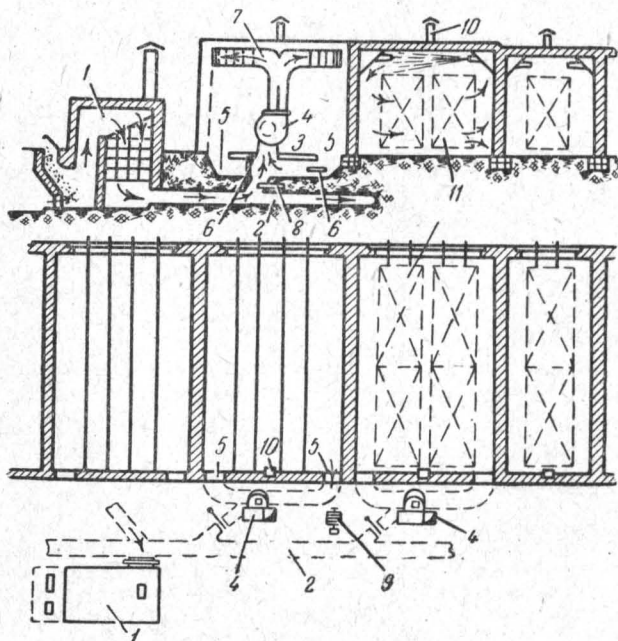


Рис. 19. Эжекционно-реверсивная сушилка ЦНИИМОД
1 — топка с искроотделительной камерой с решетчатыми стенками; 2 — газораспределительный боров; 3 — камера смешения; 4 — вентилятор; 5 — отсасывающие воздуховоды; 6, 7, 8 — регулирующие заслонки; 9 — электродвигатель; 10 — вытяжная труба; 11 — высушиваемый материал

каналу 14 поступает в смесительную камеру 15 циклона топки. Из камеры смешения 13 газовая смесь с парами воды отсасывается вентилятором 16 и выбрасывается через шахту 17 в атмосферу. Незначительная часть ее поступает на рециркуляцию для зоны увлажнения.

Широкое распространение для сушки древесины получили также эжекционно-реверсивные сушилки периодического действия конструкции ЦНИИМОД (рис. 19).

Сушилка состоит из топki 1 с искроотделительным устройством, газораспределительного борава 2, камеры смешения 3, вентилятора 4, отсасывающих воздуховодов 5, регулирующих заслонок 6, 7 и 8, электродвигателя 9 и вытяжной трубы 10.

Сушильные камеры выполняются шириной 5,4 м и длиной 14 м. Вентилятор располагается вне камеры. Вторым вариантом газовой эжекционно-реверсивной сушилки является камера с двумя парами осевых внутренних вентиляторов.

Температура газовой смеси перед поступлением в сушилку поддерживается в пределах 130—150°.

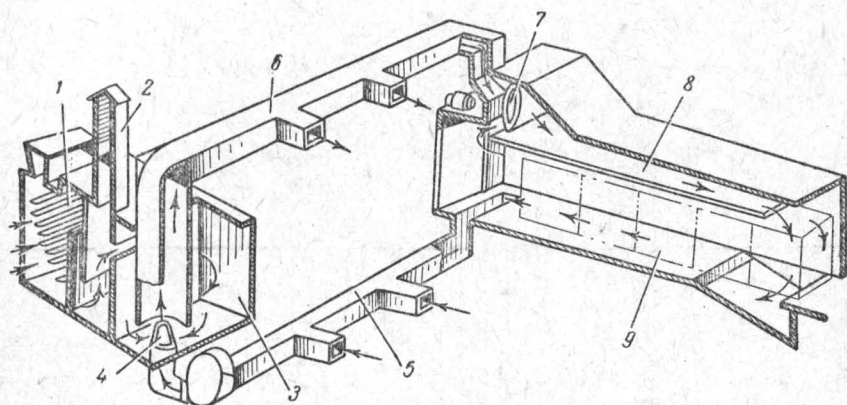


Рис. 20. Дымогазовая сушилка Союзтеплостроя
1 — топка; 2 — растопочная труба; 3 — искроотделительный циклон; 4 — эжектор; 5 — канал отработываемого газа; 6 — распределительный боров горячих газов; 7 — осевой вентилятор; 8 — рециркуляционный канал; 9 — высушиваемый материал

Наиболее экономически выгодными и распространенными являются дымогазовые сушилки непрерывного действия системы «Оптиум», Союзтеплостроя и ЦНИИМОД.

Сушилка Союзтеплостроя (рис. 20) состоит из топki 1, растопочной трубы 2, искроотделительного циклона 3 с эжектором 4, распределительного борава горячих газов 6, канала отработавшего газа 5, осевого вентилятора 7 и рециркуляционного канала 8, расположенного в сушильной камере, где размещаются штабеля 9.

Топочные газы поступают в сушилку из распределительного канала, расположенного над камерами, через отводы, оборудованные заслонками. Центробежный вентилятор, общий для всех камер, отсасывает отработавшие газы из сушилок, нагнетает их в камеру смешения, эжектируя в нужном количестве газ из топki, и вновь подает их в газораспределительный канал.

Пожарная опасность газовых сушилок. Газовые сушилки являются наиболее пожароопасными из всех видов сушилок.

В газовых сушилках концентрируется большое количество высушиваемого материала, особенно древесины, так как сушильные цехи обычно состоят из блоков, представляющих собой несколько (иногда десятки) сушильных камер непрерывного действия.

В дымогазовых сушилках наиболее вероятен перегрев и воспламенение высушиваемого материала от проникновения в зону сушки искр. Это особенно опасно при сушке волокнистых материалов.

При неисправности или выходе из строя вентилятора, подающего воздух для разбавления дымовых газов, в сушилку будет поступать большое количество перегретого топочного газа, что может вызвать пожар.

Перегрев высушиваемого материала в результате нарушения нормальной работы вентиляторного оборудования и режима работы топki является наиболее вероятной причиной пожаров в сушилках.

Топочные газы как теплоноситель могут нести с собой несгоревшие раскаленные частицы — искры, которые при попадании на высушиваемый и нагретый материал могут вызвать его воспламенение.

Искры могут проникнуть в сушильные камеры и вызвать загорание высушиваемого материала при некачественной работе искроулавливающих и искроотделяющих устройств (циклонов и осадочных камер).

Большую опасность представляет осаждение сажи в каналах, подающих дымовые газы в сушилку. Сажа загорается от искр, залетающих вместе с топочными газами. Накопление сажи в дымовых каналах происходит в результате нерегулярной их очистки.

Значительную опасность представляют огневые и газоогневые комбинированные сушилки, которые еще строятся для сушки небольших объемов древесины. Наличие огневых калориферов, отсутствие надежной системы искроотделения и гашения, а также недостаточный контроль нередко были причиной пожаров в таких сушилках.

При движении дымовых газов стенки борова могут нагреваться до температуры самовоспламенения древесины. Кроме того, в результате неравномерного нагрева борова на его стенках образуются трещины, через которые горячие газы и искры проникают в сушильную камеру и вызывают загорание древесины и отходов.

В газоогневых сушилках пожары имели место также в результате неисправности борова и отсутствия или неисправности металлических экранов, защищающих горячие поверхности от попадания на них сгораемых отходов.

Необходимо учитывать, что пожары в крупных сушильных цехах характеризуются быстрым распространением вследствие наличия большого количества сухого материала, высокой температуры,

отсутствия эффективных, в том числе автоматических установок пожаротушения и трудностей эвакуации высушиваемых штабелей.

Пожарнопрофилактические мероприятия в газовых сушилках в процессе их строительства и эксплуатации в основном осуществляются путем удаления излишней горючей среды, устранения источников воспламенения и предотвращения возможности распространения пожара.

В процессе эксплуатации сушилок необходимо систематически убирать сгораемые отходы, следить за целостностью и исправностью боровов, защитных экранов, искроулавливающих устройств, за исправностью и непрерывностью работы вентилятора и допускаемой температурой в сушильной камере, а также периодически в установленные сроки производить очистку боровов от сажи.

Особое внимание в дымогазовых сушилках должно быть обращено на защиту от проникновения в сушильную камеру искр и от перегрева высушиваемых материалов.

Во избежание попадания в сушильную камеру искр топки дымогазовых сушилок оборудуются различными искроулавливающими и искроотделительными устройствами: осадочными камерами, камерами догорания, отражательными плоскостями и циклонами.

В частности, топки сушилок ВТИ (см. рис. 18б) оборудованы двумя осадочными камерами 2 и 3 и кирпичным циклоном 4. Такое устройство имеют топки дымогазовых сушилок древесины, хлопка и льна. Осадочные камеры имеются почти во всех топках сушилок.

В осадочных камерах и кирпичном циклоне происходит догорание и улавливание несгоревших частиц, а также очистка топочных газов от золы. В сушилках льна третьей ступенью искрогашения служит жалюзийный циклон — искрогаситель, который устанавливается на нагнетательном газопроводе. Камеры жалюзийного искрогасителя соединены с двумя вертикальными циклонами, в которых улавливаются зола и искры.

Чтобы искры не увлекались потоками дымовых газов в сушилку, необходимо следить за тем, чтобы скорость движения газов в нагнетательном газопроводе и жалюзийном искроуловителе не превышала 15—20 м/сек.

В некоторых сушилках, например, Союзтеплостроя (см. рис. 20) искроотделительный циклон снабжается эжектором.

В целях лучшего догорания искр в некоторых конструкциях топок (см. рис. 19) искроотделительные камеры разделяются решетчатыми стенками с отверстиями, расположенными в шахматном порядке, что обеспечивает хорошее перемешивание газов и отделение твердых частиц в результате резкого изменения их направления. Из тех же соображений иногда между осадочной камерой и камерой смешения устанавливаются отражательные плоскости из профильных балочек, стержней или труб, которые располагаются в несколь-

ко рядов в шахматном порядке. Несгоревшие частицы ударяются об эти плоскости, истираются, охлаждаются и гаснут.

Вентилятор рекомендуется располагать перед сушильной камерой, чтобы он мог служить дополнительным искрогасительным устройством. Во избежание интенсивного искрообразования в топках необходимо применять только то топливо, на которое они рассчитаны.

Чтобы газоходы меньше засорялись сажей, необходимо обеспечивать полное сгорание топлива и не допускать подачи в сушилку задымленных топочных газов. Это достигается горением топлива с высоким коэффициентом избытка воздуха ($\alpha \geq 1,5$), что в газовых сушилках не приносит ущерба для к. п. д. топки. Однако коэффициент избытка воздуха должен быть ограничен, так как при снижении температуры в топке ниже 1000° ухудшается химическая полнота горения и возникает дым.

Догорание искр в осадочных камерах и кирпичном циклоне может хорошо протекать только при условии, если их стенки будут нагреты не ниже $700-750^\circ$.

Чтобы при включении в работу сушилки искры не попали в сушильную камеру, при разжигании топки и в период прогрева осадочных камер и циклона — искрогасителя (пока их стенки не нагреются до светло-красного цвета) продукты горения из топки выбрасывают через дымовую трубу в атмосферу.

В процессе эксплуатации сушилок необходимо следить за целостностью и исправностью печки, искроулавливающих устройств и боровов. Топочное пространство должно очищаться от золы и шлака один-два раза в смену. При этом необходимо открыть клапан растопочной трубы и закрыть шибер на канале горючих газов, чтобы искры не попали в сушилку.

Осадочные камеры и циклон очищаются не реже одного раза в неделю.

Обычно не реже одного раза в декаду производят наружный и внутренний осмотр стенок топки, осадочных камер и циклонов. Обнаруженные неисправности немедленно устраняются.

Во избежание перегрева высушиваемого материала в сушилках должна поддерживаться заданная безопасная температура. Например, при сушке льно-тресты температура не должна превышать $70-95^\circ$ в зависимости от ее влажности, а при сушке хлопка-сырца — 150° . Контроль температуры производится по показаниям контрольно-измерительных приборов.

Для поддержания заданной температуры необходимо применять автоматические регуляторы. Автоматическое поддержание заданной температуры и ограничение ее верхнего предела является важнейшим противопожарным мероприятием, устраняющим возможность перегрева и загорания высушиваемого материала.

