

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Ивановский государственный химико-технологический университет

В.И.Шкробышева

Теплотехнические расчёты
отделочного оборудования

Учебное пособие

Иваново

2006

УДК 677.057:66.012.3(07)

Шкробьшева В.И. Теплотехнические расчёты отделочного оборудования: Учебное пособие / ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., Иваново, 2006. 124с.

Учебное пособие предназначено для студентов дневной и заочной формы обучения, специализирующихся в области химической технологии и оборудования отделочного производства (специальности 240202). Приведены основы проведения теплотехнических расчетов и конкретные примеры расчетов для различных типов оборудования.

Табл. 7. Ил. 3. Приложений 13.

Библиогр. 9 названий

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

Лаборатория «Теоретические основы технологии крашения текстильных материалов» института химии растворов РАН;

кандидат технических наук, профессор Гарцева Л.А.(Ивановская государственная текстильная академия)

© Ивановский государственный

химико-технологический университет, 2006

Введение

Основная цель дисциплины «Тепловые процессы в технологии текстильных материалов» заключается в изучении теоретических основ и методов расчета типовых тепломассообменных процессов, протекающих на оборудовании отделочного производства текстильной и легкой промышленности.

В отделочном производстве тепловые и массообменные процессы влияют на достижение конечного результата обработки текстиля не меньше, чем химизм процесса. Поэтому инженер-технолог обязан знать теорию тепломассообменных процессов, протекающих при взаимодействии волокнистых материалов с рабочими средами, чтобы найти пути их интенсификации, сокращения энергозатрат и на этой основе создавать новое поколение технологий и высокоэффективного оборудования.

Требования к знаниям по дисциплине

Студент должен:

- иметь хорошие знания по химической технологии текстильных материалов, оборудованию отделочного производства, процессам и аппаратам химической технологии;
- знать и уметь использовать конструктивные особенности и эксплуатационные характеристики основного технологического оборудования;
- владеть принципами и понятиями теории тепломассообменных процессов, протекающих при взаимодействии волокнистых материалов с различными рабочими средами;
- владеть методами технологических и общинженерных расчетов скорости, производительности, тепловых и материальных балансов, энергозатрат на любом типе отделочного оборудования.
- Выполнить индивидуальное задание по расчету конкретной машины отделочного производства.

Список литературы

1. Павлов К.Ф, и др. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: уч. пособие для хим.-технол. спец. вузов. – Л.: Химия, 1987. 575с.
2. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Теплообменные процессы химической технологии. Л. :Химия, 1982. 288с.
3. Отделка хлопчатобумажных тканей. Справочник в 2-х частях. – М.: Легпромышлениздат, 1991.
4. Эзекян Э.А. и др. Справочник по теплоэнергетическому оборудованию предприятий текстильной промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 256с.
5. Оборудование красильно-отделочного производства: Отраслевой каталог. – М.: ЦНИИТЭИлегпищেমаш, 1985.
6. Шкробышева В.И. Теплотехнические расчеты отделочного оборудования: Методич. указания. – Иваново, ИГХТУ.
7. Шкробышева В.И., Леонова Н.А. Новое технологическое оборудование для льняной отрасли: Методич. указания №51. – Иваново, ИГХТУ, 1995.
8. Технологические расчеты в химической технологии волокнистых материалов. – М.: Высшая школа, 1985.
9. Бельцов В.М. Оборудование текстильных отделочных предприятий. Учебник для вузов. – СПб., 2000. 568с.

1. Основы проведения теплотехнических расчетов оборудования отделочного производства текстильной промышленности

Цель расчета – определение расхода пара или электроэнергии, которые затрачиваются при обработке ткани или других текстильных материалов в той или иной конкретной единице оборудования.

Весь расчет складывается из 4-х частей:

- краткая характеристика оборудования;
- сведения об обрабатываемых тканях;
- баланс рабочего времени;
- собственно теплотехнический расчет.

1.1 Характеристика оборудования

В этом разделе дается краткое описание машины, для которой будет осуществляться расчет, а именно:

- габаритные размеры (длина, ширина, высота, емкость);
- масса машины, кг;
- материал, из которого изготовлен корпус;
- описание изоляционного материала;
- способ обогрева;
- свойства теплоносителя (температура, давление, энтальпия);
- скорость движения ткани, м/мин;
- место в цепочке операций и машин, если рассчитываемая машина находится в составе линии.