Учитывая, что существующие газовые камеры не имеют увлажнительной системы, автоматическое регулирование температуры в

них осуществляется по температуре «сухого» термометра. Поскольку в сушилках непрерывного действия одна топка обслуживает несколько камер (обычно пять), проводят блочное регулирование температуры. В этих случаях шибер авторегулятора устанавливается перед вентилятором при выходе газов из топки, а датчик температуры — после вентилятора на потоке смеси двух газов: поступающих из топки и возвращаемых из камер.

Для газовых сушилок созданы специальные одноточечные релейно-шаговые авторегуляторы РША и многоточечные программные релейно-шаговые авторегуляторы типа РША-МП.

Релейно-шаговый регулятор (рис. 21) состоит из контактного чувствительного (показывающего) элемента — термометра 1 (типа КТМП) с магнитной головкой, промежуточного реле 2 на 24 в, реле переменного тока 3 (типа РПТ-100), исполнительного органа — электродвигателя 4 (сервомотора ПР-1) и регулирующего органа — шиберы 5. Исполнительные органы имеют концевые выключатели 6, упоры выключателей 7 и реле времени 8, периодически замыкающие электрическую цепь сервомотора при помощи электродвигателя 9 через передаточные шестерни 10 и контакты 11.

Дымовые продукты в сушилку направляются при помощи центробежного вентилятора 12.

Контактный термометр устанавливается на заданную температуру путем вращения магнитной головки.

При температуре, превышающей заданную, ртуть замыкает контакт и катушка промежуточного реле 2 получит питание постоянного тока в 24 в. Промежуточное реле замыкает свои контакты и включает переменный ток 220 в в катушку реле 3.

Реле 3 замыкает одну группу контактов и приводит в действие сервомотор 4 с направлением вращения на закрытие шиберы 5. Однако сервомотор 4 вращается и перемещает шибер газохода только в том случае, когда контакты реле времени 8 замкнуты. При разомкнутых контактах сервомотор неподвижен.

Если за период замыкания контактов у реле времени термометр не размыкает своего контакта (температура в газоходе еще превышает требуемую), то промежуточное реле 2 и реле 3 не изменяют положения своих контактов и пуск сервомотора произойдет по-прежнему на закрытие шиберы 5. Если же за время выдержки реле 8 температура падает ниже заданной и контактный термометр размыкает свой контакт, то реле 3 (через реле 2) замыкает нижний контакт и сервомотор включается в работу на открытие шиберы. Реле времени через определенное время включает каждый раз на несколько секунд сервомотор для открывания или закрывания шиберы. Последний перемещается на определенную величину, называемую шагом (20 сек. — работа, 280 сек. — остановка). Через каждые 5 мин. шибер перемещается вверх или вниз на 80,5 мм. Регулятор обеспечивает хорошую точность регулирования. Например, при колебании темпера-

туры в топке от 500 до 800° при ручном регулировании температура у вентилятора колеблется от 108 до 145°, а в камере от 80 до 90°. При автоматическом регулировании колебания температуры практически незаметны.

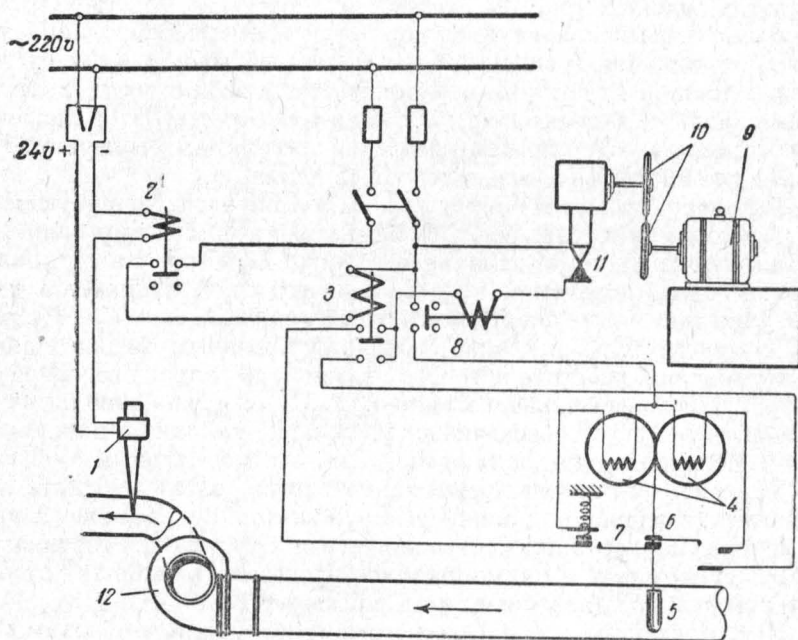


Рис. 21. Схема релейно-шагового регулятора

1 — термометр ртутный электроконтактный; 2 — промежуточное реле; 3 — реле переменного тока; 4 — электродвигатель; 5 — регулирующий шибер; 6 — концевые выключатели; 7 — упоры выключателей; 8 — реле времени; 9 — электродвигатель; 10 — передаточные шестерни; 11 — контакты; 12 — вентилятор

Разработан и испытан еще более совершенный релейно-шаговый многооточный программный регулятор режимов сушки РША-МП-14 с использованием полупроводниковых термо- и фотоспротивлений (ММТ-4 и ФСК-2). Регулятор обеспечивает поддержание температуры во времени по заданной программе во многих камерах сразу.

В настоящее время на ряде предприятий текстильной промышленности сушку тканей производят в сушильно-отделочных машинах смесью продуктов сгорания газа с воздухом, при температуре смеси 500—550°. Продукты полного сгорания, получаемые в горелках при беспламенном горении, перед подачей в сушилку смешиваются с воздухом.

Поскольку эксплуатация таких сушилок связана с пожарной опасностью (возможностью взрывов и загорания ткани), их оборудуют приборами автоматической защиты и регулирования, которые взаимно увязаны в единую систему.

Основными элементами автоматики безопасности и регулирования таких сушилок (рис. 22) являются термopapa 13, трехходовой электромагнитный клапан 8, мембранный пропорционирующий элемент 15, мембранный исполнительный орган 3, мембранный отсекательный клапан 2, датчики прекращения горения в топке в случае обрыва ткани 4, элементы сигнализации СПД-3, регулятор давления прямого действия 1, дилатометрический регулятор температуры 5, фильтр для воздуха 14, газо-воздушный клапан 6.

Термopapa является источником получения электродвижущей силы, необходимой для приведения в действие всей системы защитной автоматики. Пока горят запальная горелка 12 и горелка термopapы 11, в последней вследствие нагрева горячего спая возникает э. д. с., которая питает токoм электромагнитный клапан 8.

Электромагнитный клапан 8 является основным звеном защитной автоматики, действие которого увязано с запальной горелкой и с мембранным отсекательным клапаном 2. При горении запальных горелок электромагнит обеспечивает удержание клапана в нижнем открытом положении, создавая проход для газа к запальным горелкам. При прекращении нагрева термopapы действие электромагнита прекращается, а клапан под влиянием пружины займет верхнее закрытое положение, перекрыв поступление газа к запальным горелкам, и откроет проход газа в надмембранное пространство клапана-отсекателя, который под давлением газа закрывается.

При отсутствии автоматического регулирования необходимо постоянное наблюдение за температурой по показаниям контрольно-измерительных приборов. В этом случае целесообразно иметь стержневые сигнализаторы температуры.

При сушке хлопка (во избежание перегрева и загрязнения) его перемешивают на сетке 2—3 раза в цикл. Кроме того, следят за длительностью сушки. Сушка одной загруженной партии продолжается от 10 до 30 мин. в зависимости от начальной влажности.

Во избежание перегрева высушиваемых волокнистых материалов (при внезапной остановке вентилятора или транспортера сушилки) подачу теплоносителя немедленно прекращают и продукты горения выбрасывают из топki в атмосферу.

Пропорционирующий исполнительный элемент (механизм) 15 с мембранной коробкой 3 и дроссельными заслонками на газо- и воздухопроводе поддерживает постоянное по объему соотношение подаваемых в горелки газа и воздуха.

Отсекательный клапан 2 перекрывает подачу газа в горелки при прекращении поступления газа или воздуха, а также при обрыве ткани в сушилке и факелов запальной горелки и горелки термopapы.

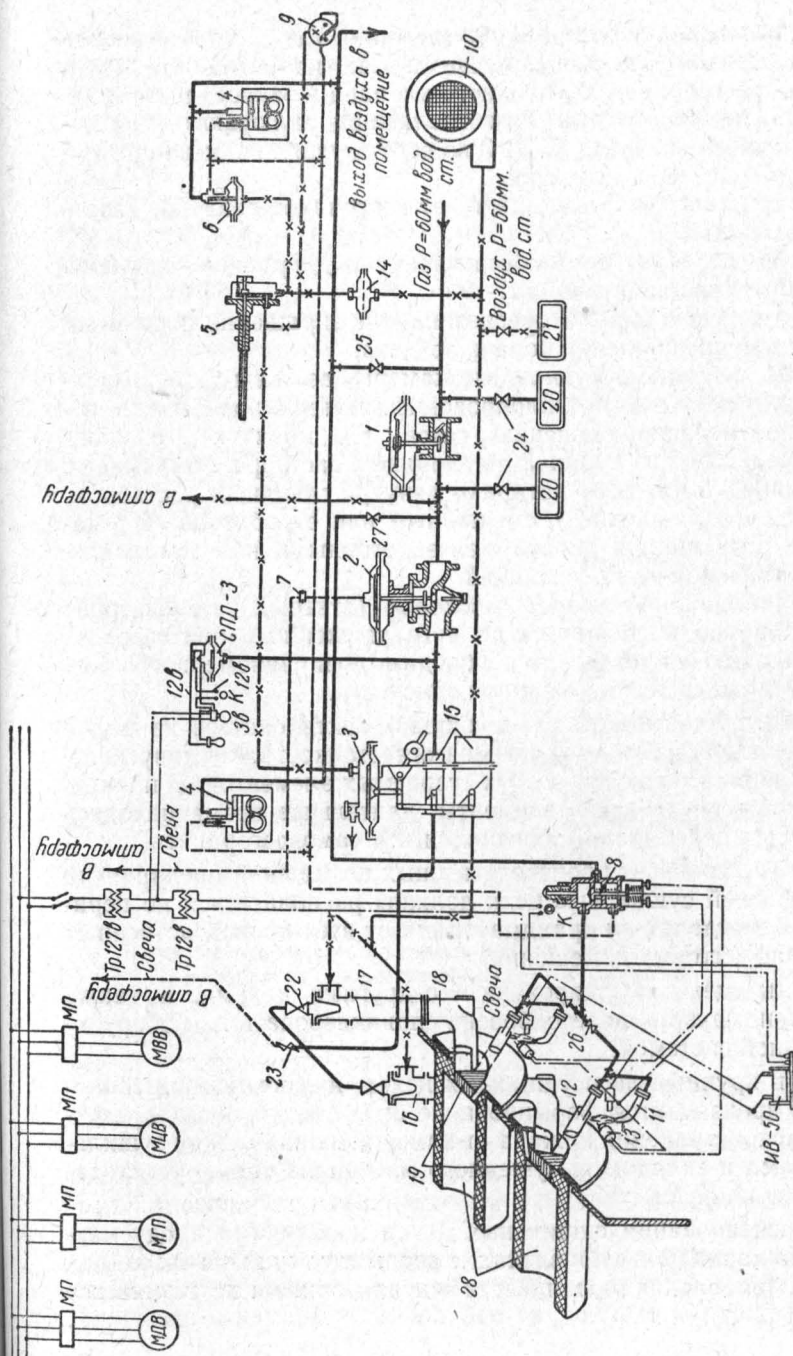


Рис. 22. Автоматика безопасности сушильно-отделочной машины тканей

1 — регулятор давления прямого действия; 2 — отсека-
тельный клапан; 3 — мембранный исполнительный ор-
ган; 4 — датчик прекращения горения в случае обрыва
ткани; 5 — dilatометрический регулятор; 6 — газовой-
душный клапан; 7 — дроссель; 8 — трехфазной электро-
магнитный клапан; 9 — кран временного выключения

горения; 10 — вентилятор; 11 — горелка термопары;
12 — запальная горелка; 13 — термопара; 14 — фильтр;
15 — пропорционирующий исполнительный механизм;
16 — смеситель; 17 — смесительная труба; 18 — колено с
глазком; 19 — решетка; 20—21 — напорометры; 22, 23,
24, 25, 26, 27 — краны; 28 — тоннельные горелки

Датчик выключения газа при обрыве ткани 4 представляет собой шестеренчатый насос, который в случае обрыва ткани откроет поступление газа на мембрану отсекающего клапана и закроет проход газа в горелку. Световая и звуковая сигнализации включаются при помощи мембранного элемента СПД-3 во всех случаях полного прекращения поступления газа в горелку.

Регулятор давления 7 поддерживает постоянное давление газа в газопроводе.

Регулятор температуры 5 обеспечивает поддержание заданной температуры в сушильной машине.

Газовоздушный клапан 6 обеспечивает прекращение подачи газа в горелку при прекращении подачи воздуха.

Газоходы, ведущие в сушильные камеры, должны быть выполнены герметичными, из малотеплопроводных материалов и иметь небольшое сопротивление движению газов. На практике газоходы обычно выкладывают из кирпича на глиняном растворе, обмазывают снаружи глиной и тщательно затирают изнутри глиняным раствором.

Газоходы с охлажденным, смешанным или отработавшим в камерах газом разрешается делать железобетонными или металлическими с обязательной теплоизоляцией.

Толщина стенок кирпичных газоходов (огневых калориферов) должна постепенно уменьшаться по пути движения в них газов от одного до половины кирпича, что необходимо для равномерного обогрева камеры и уменьшения пожарной опасности.

Газовые сушильные камеры должны проектироваться из несгораемых материалов не ниже II степени огнестойкости. Не допускается применение в камерах отдельных сгораемых элементов. В практике были случаи, когда такие элементы, длительное время находясь вблизи боровов, пересыхали, обугливались и самовозгорались.

При блокировке всех производственных помещений предприятий под одной крышей сушильные цехи должны располагаться по периметру здания и отделяться брандмауэрами от всех производственных и хозяйственно-бытовых помещений.

Сушильные цехи, сблокированные с другими цехами, а также проемы в брандмауэрах целесообразно спринклеровать или оборудовать дренчерной системой.

Иногда в крупных лесосушильных цехах на погрузочных площадках, где производится формирование штабелей, в целях предотвращения распространения пожара от камер к складу между сушильными камерами и складом высушенного материала также устраивается спринклерная система.

При проектировании сушильных цехов необходимо предусматривать вынос коридоров управления к периметру сушильных камер. В коридорах управления размещается вентиляторное и электрическое оборудование.

В процессе эксплуатации подшипники электромоторов и вентиляторов во избежание перегрева должны систематически проверяться и смазываться.

Двери, ведущие из коридоров управления в склад сухого материала, должны быть негоряемыми, с пределом огнестойкости не менее 1,5 часа.

В сушильных цехах запрещено пользоваться открытым огнем. Электросварочные и газосварочные работы проводятся только по специальному разрешению главного инженера предприятия.

Для облегчения условий тушения возникшего пожара необходимо следить за исправностью и герметичностью заслонок на вытяжных и выхлопных трубах.

4. Высокотемпературная сушка перегретым паром

Высокотемпературная сушка материалов перегретым паром является новым, экономически выгодным, перспективным и безопасным в пожарном отношении способом сушки.

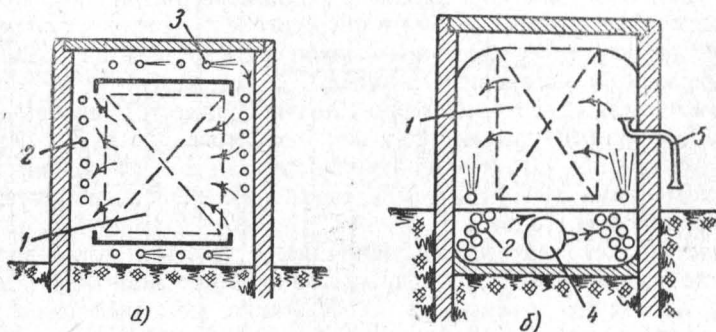


Рис. 23. Схема камеры для сушки перегретым паром
а — с паровыми эжекторами-побудителями; б — с эжекционно-реверсивной циркуляцией; 1 — высушиваемый материал; 2 — калориферы; 3 — паровые эжекторы; 4 — осевой вентилятор; 5 — напорная поворотная труба

В качестве теплоносителя здесь используется перегретый пар с температурой выше 100° , не содержащий воздуха. Такой пар является агентом сушки, так как его температура выше температуры насыщения при атмосферном давлении.

При сушке перегретым паром отпадают затраты тепла на подогрев свежего воздуха.

Перегретый пар получается в результате испарения влаги из материала, с последующим подогревом его до температуры выше 100° . Для этого в камере устанавливается мощный калорифер.

В начальный период сушки для ускорения прогрева материала в камеру впускается пар, который, пройдя через узкие отверстия в трубах, также становится перегретым.

В камере сушки осуществляется эжекционно-реверсивная циркуляция при помощи вентилятора и напорной поворотной трубы с насадками (рис. 23).

Камеры строят герметичными с малой теплопроницаемостью. При этом в процессе работы отпадает необходимость пуска пара внутрь камеры, так как пар образуется из влаги, испаряющейся из материала. Греющий калорифер при подаче в него пара давлением 4,5—5 *ати* обеспечивает поддержание в камере температуры до 110—115°. Для поддержания атмосферного давления камера соединяется с атмосферой патрубком диаметром 10—15 *см*.

5. Высокотемпературная сушка в жидкостях

В последние годы внедряются в практику новые методы высокотемпературной скоростной сушки древесины в органических жидкостях, маслах, петролатуме, расплавленной сере и т. п.

Рассмотрим процесс сушки в петролатуме — отходе, получаемом при очистке нефтяных смазочных масел и состоящем из смеси парафина, церезина и высоковязких масел.

При нормальной температуре (20°) петролатум представляет собой воскообразный продукт соломенно-желтого цвета. Температура плавления его 55—60°, температура вспышки 250°, температура самовоспламенения 340°. При температуре 100—120° петролатум находится в жидком состоянии.

Сушка в петролатуме по сравнению с другими методами обладает рядом преимуществ, основными из которых являются быстрый прогрев древесины и меньшее пересыхание поверхностных слоев. Сушка в петролатуме осуществляется в 20 и более раз быстрее камерной. Например, хвойные доски толщиной 40—45 *мм* сушатся за 8 часов вместо 7—8 суток, бруски сечением 100×100 *мм* за 22—24 часа.

Безвозвратный расход петролатума в среднем составляет 20—25 *кг* на 1 *м*³ древесины.

Весьма существенным преимуществом сушки в петролатуме является возможность совмещать сушку с пропиткой антисептиками по методу горяче-холодных ванн.

Недостатками данного способа сушки являются загрязнение, значительные внутренние напряжения, некоторая потеря прочности материала, значительный расход петролатума и увеличение пожарной опасности высушиваемого материала.

Установка для сушки в петролатуме отличается сравнительной простотой и легкостью обслуживания (рис. 24). Она состоит из погруженной в котлован металлической (стальной) ванны 1 с калори-

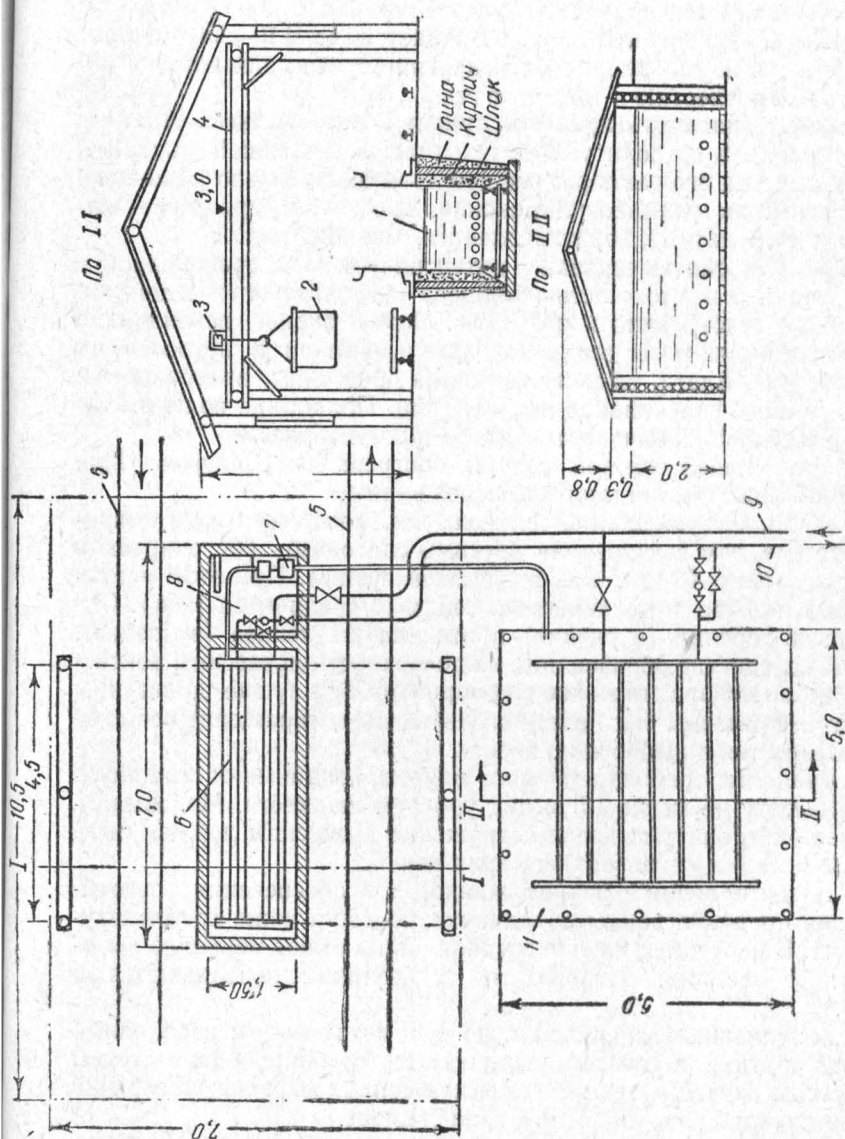


Рис. 24. Установка для сушки в петролатуме
 1 — ванна с петролатумом; 2 — контейнер с пилломатериалом; 3 — тельфер; 4 — балки для тельферов; 5 — узкоколейные пути; 6 — трубный калорифер; 7 — насос для перекачки петролатума; 8 — приемок; 9 — паровая труба; 10 — конденсационная труба; 11 — хранилище петролатума с паровым подогревателем

фером 6 и хранилища петролатума 11, также оборудованного калорифером. Над ванной монтируют два тельфера 3 для подъема и опускания в ванну контейнера 2 с пиломатериалом.

В процессе сушки петролатум нагревается до 110—140° паром, циркулирующим через калорифер. В других случаях для нагрева используют электроэнергию и топочные газы.

Пожарная опасность процесса сушки в петролатуме. Процесс сушки древесины в петролатуме не представляет большой пожарной опасности, так как его температура при этом значительно ниже температуры вспышки и самовоспламенения. Кроме того, древесина, высушенная в петролатуме, горит медленнее, чем обычная.

Основная опасность связана с интенсивным пенообразованием в процессе сушки и возможностью выброса петролатума из ванны на ограждающие конструкции и покрытие. Особо бурное вспенивание происходит при сушке сырого материала и наличии в петролатуме влаги более 3%. Влага, выделяющаяся из древесины, превращается в пар и вызывает вспенивание петролатума. Попадание воды в ванну с петролатумом заканчивается его бурным выбросом.

Наиболее опасен огневой способ обогрева петролатума. При этом способе может иметь место перегрев ванны.

Древесина, высушенная в петролатуме, воспламеняется значительно быстрее, чем высушенная другими способами (от спиртовки через 3 сек. вместо 10 сек. при воздушной сушке). При этом увеличивается количество выделяющегося тепла (в среднем на 10%). Однако процесс горения (и тление) протекают медленнее (в среднем в 1,5 раза) вследствие образования на поверхности древесины кокса.

Пожарнопрофилактические мероприятия при сушке древесины в петролатуме должны быть направлены на предотвращение возможности вспенивания и выброса жидкости.