1.2 Сведения об обрабатываемых тканях

1.2.1 Обработка 1 артикула ткани.

В этом случае записываются следующие данные:

L – количество обрабатываемой ткани, м;

b – ширина обрабатываемой ткани, м;

g – масса обрабатываемой ткани, кг/м²

$W_{\text{гигр}}$ – гигроскопическая влажность воздушносухой ткани, для которой в

ГОСТе приводятся данные по ширине и массе тканей. Обычно 6–10%;

W_1 - влажность ткани на входе в машину, для которой проводится расчет, %;

W_2 - влажность ткани на выходе из машины, для которой проводится расчет, %.

1.2.2 Обработка нескольких артикулов ткани

В этом случае расчет ведут на усредненную ткань, для чего необходимо определить среднюю ширину $b_{\text{ср}}$ и среднюю массу $g_{\text{ср}}$ обрабатываемых тканей. В зависимости от места установки машины в цепочке всех операций расчет ведут по суровью или готовой ткани. Целесообразно сведения о тканях записывать в таблицу 1.

Таблица 1

Наименование ткани	Кол-во обраб. ткани, L, м	Ширина ткани, b, м	Площадь ткани, F, м ²	Масса 1 м ² , g, кг/м ²	Масса обраб. ткани, G, кг	Примечание
арт 1	L ₁	b ₁	F ₁ =L ₁ b ₁	g ₁	G ₁ =F ₁ g ₁	
арт 2	L ₂	b ₂	F ₂ =L ₂ b ₂	g ₂	G ₂ =F ₂ g ₂	
арт 3	L ₃	b ₃	F ₃ =L ₃ b ₃	g ₃	G ₃ =F ₃ g ₃	
Итого:	Σ L		Σ F		Σ G	

Обычно количество обрабатываемой ткани задано производственной программой цеха, ширина и масса 1 м² ткани известна из ГОСТ на суровые или готовые ткани.

Средняя ширина обрабатываемых тканей рассчитывается по формуле, м:

$$b_{\text{ср}} = \frac{\sum F}{\sum L}$$

Средняя масса 1 м² обрабатываемых тканей определяется по формуле, кг/м²:

$$g_{\text{ср}} = \frac{\sum G}{\sum F}$$

В результате этих расчетов получаем средние показатели воздушносухой ткани. Однако при составлении балансов в теплотехнических расчетах требуется знать массу абсолютно сухой ткани $g_{\text{сух}}$. Это значение определяется с учетом гигроскопической влажности и наличия на ткани аппрета или печатной краски.

Если расчет предполагается выполнять для оборудования отбельных или красильных цехов, $g_{\text{сух}}$ рассчитывается по формуле:

$$g_{\text{сух}} = g_{\text{ср}} \frac{100 - W_{\text{гигр}}}{100}$$

Для напечатанных или пропитанных аппретом тканей используется формула:

$$g_{\text{сух}} = g_{\text{ср}} \frac{100 - W_{\text{гигр}}}{100} \cdot \frac{100 + \Delta P}{100},$$

где $g_{\text{ср}}$ – фактическая масса 1 м² воздушносухой ткани (1 артикула или усредненной ткани);

$W_{\text{гигр}}$ – гигроскопическая влажность ткани, % (обычно 6-8%);

ΔP – удельный расход сухих веществ, наносимых на ткань с аппретом или краской

$$\Delta P = \frac{G_{\text{сухих в-в аппрета}}}{\sum G_{\text{отбеленной ткани}}} \cdot 100\%,$$

где $G_{\text{сух. в-в аппрета}}$ – количество сухих веществ аппрета (краски) на ткани, кг;

$\sum G_{\text{отб. тк.}}$ – масса отбеленной ткани, кг.

1.3 Баланс рабочего времени оборудования

Все рабочее время ($\tau_{\text{раб}}$) складывается из времени, затрачиваемого на разогрев оборудования ($\tau_{\text{разогр}}$), машинного времени ($\tau_{\text{маш}}$), в течение которого выпускается продукция, и времени простоев ($\tau_{\text{прост}}$):

$$\tau_{\text{раб}} = \tau_{\text{разогр}} + \tau_{\text{маш}} + \tau_{\text{прост}}$$

На различных предприятиях и в различных цехах оборудование работает в 1, 2 или 3 смены.