Учитывая эти требования, края ванн приподнимают (наращивают) на высоту не менее 1,5 м над уровнем жидкости. Максимальный уровень петролатума после погружения древесины должен быть не менее чем на 1 м ниже верхнего края ванны.

Для предотвращения разлива жидкости и обеспечения постоянного уровня продукта ванны объединяют по две и даже по три штуки в группе. В последнем случае средняя ванна имеет меньшую высоту стенок и излишки петролатума из крайних переливаются в среднюю.

Для локализации вспенивания по периметру ванны необходимо устраивать бортики, в которых размещаются трубопроводы с глухим паром. В этом случае пузырьки пены при соприкосновении с горячей поверхностью труб разрушаются и пена спадает.

Для отвода скапливающегося конденсата в днище ванны устраиваются водоспускные краны. Выгрузка древесины из ванн должна производиться по окончании процесса сушки (при отсутствии пены), при температуре около 130°, что обеспечивает хороший сток петрола-

тума с высушиваемого материала. После извлечения из ванны контейнер с древесиной должен быть поставлен на 4—5 мин. в наклонное положение для лучшего стока петролатума обратно в ванну.

Добавку петролатума в ванну по мере его расходования разрешается производить только после предварительного его подсушивания в специальных баках.

Установка для сушки должна размещаться в отапливаемых помещениях не ниже II степени огнестойкости. В холодных помещениях на поверхности петролатума образуется корка, которая препятствует выходу воздуха и паров и может быть причиной выброса продукта.

В процессе сушки материала температура жидкости контролируется при помощи манометрических термометров или электронных приборов (мостов и потенциометров).

Ванны целесообразно закрывать откидными несгораемыми крышками, что уменьшает затраты тепла, защищает от попадания посторонних предметов и при возникновении пожара будет ограничивать процесс горения.

Помещения сушилок должны оборудоваться надежной системой вентиляции.

При обогреве ванны дымовыми газами топка должна размещаться за пределами сушилки. При этом во избежание соприкосновения досок с нагретыми поверхностями внутри ванны размещаются горизонтальные решетки на высоте 12—15 см от дна.

Помещения, в которых производится первоначальная обработка высушенной в петролатуме древесины, необходимо тщательно очищать от пожароопасных отходов.

Тушение ванны с горящим петролатумом может производиться распыленной водой или пеной с достаточной кратностью и интенсивностью подачи или углекислым газом. Внутренние пожарные краны должны быть снабжены распылителями.

IV. КОНТАКТНЫЕ ВАКУУМ-СУШИЛКИ

В качестве примера контактных сушилок рассмотрим назначение и принцип действия вакуум-сушилок, как наиболее интересных с точки зрения пожарной безопасности.

Вакуум-сушилки работают при разрежении и предназначены для сушки материалов, которые не переносят высоких температур или подвержены окислению. Они также применяются для сушки взрывоопасных материалов и материалов, склонных к пылеобразованию и выделяющих пары, которые необходимо улавливать. Вакуум-сушилки позволяют интенсивно сушить материал при соприкосновении его с горячей поверхностью (плитами, змеевиками, стенками рубашки и т. п.).

Работа таких сушилок не зависит от атмосферных условий, и расход тепла в них ниже, чем в атмосферных сушилках, благодаря чему они получили широкое распространение в химической промышленности. Величина вакуума доводится до 99% (остаточное давление 5—6 мм рт. ст.), а температура до 115—130° в зависимости от вида материала.

Вакуум-сушилки состоят из собственно сушилки, конденсатора и вакуум-насоса. Они бывают также периодического и непрерывного действия. Наиболее распространены цилиндрические барабанные сушилки с обогреваемыми плитами или змеевиками, цилиндрические сушилки с мешалкой и вальцовые. Трубочатые нагреватели одновременно выполняют и роль мешалки.

Вакуум-сушилки с мешалкой применяются для сушки материалов, чувствительных к высоким температурам, так как при их перемешивании меньше опасность перегрева.

Такая сушилка (рис. 25) состоит из корпуса 1 с паровой рубашкой 2 и горизонтальной мешалкой 3. Гребки мешалки насажены на квадратный вал, причем одна половина гребков имеет правое направление, а другая — левое.

Привод мешалки 4 снабжен автоматическим переключателем, меняющим направление вращения вала сушилки через каждые 8 мин.

В тех случаях, когда высушиваемый материал не выдерживает длительной сушки и высоких температур, применяются вальцовые вакуум-сушилки. Вальцы заключены в герметически закрытый кожух, в котором при помощи конденсатора и вакуум-насоса создают разрежение.

Вальцы представляют собой полые барабаны, которые изнутри обогреваются паром. Высушенный материал снимается с вальцов ножами.

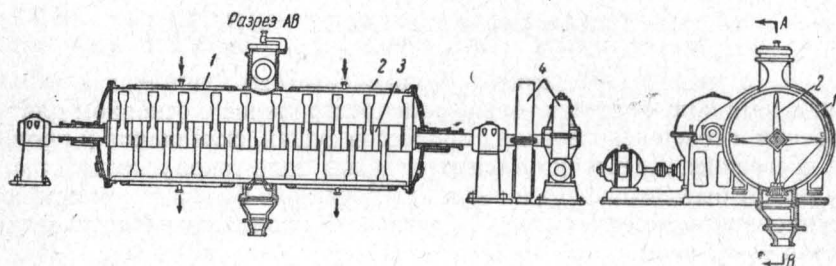


Рис. 25. Контактная вакуум-сушилка
1 — корпус; 2 — паровая рубашка; 3 — горизонтальная мешалка;
4 — привод

Особенностью вакуумных сушилок является неодинаковая скорость сушки материала в разные периоды. Интенсивное удаление влаги происходит в первый период, когда температура материала близка к температуре кипения воды (или растворителя) при данном вакууме. Во второй период температура материала повышается, приближаясь к температуре теплопередающей поверхности. При этом скорость сушки падает и материал может быть перегрет. Во избежание этого необходимо в данный период снижать давление пара. Из тех же соображений материал обычно не сушат до низкой конечной влажности.

Поскольку в вакуум-сушилках сушат наиболее пожароопасные продукты, то особое внимание должно быть обращено на полную герметичность корпуса сушилки во избежание подсоса воздуха и последующего окисления или воспламенения продукта. Наряду с вакуум-сушилками сушку окисляющихся и взрывоопасных веществ производят в потоке инертного газа (обычно азота).

V. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СУШИЛКИ

Диэлектрический нагрев в высокочастотных сушилках в настоящее время получил значительное распространение в основном для ускорения и совершенствования процессов сушки, склеивания и пропитки древесины. Древесина в электрическом поле токов высокой частоты может быть высушена в десятки и сотни раз быстрее, чем при конвекционной камерной сушке. Практически продолжительность сушки равна 4—6 часам.

По своей физической природе диэлектрический нагрев является молекулярным и характеризуется выделением тепла непосредственно внутри нагреваемого материала равномерно по всему объему. Прогрев древесины по всей толщине ее происходит одновременно, практически до 80—100°C.

В электрическом поле высокой частоты материал для нагрева помещается между двумя или несколькими металлическими пластинами (электродами), присоединенными к ламповому генератору.

Такое размещение образует по существу конденсатор, диэлектриком в котором является высушиваемый материал, разделяющий электродные пластины. К электродам, представляющим собой сплошные листы алюминия, меди, оцинкованной стали или крупноячеистую сетку, подводится ток высокой частоты с напряжением до нескольких тысяч вольт. Приложенное к электродам напряжение создает в толще материала электрическое поле высокой частоты. Выделение тепла в диэлектрике происходит в результате следующих физических явлений.

1. Электропроводности, обусловленной передвижением ионов (ионный ток) за счет тепловой диссоциации ионов или примесей, обычно влаги.

2. Дипольной поляризации, обусловленной поворотом дипольных молекул, обладающих электрической несимметрией. В результате воздействия высокочастотного электрического поля на дипольные молекулы создается дополнительный электрический момент, вызывающий их вибрацию и как следствие этого — нагрев материала.

3. Структурной поляризации, характеризующейся смещением диполей и ионов в ограниченном объеме с возникающими при этом соударениями, вызывающими выделение тепла.

Таким образом, выделение тепловой энергии в объеме материала происходит в результате поляризации диэлектрика и токов проводимости, т. е. диэлектрических потерь

$$P = 0,55 f E^2 \varepsilon \operatorname{tg} \delta 10^{-12} \text{ вт/см}^3,$$

где f — частота тока в гц ;

E — напряженность тока в вольт/см ;

ε — диэлектрическая проницаемость нагреваемого материала;

$\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла потерь нагреваемого материала $\delta = 90^\circ - \varphi$;

φ — сдвиг фаз между плотностью тока и напряженностью.

Из уравнения видно, что интенсивность диэлектрического нагрева не зависит от размеров (в частности, толщины) и теплопроводности нагреваемого материала.

Скорость нагрева материала в поле токов высокой частоты зависит от напряженности поля E вольт/см , частоты тока f и свойств высушиваемого материала (диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла потерь $\operatorname{tg} \delta$). Чем больше E и f , тем быстрее происходит нагрев материала.

Из формулы видно, что при определенных значениях f и E интенсивность диэлектрического нагрева определяется величинами ε и $\operatorname{tg} \delta$, зависящими от физических и химических особенностей материала, частоты тока и температуры.

На скорость прогрева древесины оказывает влияние ее влажность. Влажный материал прогревается быстрее, чем сухой, но нагрев древесины выше 100° происходит лишь при уменьшении влажности ниже 30 %. Пока в древесине есть свободная влага, тепло затрачивается на ее испарение; когда остается только связанная влага, интенсивность испарения сокращается и избыток тепловой энергии идет на дальнейшее повышение температуры материала.

Несмотря на равномерность прогрева древесины по всей толщине, практически температура по ее сечению не одинакова, так как поверхность охлаждается из-за теплопотерь в окружающую среду и испарения влаги.

Чем ниже температура окружающей среды и чем толще материал, тем больше перепад температуры между внутренними и поверхностными сечениями древесины.

Следовательно, перемещение влаги в материале при сушке в поле ТВЧ происходит за счет перепада влажности и перепада температуры. Это обстоятельство и является основной причиной резкого сокращения продолжительности сушки. Кроме того, при сушке в поле ТВЧ внутренние напряжения в древесине меньше чем при камерной

сушке, что объясняется меньшими перепадами влажности по толщине материала, а также повышенной пластичностью материала, нагретого до более высокой температуры.

Таким образом, положительными моментами при сушке древесины в поле ТВЧ являются:

1) быстрый прогрев материала и значительное сокращение продолжительности сушки;

2) возможность легко регулировать температурный перепад между внутренними и наружными слоями материала, уменьшение внутренних напряжений и опасности растрескивания при сушке.

В промышленных условиях продолжительность сушки в значительной мере определяется мощностью высокочастотной установки и объемом загружаемого в сушилку материала.

Минимальная продолжительность сушки определяется по следующей формуле:

$$Z_{\min} = \frac{PM_1O}{N} \text{ часов,}$$

где P — удельный расход электроэнергии в $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ испаряемой влаги (при высокочастотной сушке P ориентировочно принимается равным от 2,5 до 3,5 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$, а при комбинированном паровысокочастотном способе сушки — от 1 до 1,5 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$);

M_1 — количество влаги, испаряемой из одного кубометра древесины, в $\text{кг}/\text{м}^3$;

O — объем загружаемого материала в м^3 ;

N — полная мощность генератора по расходу электроэнергии из сети в кВт ;

$$M_1 = 10\gamma_{\text{усл}}(W_n - W_k) \text{ в } \text{кг}/\text{м}^3.$$

Здесь W_n , W_k — соответственно начальная и конечная влажность в %;

$\gamma_{\text{усл}}$ — объемный вес высушиваемого материала в $\text{т}/\text{м}^3$.

Для примера определим продолжительность сушки сосновых досок толщиной 50 мм и объемом 5 м^3 при условии, что N равно 85 кВт , начальная влажность $W_n = 70\%$, конечная $W_k = 10\%$, $\gamma_{\text{усл}} = 0,43 \text{ т}/\text{м}^3$, удельный расход электроэнергии $P = 1,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$.

Решение. $M_1 = 10 \cdot 0,43 (70 - 10) = 258 \text{ кг}/\text{м}^3$,

$$Z_{\min} = \frac{1,5 \cdot 258 \cdot 5}{85} = 23 \text{ часа.}$$

В дальнейшем в процессе развития сушки древесины в поле ТВЧ возник комбинированный способ сушки. При этом способе целиком используется обычное паровентиляторное оборудование сушильной

камеры и достигается значительная экономия электроэнергии, так как теплотери покрываются более дешевой энергией пара.

Комбинированный способ считается единственным практически приемлемым способом сушки с использованием ТВЧ. При этом продолжительность сушки сокращается в 2—5 раз.

Общая схема высокочастотной установки для диэлектрического нагрева и сушки древесины приводится на рис. 26.

Установка состоит из повышающего анодного трансформатора 1, трехфазного двухполупериодного выпрямителя 2, лампового генератора 3 и рабочего конденсатора с нагреваемым материалом 4.

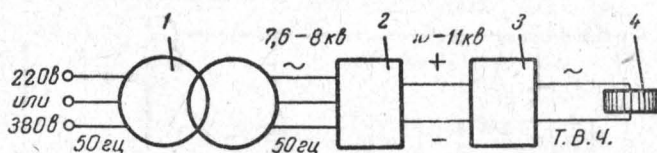


Рис. 26. Схема высокочастотной сушилки:
1 — повышающий анодный трансформатор; 2 — выпрямитель; 3 — ламповый генератор; 4 — рабочий конденсатор с нагреваемым материалом

Схема коротковолнового генератора типа ЛГЕ-ЗБ, широко используемого в деревообрабатывающей промышленности, показана на рис. 27.

Напряжение трехфазной сети 220 или 380 в подводится к анодному трансформатору, который повышает его до 3700 в, и далее подается на трехфазный двухполупериодный газотронный выпрямитель, дающий на выходе напряжение 5000 в (на схеме не показано). После выпрямителя напряжение подается на анод генераторной лампы 1 через проходной конденсатор 14 и анодный дроссель 3, защищающий питающую сеть от высокочастотных колебаний. Высокочастотные колебания, проникающие через дроссель 3, шунтируются на землю через конденсатор 15.

Напряжение для накала генераторной лампы (12,6 в) от трансформатора накала 2 подводится к катоду лампы через проходной конденсатор 15. Второй полюс накала заземляется. Цепь сеточного тока генераторной лампы образована стопорным дросселем 11, антипаразитным сопротивлением 12, проходным конденсатором 16, сопротивлением утечки 17 и амперметром 19, включенным последовательно. Один полюс амперметра заземляется.

Генераторная лампа 1 возбуждает колебания высокой частоты в контуре, состоящем из индуктивности 6, конденсатора переменной емкости 7, рабочего конденсатора 8 и междуэлектродной емкости самой лампы.

Обратная связь (самовозбуждение) осуществляется контуром, состоящим из емкости 10, плавнорегулируемой индуктивности 9 и междуэлектродной емкости «сетка-катод».

Высокочастотный импульс анодного тока поступает в колебательный контур через разделительные конденсаторы 4, которые защищают рабочий конденсатор от проникновения на его пластину постоянного тока высокого напряжения. Дроссель 13 предупреждает попадание рабочего конденсатора под постоянное анодное напряжение при аварийном пробое разделительного конденсатора 4.

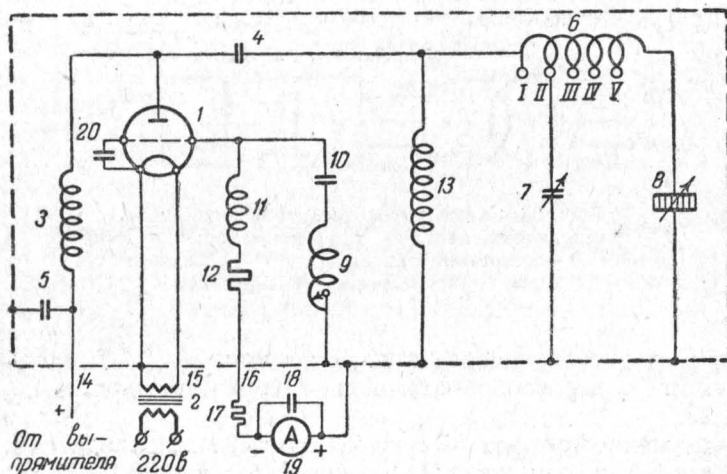


Рис. 27. Схема коротковолнового генератора ЛГЕ-3Б

1 — генераторная лампа; 2 — трансформатор накала; 3 — анодный дроссель; 4 — разделительный конденсатор; 5 — конденсатор; 6 — катушка самоиндукции; 7 — конденсатор переменной емкости; 8 — рабочий конденсатор с высушиваемым материалом; 9 — регулируемая индуктивность; 10 — конденсатор; 11 — стопорный дроссель; 12 — сопротивление; 13 — дроссель; 14 — подвод напряжения; 15—16 — проходные конденсаторы; 17 — сопротивление утечки; 18 — конденсатор; 19 — амперметр; 20 — конденсатор

Напряжение на рабочем конденсаторе 8 регулируется путем изменения расстояния между его пластинами и при помощи конденсатора переменной емкости 7, который в зависимости от свойств высушиваемого материала и параметров рабочего конденсатора переключается к одной из пяти контактных точек катушки самоиндукции 6.

Перед включением генератора к аноду лампы подается охлаждающая вода и закрывается дверца, связанная с механической и электрической блокировкой безопасности.

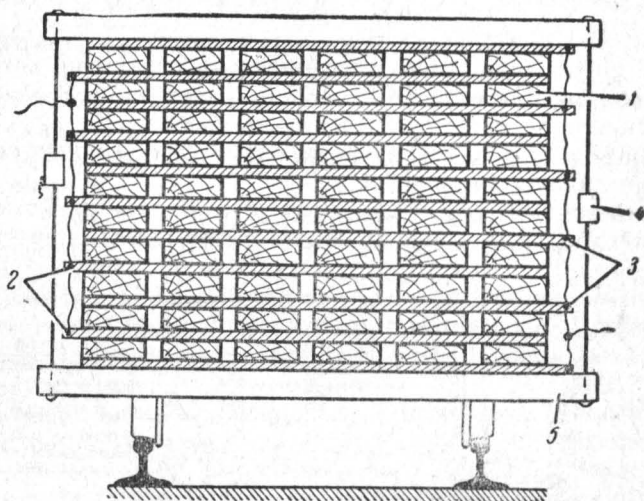


Рис. 28. Контактное размещение электродов в штабеле
1 — пиломатериал; 2—3 — электродные сетчатые пластины; 4 — винтовые стяжки; 5 — подштабельная вагонетка

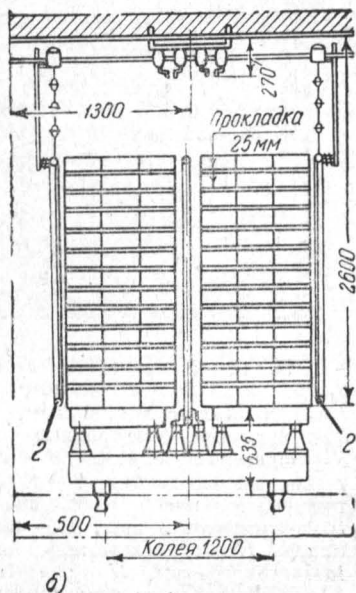
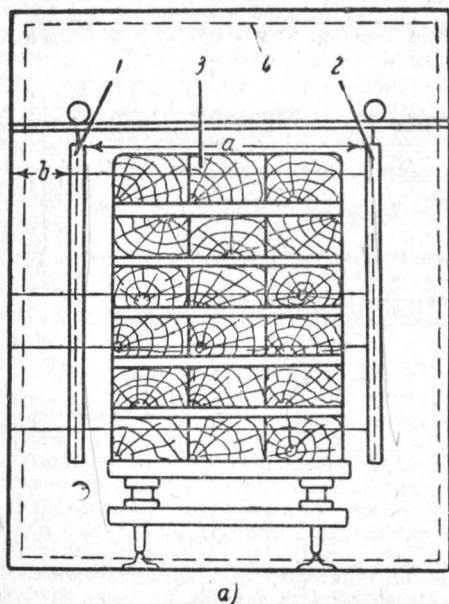


Рис. 29. Размещение материала между вертикальными сетчатыми электродами

a — между двумя электродами; *b* — между тремя электродами; 1, 2 — электроды; 3 — материал; 4 — заземленная экранировка камеры

Кроме ручного управления, схемой предусмотрено автоматическое выключение нагрева через заданный промежуток при помощи реле времени.

Для нагрева материала крупных размеров применяются генераторы средневолнового диапазона.

Рабочий конденсатор представляет собой тележку с высушиваемым материалом, размещенным между электродными пластинами.

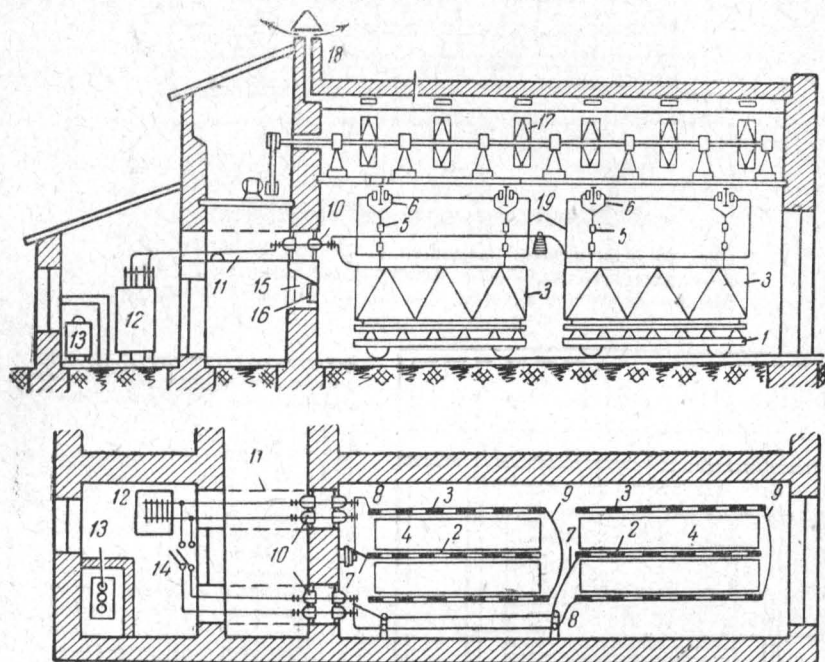


Рис. 30. Комбинированная сушилка с диэлектрическим и конвективным нагревом

- 1 — вагонетка с материалом; 2 — стационарная электродная пластина; 3 — подвесные электродные пластины; 4 — высушиваемый материал; 5 — подвесные изоляторы; 6 — монорельс; 7 — шинопровод, присоединяемый к средним электродам; 8 — шинопровод, присоединяемый к боковым электродам; 9 — шины, соединяющие боковые электроды; 10 — изоляторы; 11 — экранировка шин; 12 — высокочастотный генератор; 13 — трансформатор; 14 — переключатель нагрева штабелей; 15 — окна наблюдения; 16 — психрометры; 17 — реверсивные вентиляторы; 18 — приточно-вытяжные воздуховоды; 19 — воздушные экраны

Контактное размещение электродных сетчатых пластин непосредственно в штабеле через каждый горизонтальный ряд высушиваемого материала, укладываемого с воздушными промежутками по

ширине штабеля (с целью удаления испаряемой влаги), показано на рис. 28.

Весь штабель пиломатериала вместе с электродными сетками плотно зажимается при помощи винтовых стяжек с целью получения надежного электрического контакта во избежание искрения и загорания древесины.

Более рационально размещать штабель между вертикальными сетчатыми электродными пластинами, особенно в трех электродных тележках (рис. 29 а, б).

Для комбинированной сушки с применением диэлектрического и конвективного нагрева применяются двухштабельные паровые камеры (рис. 30). Здесь полностью сохраняется тепловое и вентиляционное оборудование (на рисунке не показаны).

Электрическое оборудование состоит из двух подвесных 3 и одной стационарной 2 электродных пластин на каждый штабель.

Для сушки мелких заготовок начинают внедряться конвейерные высокочастотные сушилки с горизонтальными электродными пластинами.