При 1 сменном режиме работы	$\tau_{раб} = 8$ часов
2-х сменном	$\tau_{раб} = 16$ часов
3-х сменном	$\tau_{раб} = 23$ или 24 часа.

При расчете оборудования, работающего в 1 или 2 смены, составляется суточный баланс рабочего времени. Для оборудования, работающего в 3 смены, составляется недельный режимный фонд рабочего времени, т.к. разогрев осуществляется только 1 раз в начале недели.

Существует несколько вариантов организации работы в 3-х сменном режиме:

1 вариант:

$$\tau_{нед} = 123ч = (7ч \cdot 5 \text{ ночных смен}) + (8ч \cdot 6 \text{ утренних смен}) + (8ч \cdot 5 \text{ вечерних смен})$$

2 вариант:

$$\tau_{нед} = 136ч = (24ч \cdot 5 \text{ суток}) + [16ч \cdot 1(\text{суббота})]$$

Есть и другие варианты.

1.3.1 Время разогрева оборудования

Обычно его принимают равным 0,5 – 1,5 часа по опыту работы данного типа машин и линий на промышленных предприятиях. В случае, если разогрев совмещен с закладкой ткани в машину (обычно это жгутовые варочные аппараты или емкие запарные машины отбельных цехов), время разогрева рассчитывают по скорости и объему закладки или принимают равным времени запаривания ткани по технологическому регламенту.

1.3.2 Расчет времени устойчивой работы оборудования $t_{маш}$

Время непрерывной работы одной единицы оборудования рассчитывается по формуле:

$$\tau_{маш} = \frac{\sum L}{V \cdot m \cdot n} ,$$

где ΣL – производственная программа, которую нужно выполнить в сутки (или неделю) на оборудовании, для которого выполняется расчет, *м*;

V – скорость движения ткани на этом оборудовании, *м/мин*;

m – число полотен (жгутов) ткани в заправке, *шт.* (указывается в технической характеристике оборудования);

n – число единиц оборудования данного типа, необходимое для выполнения заданной производственной программы, *шт.*

Производственная программа ΣL обычно задана. Скорость движения ткани V также чаще всего указывается в конкретном задании, предлагаемом студенту для выполнения. В противном случае скорость V выбирается в зависимости от того или иного параметра обработки ткани. Чаще всего считают по самой медленной стадии обработки (запариванию, термообработке или сушке).

$$V = \frac{L_{\text{акт}}}{Z},$$

где $L_{\text{акт}}$ – длина заправки ткани в активной зоне машины, *м* (обычно дается в технической характеристике машины);

Z – время обработки в активной зоне машины, *мин* (обычно задается в технологической проводке ткани как время запаривания или термообработки).

Сложнее рассчитать время и скорость сушки, т.к. в технологических проводках они никогда не указываются, поскольку зависят от многих факторов.

Так, для машин сушильных барабанного типа

$$L_{\text{акт}} = \frac{\pi D \alpha N m}{360},$$

где π - число 3,14; D – диаметр одного барабана (0,57 *м*);

α - угол охвата тканью поверхности барабана:

- при 2-х сторонней заправке $\alpha = 260$ -265 град;

- при 1 сторонней заправке $\alpha = 290$ -292 град;

N – число сушильных барабанов в машине, *шт.*;

m – число полотен в заправке, *шт.*

При сушке ткани в конвективных сушилках $L_{\text{акт}}$ определяется по чертежу, причем на сушилке с сопловым обдувом учитывается только длина ткани, находящейся непосредственно в зоне соплового обдува.

Продолжительность сушки ткани определяется по эмпирическим уравнениям различного вида. Некоторые из них приведены в книге О.А.Бунина, Ю.А.Малкова Машины для сушки и термообработки ткани. М.: Машиностроение, 1971. С.29-44.

В качестве примера для контактной сушки на машинах типа МСБ можно привести следующее уравнение:

$$Z = k \left(1,58 g_{\text{сух}}^2 + 0,162 g_{\text{сух}} \right) \cdot \left[\frac{100}{2,14 (t_{\text{п}} - 100) + 58} \cdot \left(0,604 + \frac{0,56}{\sqrt{V\rho + 2}} \right) \right] \cdot \left[233 \cdot 1g \frac{W_1}{W_2} + (W_1 - W_2) \right]$$

где z – продолжительность сушки, с;

k – коэффициент, характеризующий полноту удаления конденсата из барабана.

$k = 1,6 - 2,5$ при совершенной сифонной системе отвода конденсата;

$g_{\text{сух}}$ – масса абсолютно сухой ткани, $кг/м^2$ (см. главу 1.2.2);

$t_{\text{п}}$ – температура пара, который используется для обогрева барабанов, $^{\circ}C$;

V – скорость движения горячего воздуха под шатром при наличии обдува ткани, $м/с$;

ρ – плотность воздуха, $кг/м^3$, приведена в справочных пособиях и в приложении;

W_1 и W_2 – влажность ткани, до и после сушки % .

Для конвективной сушки горячим воздухом с применением дутья уравнение для расчета времени сушки Z имеет более сложный вид:

$$Z = \frac{k_B}{\sqrt{N_B}} \left[210 + \frac{165}{(0,01 \cdot B)^3} \right] (0,5 + 5,903 h^{0,8}) \cdot \frac{1}{\sqrt{V\rho}} \cdot \left[\frac{1,15}{\left(1000 \frac{b}{0,5S}\right)^{1,5}} + 0,95 \right] \cdot \left[\frac{195 \left(0,01W_1 + \frac{C_{\text{сух}}}{4,187}\right) (t_M - t_{\text{ТК}})}{(595 + 0,47 t_c - t_M)(2t_c - t_M - t_{\text{ТК}})} + \frac{361g \frac{W_1}{W_2} + 0,77(W_1 - W_2)}{t_c - t_M} \right],$$

где k_B – коэффициент, зависящий от вида волокна, из которого изготовлена ткань:

- для хлопка $k_B = 1$;
- для вискозы $k_B = 1,2$;
- для шерсти $k_B = 2$;

N – номер пряжи (берется наименьший по основе и утку). Если расчет идет для усредненной ткани, то берется среднее значение наименьшего номера пряжи;

B – воздухопроводность ткани в л·с/м² при напоре 49,033 Па (5 мм рт.ст.).

Данные для некоторых артикулов ткани приведены в приложении.

h – расстояние между соплами и тканью в м, дается в технической характеристике сушилки;

ρ – плотность воздуха, кг/м³ (справочные данные см в приложении).

Плотность горячего воздуха можно рассчитать также по формуле:

$$c = 0,217 \cdot \frac{B'}{T} \cdot \frac{1000 + 1000d}{622 + 1000d},$$

где B' – атмосферное давление воздуха, гПа;

T – абсолютная температура сушики, К;

d – влагосодержание воздуха, кг влаги/кг сухого воздуха, (см.приложение);

b – ширина щели сопла, м;

S – шаг сопла, м (обе величины приводятся в технической характеристике сушилки);

W_1 и W_2 - влажность ткани, в % на входе и выходе из сушилки;

$c_{\text{сух}}$ - теплоемкость абсолютно сухой ткани, $\text{кДж/кг}^\circ\text{C}$, определяется типом волокна, из которого изготовлена ткань;

t_c – температура сушики, $^\circ\text{C}$;

t_m – температура среды в сушилке по мокрому термометру, $^\circ\text{C}$.

Температура мокрого термометра приведена в приложении и может быть определена после расчета парциального давления паров воды в уходящем из сушилки воздухе по формуле, гПа:

$$H = 1256,85(1 + 0,0367 t) \cdot d ,$$

где t – температура уходящего из сушилки воздуха (равна температуре сушики), $^\circ\text{C}$;

d – влагосодержание уходящего воздуха, кг влаги/м^3 .