Пожарная опасность при сушке древесины токами высокой частоты. Как показывает практика, при сушке древесины токами высокой частоты загорания и пожары происходят от ряда причин: большой напряженности электрического поля, превышающей предельно допускаемую величину; концентрации влаги на отдельных участках древесины и изменения диэлектрической проницаемости воздуха; образования воздушных зазоров в результате усадки древесины и неполного прилегания электродов к материалу; наличия в древесине рыхлых, гнилых включений, коры, прилипших опилок, различных металлических включений; повреждения сетчатых электродов, замыкания электродов, несоответствия габаритов высушиваемых изделий и электродов; неисправности электрооборудования и т. д. При напряженности электрического поля, превышающей предельно допускаемую величину, происходит пробой воздушного промежутка и искрение.

Загорание древесины при этом чаще происходит вблизи сетки, имеющей большее напряжение относительно земли или второго электрода.

Концентрация влаги в древесине на отдельных участках вызывает пробой диэлектрика и искрение.

Появление воздушных зазоров в результате усадки древесины также способствует возникновению электрического пробоя и загоранию древесины. Наличие воздушных зазоров между древесиной и электродами вследствие неплотного их прижатия является одной из распространенных причин искрения, появления электрической дуги, загораний и пожаров.

Рыхлые, гнилые включения обладают большей электропроводностью, чем обычная древесина. В результате сосредоточения элект-

рического тока на этих участках возникает сильный нагрев, обугливание и загорание.

Если вместе с древесиной в сушилку попадает кора, то она вследствие большого сопротивления быстро нагревается, к концу сушки начинает обугливаться и может загореться.

К таким же последствиям приводит наличие на древесине опилок, стружек и другого мусора.

Вследствие разности электрического сопротивления древесины и опилок на месте скопления последних возникает искрение, которое приводит к загоранию древесины. На месте выгоревших или выпавших опилок и мусора в высушиваемом штабеле образуются воздушные зазоры, которые могут привести к электрическому пробое и возникновению пожара.

Незначительное обугливание части высушиваемого изделия приводит к увеличению токопроводящего канала и интенсивному искрению, так как электрод будет иметь неплотное касание с поверхностью угля.

Обугливание древесины часто происходит на поверхности досок и брусьев, выходящих за пределы габаритов штабеля.

При неплотном прилегании электрода на этих участках и слабом давлении электрода на древесину создаются благоприятные условия для возникновения загорания и пожара.

Повреждения сетчатых электродов, провисание их отдельных участков может вызвать замыкание с близлежащими проводами, местный нагрев сетки, обугливание и загорание древесины.

Пожары в сушилках могут возникнуть также в результате замыкания электродов, перекрытия соседних сеток.

Металлические включения в древесине часто способствуют возникновению загораний. Вследствие наличия в сушильном конденсаторе переменного электромагнитного поля и вихревых, индукционных токов металлические включения сильно нагреваются и вызывают загорание древесины. Так же сильно нагреваются и различные отремонтированные участки электродов, имеющие заварки, приварки и т. п.

Необходимо иметь в виду, что различные породы древесины по-разному ведут себя в процессе сушки. Например, редко происходит искрение пиломатериалов из сосны и ели и наиболее часто — материалы из березы.

При выборе способа сушки древесины следует учитывать, что комбинированный способ сушки в поле токов высокой частоты с применением парового обогрева является наименее пожароопасным. Сушка при этом ведется в герметических сушильных камерах, оборудованных паровентильаторным устройством. Вследствие этого влажность воздуха в сушилке выше, что будет затруднять процесс горения. Кроме того, увлажнительные паровые трубы могут быть использованы для тушения возникшего пожара.

Пожарные работники должны помнить, что камеры высокочастотной сушки имеют экранировку из листовой стали или сеток для подавления радиопомех. Во время работы сушилок экранировка сильно нагревается и раскаляется. Поэтому при тушении пожара струя воды, попавшая на экран, быстро испаряется и образовавшийся пар может вызвать ожоги.

Пожарнопрофилактические мероприятия в процессе эксплуатации высокочастотных сушилок: контроль за плотным прижатием электродов к древесине и их исправностью, проверка соответствия габаритов электродов и высушиваемых изделий, а также предельно допускаемых напряжений и размещения оборудования; тщательный осмотр древесины с тем, чтобы в штабель не попала древесина с рыхлыми, гнилыми и металлическими включениями; неослабное наблюдение за тем, чтобы на отдельных участках не сконцентрировалась влага и отходы; контроль за температурой высушиваемого материала и внутри камер.

Для лучшего контакта электродов с древесиной необходимо производить стяжку древесины в штабель с нагрузкой не менее 700 кг/м^2 . Вертикальные стяжки должны регулярно подтягиваться для сохранения необходимого контакта и исключения воздушных зазоров.

В один штабель укладывают пиломатериалы только одного сечения и одной длины.

Сетчатые электроды должны быть исправными, цельными, без сваренных и рваных участков. Количество электродов и расстояние между ними должны соответствовать технологическому регламенту.

При горизонтальном расположении электродов (сеток или листов) нельзя допускать их провисания за габариты штабеля.

Одним из важных мероприятий, снижающих возможность электрических разрядов, является соответствие напряженности электрического поля. Учитывая, что количество тепла, выделяемого в материале, пропорционально частоте и квадрату напряженности электрического поля, повышение интенсивности нагрева производят путем увеличения частоты и напряженности (каждой величины в отдельности или обеих вместе).

Однако повышение напряженности электрического поля должно проводиться с учетом пробивного напряжения данного высушиваемого материала, которое в каждом отдельном случае определяется опытным путем. Слишком высокая напряженность электрического поля создает опасность пробоя материала и оказывает отрицательное влияние на равномерность его нагрева.

Поэтому в целях пожарной безопасности рекомендуется ограничивать рабочее напряжение на электродах, а повышение интенсивности нагрева осуществлять за счет применения более высоких частот.

В целях предотвращения электрического пробоя нагреваемого материала устанавливают величину напряженности электрического

поля ($E_{\text{макс. доп}}$ в в/см) в 1,5—2 раза меньше по сравнению с напряженностью, при которой наблюдаются электрические пробой ($E_{\text{проб}}$ в в/см).

Допустимый градиент напряжения при сушке влажной древесины устанавливается в пределах 100—400 в/см , а для сухой древесины в процессе склеивания 1500—2000 в/см (пробивной градиент в этом случае колеблется в пределах 3000—4000 в/см).

Минимальную частоту, обеспечивающую требуемую интенсивность нагрева при допустимой напряженности электрического поля, определяют согласно следующему уравнению:

$$f_{\text{мин}} = 7,53 \cdot 10^{-12} \frac{\gamma C \alpha}{\eta_{\text{т}} K E_{\text{макс. доп}}^2} \text{ гц};$$

где $f_{\text{мин}}$ — минимальная частота в гц;

γ — объемный вес нагреваемого материала в г/см^3 ;

C — теплоемкость нагреваемого материала в кал/г град ;

$\alpha = \frac{\Delta t}{\Delta t}$ — скорость нагрева в град/сек (приращение температуры в $^{\circ}\text{C}$ за 1 сек.);

K — фактор (коэффициент) потерь;

$\eta_{\text{т}}$ — термический к. п. д. процесса диэлектрического нагрева, учитывающий потери тепла в окружающую среду;

$E_{\text{макс. доп}}$ — допустимая напряженность электрического поля в в/см ;

$7,53 \cdot 10^{-12}$ — коэффициент, учитывающий размерность входящих в формулу величин.

Для достижения равномерного нагрева древесины ведут борьбу также с так называемыми стоячими волнами, которые вызывают неравномерное распределение напряжения по длине электродных пластин. Уменьшение отрицательного влияния этих волн достигается параллельным подключением источника электропитания к нескольким точкам рабочего конденсатора, а также подключением к электродным пластинам индуктивностей, обеспечивающих компенсацию стоячих волн.

При укладке штабелей должны оставаться промежутки между горизонтальными и вертикальными рядами (в зависимости от способа сушки) для свободного отвода влаги.

Для выравнивания содержания влаги по всему объему высушиваемой древесины рекомендуется применять вентиляционную установку, усиливающую циркуляцию воздуха в сушильной камере.

Штабеля должны укладываться из односторонней и одинаковой по влажности древесины.

При вертикальном расположении электродов воздушный зазор между ними и пиломатериалом принимается не менее 10 мм.

По соображениям техники безопасности сушильная камера обеспечивается системой блокировки, автоматически отключающей напряжение при открывании двери.

Учитывая, что при сушке древесины происходит выделение тепла непосредственно в нагреваемом материале, кроме обычного контроля температуры и влажности окружающей среды, необходимо производить измерение температуры внутри нагреваемого материала.

Сушильные установки должны размещаться только на первом этаже, в обособленных помещениях не ниже второй степени огнестойкости или у наружных стен блокированных помещений с изоляцией их брандмауэрными стенами.

Генераторное помещение установки должно быть изолировано от сушильной камеры и помещений сухого материала.

Для тушения пожара в сушильных камерах рекомендуется предусматривать дренчерную установку или подачу пара. Привод в действие этих установок легко может быть автоматизирован с использованием любых датчиков температуры. В качестве исполнительных органов могут быть использованы электромагнитные клапаны и задвижки с электроприводом. Также целесообразно предусмотреть блокировку, обеспечивающую отключение питания током электропроводов в случае возникновения пожара.

VI. РАДИАЦИОННЫЕ СУШИЛКИ

В радиационных сушилках сушка материала производится инфракрасными лучами.

Инфракрасные лучи начали применяться в основном для сушки окрашенных поверхностей различных материалов и изделий с 1938 г.

К настоящему времени сушка инфракрасными лучами получила широкое распространение во всех отраслях промышленности.

В частности, этот способ применяется для сушки окрашенных деревянных и металлических изделий, электроизоляционных материалов, проволоки, изоляции на роторах электрических машин, а также для сушки сельскохозяйственных продуктов.

Сушка тепловой энергией, излучаемой видимой и невидимой частью спектра инфракрасных лучей, является одним из наиболее совершенных современных способов сушки лакокрасочных покрытий, в частности эмалей на основе различных синтетических смол.

Радиационная сушка обеспечивает мгновенную и непосредственную передачу тепловой энергии нагреваемой поверхности. Благодаря быстрому нагреву окрашенной поверхности в ней происходят в основном процессы полимеризации, а не окисления, что повышает качество лакокрасочного покрытия.

Инфракрасные лучи непосредственно нагревают только поверхность материала или изделия.

Источниками инфракрасных лучей являются обычные электрические лампы накаливания, специальные зеркальные лампы, электрические спирали, металлические экраны и керамические панели, нагреваемые топочными газами.

Следовательно, по устройству источников энергии радиационные сушилки бывают двух типов: ламповые и панельные.

Более дешевыми источниками энергии являются металлические экраны и керамические панели, нагреваемые до 400—600°C с топочными газами.

По своему конструктивному оформлению радиационные сушилки бывают трех типов: переносные — в виде небольших щитов; тон-

тельные — большей частью конвейерные в виде круглой трубы; камерные — с верхним, боковым или круговым расположением излучателей.

1. Ламповые сушилки

В ламповой сушилке (рис. 31), представляющей камеру, окрашенное изделие проходит на конвейере и облучается со всех сторон лампами накаливания. Лампы излучают тепло и инфракрасные лучи, которые нагревают поверхность окрашиваемого изделия. Виды применяемых ламп показаны на рис. 32.

В зеркальных лампах верхнюю часть колбы изнутри экранируют серебром. Лампы применяются мощностью 250—500 *вт* при напряжении 127 *в*.

При сушке лакокрасочных покрытий металлических изделий температура воздуха принимается 100—110°, температура изделия 140—170°, температура излучателя 350—380°. При сушке окрашенной древесины, в зависимости от вида лакокрасочного материала, температура на поверхности колеблется в пределах от 45 до 80°. Для сушки лакокрасочных покрытий на древесине разработан терморadiационный способ с использованием низкотемпературных излучателей — трубчатых нагревательных элементов с температурой на их поверхности 200° и на поверхности древесины 35—37°, при расстоянии от нагревателей до древесины около 300 *мм*.