Если d неизвестно, то его находят по формуле:

$$d = d_{\text{yx}} = d_{\text{вх}} + \frac{100G_{\text{исп}}}{V_{\text{отсоса}}} ,$$

где $d_{\text{вх}} = \varphi \cdot q / 100$, кг/м^3 ;

φ - влажность воздуха в помещении, %;

q – содержание водяного пара при насыщении им воздуха, кг/м^3 (приведено в приложении).

$$G_{\text{исп}} = G_{\text{тк}} \frac{W_1 - W_2}{100} ,$$

где $G_{\text{исп}}$ - количество влаги, испаряемой с ткани за 1 час сушики, кг/ч ;

$G_{\text{тк}}$ - масса ткани, проходящей через сушилку за 1 час, кг/ч ;

$$G_{\text{тк}} = 60 V b g_{\text{сух}} ,$$

где V – скорость движения ткани, м/мин ;

b – ширина ткани, м ;

$g_{\text{сух}}$ – масса 1 м^2 абсолютно сухой ткани (см. главу 1.2.2);

V – величина отсоса, приводится в технической характеристике сушилки, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Итак, зная $L_{\text{запр}}$ и $Z_{\text{сушки}}$ мы рассчитываем скорость сушки V , если таковая неизвестна.

Теперь вернемся к балансу рабочего времени оборудования и непосредственно к расчету $\tau_{\text{маш}}$, где необходимо знать n – число единиц оборудования для выполнения производственной программы.

$$n = \frac{\sum L}{L_{\text{расч}}},$$

где $\sum L$ – производственная программа, *м*;

$L_{\text{расч}}$ – расчетная производительность одной единицы оборудования, *м/сутки* или *м/неделю*.

$$L_{\text{расч}} = 60 V \tau_{\text{раб}} k_{\text{пв}} k_{\text{пл}} m,$$

где V – скорость движения ткани, *м/мин*;

$\tau_{\text{раб}}$ – режимный фонд работы оборудования в сутки или неделю, *час*;

$k_{\text{пв}}$ – коэффициент полезного времени (берется на предприятиях или рассчитывается);

$k_{\text{пл}}$ – коэффициент плановых простоев оборудования (принимается по нормативам отрасли, не менее 0,9);

m – число полотен (жгутов) в заправке, *шт.*

Полученное по расчету n округляется до целого числа (в сторону увеличения).

Это округленное значение понадобится и для расчета $k_{\text{и.о.}}$ – коэффициента использования оборудования.

$$k_{\text{и.о.}} = \frac{\sum L}{n \cdot L_{\text{расч}}} \leq 1$$

1.3.3 Время простоев оборудования

Определяется как разность:

$$\tau_{\text{прост}} = \tau_{\text{раб}} - \tau_{\text{разогр}} - \tau_{\text{маш}}$$

Простои могут быть в горячем состоянии, когда расходуется энергия для поддержания машины в рабочем состоянии, и простои в холодном состоянии машины, когда энергия не затрачивается.

$$\tau_{\text{прост.хол}} = \tau_{\text{раб}} (2 - k_{\text{пл}} - k_{\text{н.о.}})$$

$$\tau_{\text{прост.гор}} = \tau_{\text{прост}} - \tau_{\text{прост.хол}}$$

1.4 Теплотехнический расчёт

Собственно теплотехнический расчёт складывается из определения трех основных величин:

- расход пара или электроэнергии на разогрев оборудования;
- расход пара или электроэнергии при установившемся режиме работы (часовой расход);
- расход пара или электроэнергии при простоях оборудования в горячем состоянии (часовой расход).

По методике расчета всё отделочное оборудование делится на три группы:

- пропиточно-промывное, в котором ткань обрабатывается горячими растворами химикатов или водой;
- зрельно-запарное, где ткань обрабатывается в паровой среде;
- сушильное, где обработка ткани осуществляется горячим воздухом или в соприкосновении с нагретой металлической поверхностью.

Расход пара или электроэнергии определяется при решении уравнений теплового баланса, которые составляются и разбираются по-разному для перечисленных выше 3-х групп оборудования.

1.4.1 Разогрев оборудования

Баланс разогрева пропиточно-промывного оборудования:

$$G_M c_M t_M + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}} + G_p c_p t_p + G_n i_n = G_M c_M t'_M + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t'_{\text{из}} + G_p c_p t'_p + G_n i_n + (G_{\text{исп}} i_{\text{исп}} + Q_5) \tau_{\text{разогр}}$$

Баланс разогрева зрельников и запарных машин:

$$G_M c_M t_M + G_{из} c_{из} t_{из} + G_B c_B t_B + G_{остр} i_n + G_{пл} i_{пл} + G_{пу} i_{пу} = \\ G_M c_M t'_M + G_{из} c_{из} t'_{из} + G_B c_B t'_B + G_{остр} i_k + G_{пу} i_k + G_{пл} i_k + (G_{исп} i_{исп} + G_{выбр} i_{выбр} + Q_5) \tau_{разогр}$$

Баланс разогрева сушилки:

$$G_M c_M t_M + G_{из} c_{из} t_{из} + G_{возд} c_{возд} t_{возд} + G_{п} i_{п} = \\ G_M c_M t'_M + G_{из} c_{из} t'_{из} + G_{возд} c_{возд} t'_{возд} + G_{п} i_k + Q_5 \tau_{разогр}$$

Рассмотрим значения величин, входящих в балансы разогрева.

G_M – масса разогреваемых металлических частей оборудования, кг. Принимается равной 70-90% от общей массы машины, приведенной в технической характеристике.

Если площадь и толщина металлических конструкций известна, то G_M можно рассчитать по формуле:

$$G_M = k \cdot F_M \cdot \delta_M \cdot \rho_M ,$$

где k – коэффициент, учитывающий прочие обогреваемые металлические части (ролики, перегородки внутри машины); $k = 1 \div 1,75$;

F_M – площадь обогреваемых металлических стенок, m^2 ;

δ_M – толщина металлических стенок, m (обычно 0,001 – 0,0025);

ρ_M – плотность металла, для стали $7500 \text{ кг}/m^3$.

$G_{из}$ – масса изоляции, участвующей в разогреве машины, кг. Обычно текстильное отделочное оборудование изолируется стекловатой или асбоцементными плитами.

$$G_{из} = F_{из} \cdot \delta_{из} \cdot \rho_{из} ,$$

где $F_{из}$ – площадь изоляции, m^2 ;

$\delta_{из}$ – толщина слоя изоляции, m (обычно 0,03 – 0,08 m);

$\rho_{из}$ – плотность изоляции, для асбоцементных плит $300 \text{ кг}/m^3$.

G_p – масса раствора, участвующего в разогреве оборудования, кг.

G_B – масса воды, участвующей в разогреве, кг.

$G_{\text{возд}}$ - масса воздуха, участвующего в разогреве, кг.

$c_{\text{м}}, c_{\text{из}}, c_{\text{р}}, c_{\text{в}}, c_{\text{возд}}$ – теплоемкости металла, изоляции, раствора, воды или воздуха, кДж/кг⁰С:

$$c_{\text{м}} = 0,502 \text{ кДж/кг}^0\text{С (для железа);}$$

$$c_{\text{из}} = 0,837 \text{ кДж/кг}^0\text{С (для асбоцемента);}$$

$$c_{\text{в}} = 4,187 \text{ кДж/кг}^0\text{С;}$$

$$c_{\text{р}} \approx c_{\text{в}}$$

$$c_{\text{возд}} = 1,005 \text{ кДж/кг}^0\text{С.}$$

$t_{\text{м}}, t_{\text{из}}, t_{\text{р}}, t_{\text{в}}, t_{\text{возд}}$ – начальные температуры перед разогревом, ⁰С.

$t'_{\text{м}}, t'_{\text{из}}, t'_{\text{р}}, t'_{\text{в}}, t'_{\text{возд}}$ – температуры после разогрева, ⁰С.

$G_{\text{п}}$ – количество пара, кг, расходуемое на разогрев оборудования

(рассчитывается по приведенным уравнениям балансов);

$i_{\text{п}}, i_{\text{к}}$ – энтальпия пара, подаваемого на разогрев, и конденсата, удаляемого из оборудования после разогрева, кДж/кг. Эти величины приводятся в справочниках и приложении.

Конденсат уносит 2 ÷ 3 % пара, и поэтому

$$i_{\text{к}} = 0,02 i_{\text{п}} + 0,98 c_{\text{в}} t_{\text{к}} = 0,02 i_{\text{п}} + 4,1 t_{\text{к}}$$

$$i_{\text{к}} = 0,03 i_{\text{п}} + 0,97 c_{\text{в}} t_{\text{к}} = 0,03 i_{\text{п}} + 4,06 t_{\text{к}}$$

$t_{\text{к}}$ – температура удаляемого конденсата, обычно на 2 ÷ 3 ⁰С ниже, чем пара (часто в расчетах $t_{\text{к}} \approx t_{\text{пара}}$).

$G_{\text{исп}}$ – количество влаги, испаряемой с открытой поверхности за один час, кг/ч.