Пожарная опасность сушилок при сушке окрашенных изделий инфракрасными лучами заключается в возможности образования взрывоопасных концентраций в сушильной камере при нарушении нормальных условий воздухообмена и интенсивности испарения растворителя. Причины этого описаны выше: увеличение поверхности и интенсивности испарения, уменьшения кратности воздухообмена, остановка вентилятора и т. п.

Наибольшую опасность образования взрывоопасных концентраций представляет остановка отсасывающего вентилятора в лам-

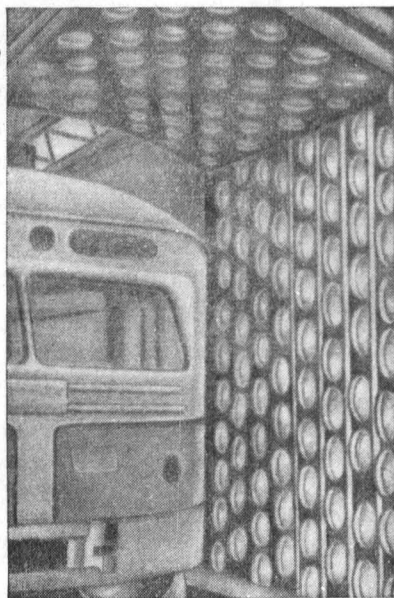


Рис. 31. Ламповая сушилка

повых сушилках непрерывного действия при продолжении поступления в сушилку окрашенного или покрытого лаками материала. В этом случае прекращается удаление паров растворителя при прежней интенсивности испарения.

В то же время в такой сушилке всегда имеется налицо источник воспламенения — высокая температура на поверхности излучающих ламп (до 400° и выше).

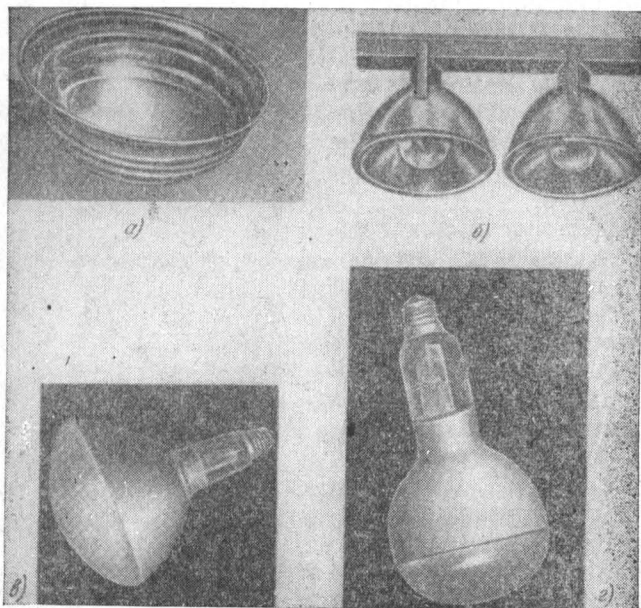


Рис. 32. Виды ламп, применяемых в сушилках.

Образование взрывоопасных концентраций в сушилках непрерывного действия может иметь место и при нарушении нормальной толщины наносимого слоя лака на высушиваемое изделие.

В этом отношении характерны сушилки электропроводов с лаковым покрытием. Нормальная толщина слоя лака обеспечивается пропуском проводов через калиброванные шайбы. При срыве шайбы в сушилку попадает провод с более толстым слоем лака, интенсивность выделения паров увеличивается и образуется горючая (взрывоопасная) среда, которая воспламеняется от систем электрообогрева.

Кроме того, в ламповых сушилках пожары возникают при механическом повреждении колбы лампы, при ее падении вследствие

размягчения мастики, крепящей колбу к цоколю. Раскаленная спираль лампы, соприкасаясь с высушиваемым изделием или парами лакокрасочных материалов, вызывает их воспламенение.

Падение колбы лампы может вызвать также соединение токоведущих проводников и короткое замыкание. Опасность перегрева и воспламенения краски на высушиваемом материале вызывается остановкой конвейера при невыключенной энергии питания нагревателей. Одной из причин возникновения пожаров в сушилках являются неисправности, допущенные при монтаже электрических линий.

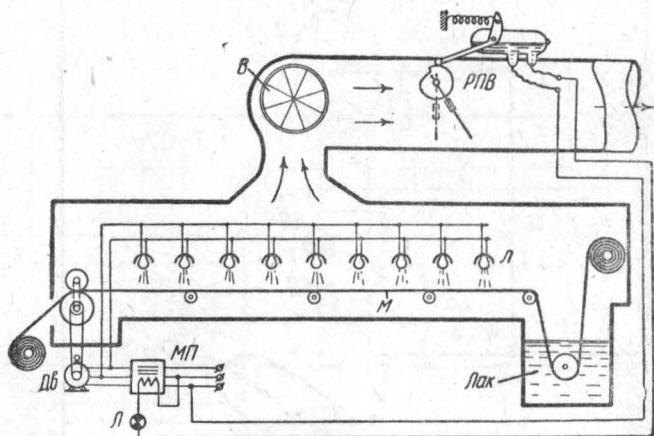


Рис. 33. Схема автоматической блокировки в ламповой сушилке

РПВ — реле потока воздуха с ртутным контактом; В — вентилятор, МП — магнитный пускатель; Дв — электродвигатель; М — высушиваемый материал; Л — электролампы; Лак — электроизоляционный лак

Пожарнопрофилактические мероприятия для терморadiационных сушилок при сушке окрашенных или покрытых лаками изделий: поддержание безопасных концентраций паров растворителей в воздухе, защита от соприкосновения высушиваемых изделий с источниками излучения, поддержание в сушилках безопасных температур и ограничение возможности распространения пожара.

В целях поддержания безопасных концентраций паров растворителей в воздухе необходимо обеспечивать бесперебойную работу отсасывающего вентилятора. Работа вентилятора должна быть заблокирована с системами обогрева и подачи высушиваемого изделия в сушилку. Блокировка должна обеспечивать автоматическое прекращение подачи материала в сушилку в случае остановки вентилятора и отключение системы обогрева.

Для автоматической блокировки в качестве датчика могут быть использованы любые реле потока воздуха, например РПВ-2.

Один из вариантов такой блокировки показан на рис. 33 применительно к ламповой сушилке электроизоляционных материалов. Во всех радиационных сушилках должна предусматриваться также блокировка, обеспечивающая автоматическое отключение системы обогрева или, в крайнем случае, подачу аварийного сигнала, при внезапной остановке конвейера. Для каждой радиационной сушилки должны быть установлены предельно допустимые расстояния от

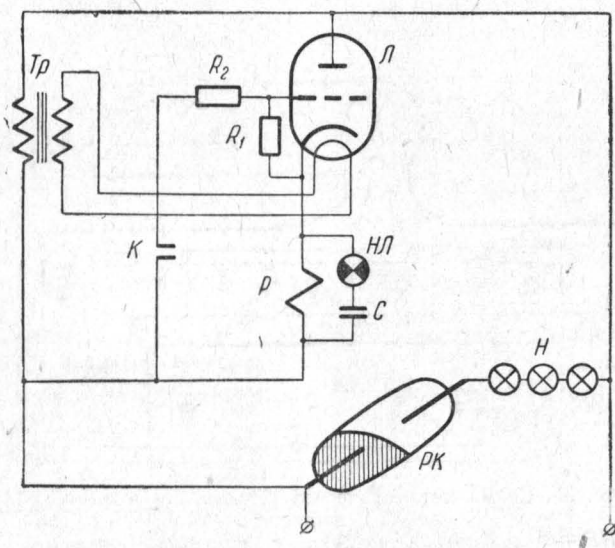


Рис. 34. Схема регулирования температуры в ламповых сушилках

Л — электронная лампа; Р — электромагнитное реле;
РК — ртутные контакты реле; К — контакты датчика;
Н — нагревательные лампы; Tr — трансформатор;
НЛ — неоновая лампа; С — конденсатор 20 мкф;
R₁, R₂ — сопротивления

ламп до высушиваемой поверхности. Это расстояние во всех случаях принимается не менее 100 мм, но оно зависит от мощности ламп и вида высушиваемого материала. Например, для окрашенной древесины это расстояние принимается в среднем 300 мм. Монтаж ламп и проводки должен быть выполнен в соответствии с требованиями ПУЭ. Монтажные панели при этом должны размещаться вне пределов сушильной камеры.

Одним из важных мероприятий является поддержание заданной безопасной температуры в сушилке. Для этих целей в последнее время стали применять автоматические регуляторы.

Для примера рассмотрим схему регулирования температуры в ламповых сушилках изделий, покрытых лаками.

В схеме регулятора температуры (рис. 34) в качестве чувствительного элемента применен биметаллический датчик температуры типа ДТК.

Регулятор состоит из электронного реле с трехэлектродной лампой L и электромагнитного реле P с ртутным контактом PK . Нагре-

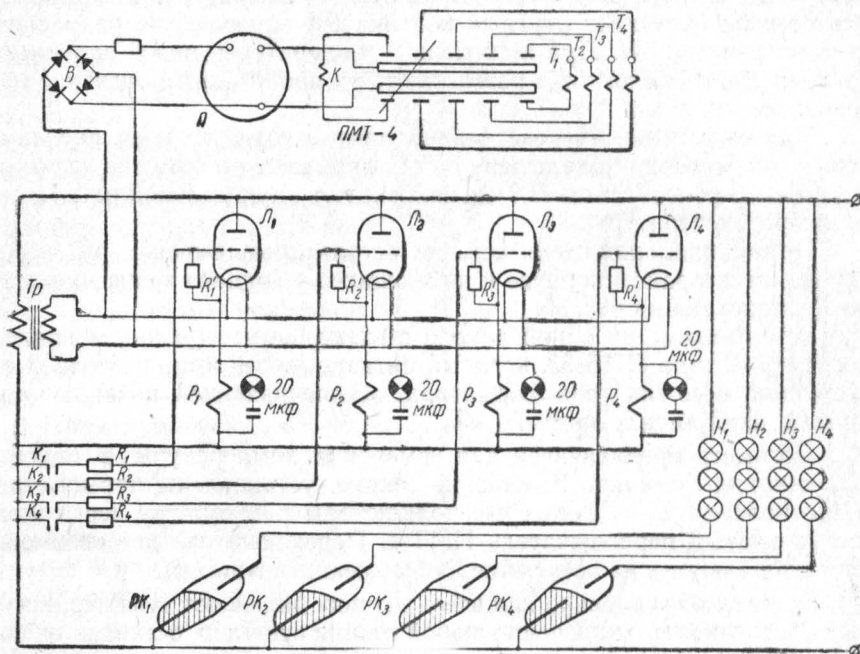


Рис. 35. Схема четырех регуляторов температуры для сушки лаковых покрытий

L — логометр; B — выпрямитель; K — нулевая катушка; $T_1—T_4$ — термометры сопротивления; $ПМТ-4$ — переключатель многоступенчатый; $L_1—L_4$ — электронные лампы (триоды); $P_1—P_4$ — электромагнитные реле; $PK_1—PK_4$ — ртутные контакты электромагнитных реле; $K_1—K_4$ — температурные контакты датчиков; $H_1—H_4$ — нагревательные лампы; $R_1—R_4$ — сопротивления; Tr — трансформатор

вательные лампы H подключены в электрическую сеть через ртутный переключатель. Контакты датчика K подключены в линию питания сетки электронной лампы. Питание схемы осуществляется от трансформатора Tr .

При изменении температуры в сушилке контакты датчика K будут замыкаться или размыкаться и подавать сигнал на электронное

реле, которое управляет электромагнитным реле P с ртутным контактом. Ртутные контакты в свою очередь будут включать или отключать нагревательные лампы H .

Работа схемы происходит следующим образом.

В случае повышения температуры в сушилке до максимально допустимого предела замыкаются контакты датчика K и на сетку электронной лампы подается смещение, создаваемое на обмотке электромагнитного реле P ; при этом лампа запирается, электромагнитное реле отпускает ртутный контакт PK и последний размыкает цепь нагревателя H . При понижении температуры ниже заданного предела контакты датчика размыкаются и происходит включение нагревательных ламп.

При включении нагревательных ламп загорается неоновая лампочка HL , которая подключена в сеть параллельно обмотке электромагнитного реле. Лампы HL сигнализируют о нормальной работе регулятора температуры.