Эту величину можно найти в справочниках, приложении или рассчитать по формуле:

$$G_{\text{исп}} = c \cdot F (H - h) \frac{1013}{B},$$

где c – коэффициент испарения, кг/(м²·ч·Па).

$$c = 0,0172 + 0,0083 V,$$

где V – скорость воздуха над испаряемой поверхностью, м/с.

F – поверхность испарения, м²;

H – парциальное давление насыщенных водяных паров при заданной температуре испарения, $гПа$.

Значение H в $гПа$ приведены в приложении. Кроме того H можно рассчитать в мм рт.ст. по формуле:

$$\lg H = 0.662 + \frac{7,5 t_{\text{исп}}}{238 + t_{\text{исп}}}, \quad \text{где} \quad t_{\text{исп}} = \frac{t_{\text{нач}} + t_{\text{кон}}}{2}$$

Для перевода H из мм рт.ст. в $гПа$ нужно полученную величину умножить на поправочный коэффициент 1,33.

h - парциальное давление паров воды в окружающем воздухе,

$$h = 0,01 \cdot \phi \cdot H_0, \quad \text{где} \quad \phi - \text{влажность воздуха, \%};$$

H_0 - парциальное давление насыщенных паров воды при температуре помещения, $гПа$ (см. приложение).

B – барометрическое давление воздуха в районе расположения фабрики, $гПа$ (обычно принимаем $B=1013 гПа$).

$i_{\text{исп}}$ – энтальпия пара, получаемого при испарении влаги, $кДж/кг$.

$$i_{\text{исп}} = 2491,27 + 0,47 c_v t_v - c_v t_v, \quad i_{\text{исп}} = 2491,27 + 1,97 t_{\text{исп}} - 4,187 t_{\text{воды}}$$

Q_5 – потери тепла в окружающую среду через стенки, $кДж/ч$:

$$Q_5 = k F \Delta t,$$

где k – коэффициент теплопередачи через сложную стенку машины, $кДж/м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;

F - площадь, через которую происходят потери тепла в окружающую среду, $м^2$;

Δt – разность температур, $^\circ C$.

$$\Delta t = t_{\text{внутри}} - t_{\text{наружн.возд.}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от греющего агента (пара, раствора, воздуха) к внутренней стенке машины, $кДж/м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C$;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от наружной стенки машины к окружающему

воздуху, $\text{кДж/м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С}$;

δ - толщина каждого слоя сложной стенки, м ;

λ - теплопроводность материала, из которого изготовлен каждый слой стенки, $\text{кДж/м ч } ^\circ\text{С}$.

Принимаем из справочной литературы:

$$\lambda_{\text{м}} = \lambda_{\text{стали}} = 167,48 \text{ кДж/м ч } ^\circ\text{С};$$

$$\lambda_{\text{из}} = \lambda_{\text{асбодревесная плита}} = 0,293 \text{ кДж/м ч } ^\circ\text{С};$$

$$\lambda_{\text{из}} = \lambda_{\text{стекловолокно}} = 0,55 \text{ кДж/м ч } ^\circ\text{С};$$

$$\lambda_{\text{из}} = \lambda_{\text{асбоцемент}} = 0,126 \text{ кДж/м ч } ^\circ\text{С}.$$

Значения α_1 для конденсирующегося пара на металлической стенке внутри машины приведены в справочной литературе и приложении.

Обычно $\alpha_1 = \alpha_{\text{п}} = 42000 - 48000 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С}$.

Значения коэффициента теплоотдачи от горячего раствора или воды к стенке также можно найти в справочной литературе и приложении. Эти значения равны: $\alpha_1 = \alpha_{\text{в}} = 2000 - 4000 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С}$.

Коэффициент теплоотдачи от горячего воздуха к стенке обычно рассчитывается по формуле:

$$\alpha_1 = \alpha_{\text{возд}} = 15,07 V + 22,19,$$

где V - скорость движения воздуха у стенки, м/с .

Коэффициент теплоотдачи от более нагретой стенки к менее нагретому воздуху цеха рассчитывается по формуле:

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21t_{\text{ст}},$$

где $t_{\text{ст}}$ - температура наружной стенки, определяется по санитарным нормам и равняется $30 \div 40 ^\circ\text{С}$.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху и от воздуха к стенке изменяются в пределах $20 \div 85 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С}$.