Принципиальная схема четырех регуляторов температуры, смонтированных в одном корпусе и питающихся от одного трансформатора Tr , показана на рис. 35.

В этой схеме на одной панели с электронными реле установлен логометр L типа ЛПБ-53, который питается через выпрямитель B от вторичной обмотки трансформатора, обеспечивающей питание нити накала электронных ламп $L_1—L_4$.

Логометр предназначен для измерения температуры в отдельных секциях сушилки. В каждой секции установлены термометры сопротивления $T_1—T_4$, которые подключены к логометру через многоступенчатый переключатель ПМТ-4. Переключатель дает возможность подключить на измерение любую секцию сушилки.

В схему параллельно каждому датчику включают тумблер, который обеспечивает отключение любой секции сушилки, оставляя включенными остальные.

Включение и выключение нагревательных элементов $H_1—H_4$ происходит так же, как и в предыдущей схеме, в результате замыкания или размыкания контактов датчиков $K_1—K_4$, при помощи электронного и электромагнитного реле $P_1—P_4$.

2. Сушилки панельного типа

В сушилках панельного типа вместо ламп применяются пустотелые стальные или чугунные плиты, в которых сжигается горючий газ, обычно природный. В зависимости от размеров высушиваемых изделий принимаются и соответствующие размеры панелей и сушильных камер.

Сушильная камера обычно состоит из десятка и более секций, каждая из которых имеет две панели: левую и правую (рис. 36).

Газовые инжекционные горелки устанавливаются с внешней стороны панели в камере сжигания, где панель защищается от пламени экраном. Под камеры сжигания имеет отверстия для подсоса вторичного воздуха.

Отбор паров из сушильной камеры, а также продуктов сгорания из камер сжигания осуществляется вентиляторами.

Такие сушилки обеспечивают быструю сушку изделий. Например, изделия из листовой стали и труб сушатся за 5—10 мин. Средняя температура газов в панели принимается 500° , а внутренней стороны стенки панели 400° .

Пожарная опасность газовых сушилок панельного типа обуславливается возможностью утечки газа в помещение и взрыва при пуске сушилок в работу. Эта опасность аналогична пожарной опасности любых топочных устройств с газовым топливом.

Практикой установлено, что, несмотря на то, что отбор продуктов сгорания и паров краски производится вентиляторами и сушильная камера и камера для сжигания находятся под разрежением, в цехе, где размещаются такие сушилки, наблюдается наличие газа, превышающее санитарные нормы.

В качестве **мер профилактики** при устройстве панельных газовых сушилок предусматривают следующее:

во избежание проникновения паров красок и продуктов сгорания в производственное помещение их отбор и удаление производится вентиляторами, а сушильная камера и камера сжигания находятся под разрежением. Кроме того, система вентиляции рассчитывается на соответствующую кратность обмена (не менее двухкратного);

во избежание перегрева высушиваемого материала температура стен панелей контролируется автоматически при помощи элект-

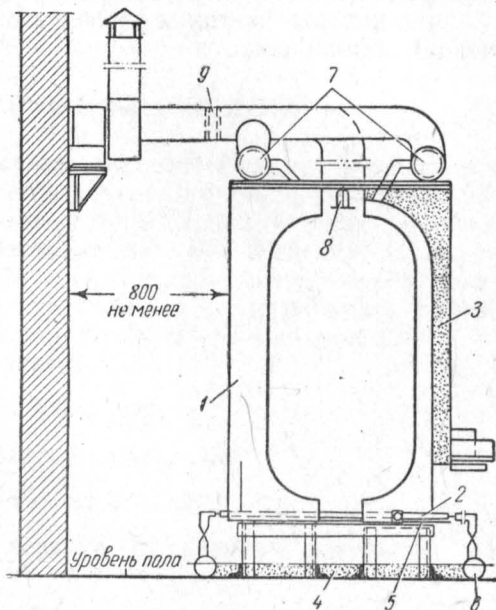


Рис. 36. Схема панельной сушилки
1 — панель; 2 — горелка; 3 — изоляция панели; 4 — изоляция пола; 5 — листовое железо; 6 — газопровод; 7 — коллекторы отвода продуктов сгорания; 8 — уголки для подвески конвейера; 9 — заслонка

ронных потенциометров. Для установки термопар в панелях предусматриваются соответствующие отверстия. Для обеспечения герметичности панелей трубки термопар ввариваются в панели;

полнота сжигания газа контролируется газоанализаторами, например ВТИ-2;

давление газа, поступающего в горелки, регулируется автоматически при помощи регуляторов прямого действия;

для продувки системы перед розжигом горелки на газопроводе перед горелками устраиваются продувочные свечи;

под камеры сжигания располагается на расстоянии 30 см (не менее) от пола цеха.

VII. ПРИМЕР РАСЧЕТА СУШИЛКИ

В камерной конвейерной сушилке длиной 40 м, шириной 4 м и высотой 2,5 м подвергаются сушке от летучих растворителей окрашенные деревянные изделия весом 2000 кг. На изделия нанесено 18 кг краски с содержанием растворителя 40%. Изделия движутся на подвесном конвейере. Сушка производится горячим рециркуляционным воздухом до полного удаления паров растворителя. Теплоноситель пар. Время сушки 60 мин. Температура в камере 85°.

1. Производительность сушилки:

$$G_2 = 2000 \text{ кг/час.}$$

2. Количество удаляемой влаги из материала:

$$W = 18 \cdot 0,4 = 7,2 \text{ кг/час.}$$

3. Потребное количество воздуха, подаваемого в сушилку, по материальному балансу:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} \text{ кг/час.}$$

Для сушилки, работающей без рециркуляции, $x_1 = 0$.

В качестве растворителя красок принят бензол. Нижний предел взрываемости 1,1%. Весовая концентрация при нижнем пределе взрываемости будет равна:

$$K_{\text{вес}} \frac{K_{\text{ог}} M_{10}}{V_t} = \frac{1,1 \cdot 78 \cdot 10}{22,4} = 38 \text{ мг/л (г/м}^3\text{)}.$$

Примем допускаемую концентрацию 10 г/м³,

$$\text{тогда } V = \frac{7,2 \cdot 1000}{10} = 720 \text{ м}^3/\text{час, или } L = \frac{720}{1,029} = 699,7 \text{ кг/час.}$$

4. Потребное количество воздуха, исходя из уравнения теплового баланса:

1) Расход тепла на нагрев деревянных изделий

$$Q_{\text{выс. мат}} = G_2 C_2 (t_k - t_n) = 2000 \cdot 0,33 (85 - 15) = 46\,200 \text{ ккал/час};$$

$C = 0,33 \text{ ккал/кг/град}$ — удельная теплоемкость дерева.

2) Расход тепла на испарение растворителя

$$Q_{\text{исп}} = W_p C_p (t_k - t_n) + W_p r_p = 7,2 \cdot 0,5 (85 - 15) + 7,2 \cdot 90 = 664 \text{ ккал/час},$$

где C_p — средняя теплоемкость растворителя, равная

$0,5 \text{ ккал/кг/град}$;

r_p — скрытая теплота парообразования растворителя, равная 90 ккал/кг .

3) Потери тепла на нагрев части конвейера, проходящего через сушилку. Вес 1 пог. м конвейера равен 20 кг.

Длина части конвейера в зоне сушилки равна 40 м.

$$Q_{\text{конв}} = G_k C_k (t_k - t_n) = 20 \cdot 40 \cdot 0,115 (80 - 15) = 6440 \text{ ккал/час},$$

где $C = 0,115 \text{ ккал/кг/град}$ — удельная теплоемкость металла.

4) Потери тепла в окружающую среду через ограждения камеры (стены, пол, потолок)

$$Q_{\text{пот}} = KF (t_k - t_n) = 1,2 \cdot 400 (85 - 15) = 33\,600 \text{ ккал/час},$$

где K — коэффициент теплопередачи для стен из листового железа с теплоизоляцией толщиной 50 мм, равен $1,2 \text{ ккал/м}^2/\text{град/час}$;

F — поверхность ограждения сушилки, равна 400 м^2 .

5) Количество тепла, поступающего в сушилку с высушиваемым материалом

$$Q_{\text{мат}} = G_1 C_1 (t_1 - t_0) = 2000 \cdot 0,33 (15 - 0) = 9900 \text{ ккал/час}.$$

6) Количество потребного воздуха, исходя из уравнения теплового баланса

$$Q_{\text{возд}} = Q_{\text{выс. мат}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{конс}} + Q_{\text{пот}} - Q_{\text{мат}};$$

$$L_B C_B (t_n - t_k) = Q_{\text{выс. мат}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{конс}} + Q_{\text{пот}} - Q_{\text{мат}};$$

$$L_B = \frac{Q_{\text{выс. мат}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{конс}} + Q_{\text{пот}} - Q_{\text{мат}}}{C_B (t_n - t_k)} = \frac{46\,200 + 664 + 6\,440 + 33\,600 - 9\,900}{0,233 (95 - 70)} =$$
$$= \frac{96 \cdot 804}{5,92} = 16\,407 \text{ кг/час}.$$

При этом принимается, что для получения в сушилке температуры 85° воздух поступает при 95° и покидает сушилку при 70° .

Объем циркулирующего воздуха (исходя из его удельного объема, при 70° равного 1,029) составит:

$$16407 \cdot 1,029 = 16882,8 \text{ м}^3/\text{час}.$$

7) Определяем количество выбрасываемого воздуха из сушиллки с рециркуляцией:

$$V_{уд} = \frac{W_p}{C_{доп}} = \frac{7,2 \cdot 1\,000}{10} = 720 \text{ м}^3/\text{час};$$

$$L_{уд} = \frac{720}{1,029} = 699,7 \text{ кг/час}.$$

8) Определяем количество тепла, уносимого выбрасываемым воздухом при рециркуляции.

Температура воздуха перед калорифером составит:

$$t_{в.к} = \frac{L t_{в. уд} + L_{уд} t_{в. норм}}{L + L_{уд}} = \frac{16\,407 \cdot 70 + 699,7 \cdot 15}{16\,407 + 699,7} = \\ = \frac{1\,148\,490 + 10\,495,5}{17\,106,7} = 67,7^\circ.$$

Количество тепла, уносимого выбрасываемым воздухом

$$Q_{уд} = 699,7 \cdot 0,237 (67,7 - 15) = 9236,7 \text{ ккал/час}.$$

9) Расход пара

$$G_{пара} = \frac{(Q_0 + Q_{уд}) 1,1}{r} = \frac{96\,804 + 9\,236,7}{639} = 165,9 \text{ кг/час},$$

где 1,1 — коэффициент запаса, учитывающий колебания в подаче пара;

r — краткая теплота парообразования, равная 639 ккал/кг.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Общие сведения	3
II. Расчет сушильных установок	7
1. Определение производительности сушилки	8
2. Определение количества удаляемой из материала влаги в процессе сушки	—
3. Определение количества воздуха, подаваемого в сушилку, по материальному балансу	—
4. Определение количества воздуха, необходимого для сушки материала, исходя из уравнения теплового баланса	10
5. Определение количества тепла, уносимого выбрасываемым из системы воздухом при рециркуляции	11
6. Определение расхода теплоносителя на подогрев воздуха	—
III. Конвекционные сушилки	12
1. Воздушные сушилки	—
2. Воздушные сушилки с дымогазовыми калориферами	34
3. Дымогазовые сушилки	39
4. Высокотемпературная сушка перегретым паром	53
5. Высокотемпературная сушка в жидкостях	54
IV. Контактные вакуум-сушилки	58
V. Высокочастотные сушилки	60
VI. Радиационные сушилки	72
1. Ламповые сушилки	73
2. Сушилки панельного типа	78
VII. Пример расчета сушилки	81

Василий Михайлович СМИРНОВ

Пожарная профилактика процессов сушки горючих материалов

Редактор **В. П. Перевалюк**
 Технический редактор **Э. П. Чурова**
 Корректор **А. И. Поликарпова**

Сдано в набор 15 мая 1963 г.
 Формат бумаги 60×90¹/₁₆
 Л 121732

Тираж 4300

Подписано к печати 15 ноября 1963 г.
 Печ. л. 5,25 Уч.-изд. л. 5,0
 Цена 15 коп. Заказ 3626

Типография им. Воровского МООП РСФСР, Москва

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
83	1-я снизу	...краткая теплота	...скрытая теплота

К заказу 3626