При прохождении тепловой энергии через сложную стенку температура поверхностей стенок изменяется согласно прилагаемого графика (рис.1).

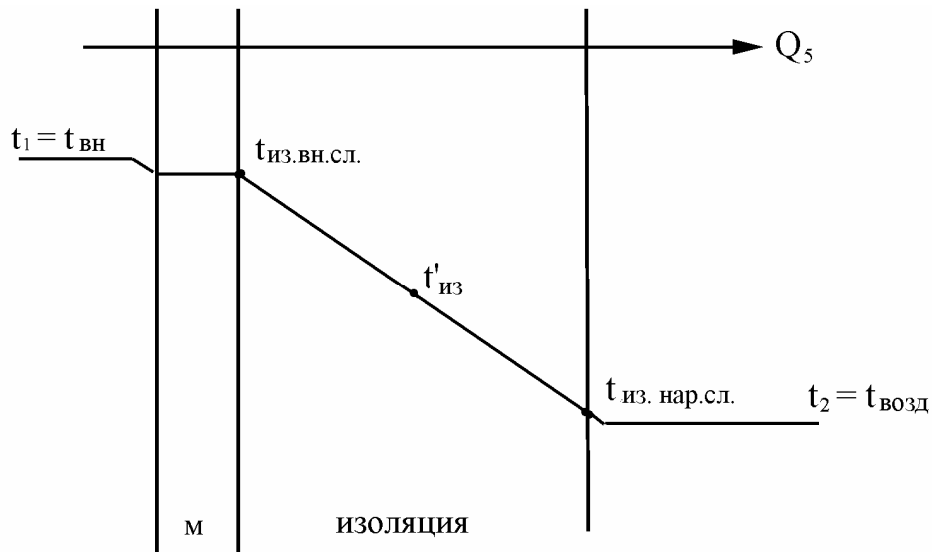


Рис.1

$$\Delta t = t_1 - t_2 = t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}; \quad t_{\text{из.вн.сл.}} = t_1 - \frac{k \Delta t}{\alpha_1}; \quad t_{\text{из.нар.сл.}} = t_2 + \frac{k \Delta t}{\alpha_2}$$

$t'_{\text{из}}$ – средняя температура изоляции.

$$t'_{\text{из}} = 0,5 (t_{\text{из.вн.сл.}} + t_{\text{из.нар.сл.}})$$

Кроме конвекции тепло от стенок, нагретых до высоких температур, передается также лучеиспусканием. Процесс лучеиспускания описывается законом Стефана Больцмана:

$$E_0 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

Иными словами количество энергии, излучаемой черным телом, пропорционально четвертой степени абсолютной температуры T . В этой формуле:

C_0 – коэффициент пропорциональности.

Для абсолютно черного тела $C_0 = 20,52 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}^4$.

Для прочих тел $C = a C_0$, где a – коэффициент черноты.

материал	a
окись железа	0,85-0,95
железо	0,14-0,38
железо окисленное	0,74
картон асбестовый	0,96

При разогреве зрельников и запарных машин обычно используют острый пар для быстрого вытеснения воздуха из камер и быстрого обогрева машин изнутри.

$G_{\text{остр}}$ - количество острого пара, подаваемого в машину в процессе разогрева оборудования, кг. Этот пар используется и в пароумформере.

$G_{\text{пл}}$ - количество пара, кг, необходимого для разогрева потолочной плиты зрельника или запарной машины, с целью предупреждения капли на ткань.

$i_{\text{пл}}$ - энтальпия пара для обогрева плиты, кДж/кг.

$G_{\text{в}}$ - количество воды, кг, заливаемой в пароумформер.

$G_{\text{пу}}$ - количество пара, кг, необходимое для нагрева воды в пароумформере.

Обычно в пароумформер подается глухой пар с давлением 3-6 атм (2942 – 5884 гПа).

$i_{\text{пу}}$ - энтальпия пара, используемого в пароумформере, кДж/кг.

$G_{\text{выбр}}$ - количество пара, кг/ч, выбивающегося из зрельника или запарной машины через щели и другие неплотности (обычно считают заправочные щели или кольца).

$$G_{\text{выбр}} = 3600 \cdot V \cdot F \cdot \rho ,$$

где V - скорость выхода пара из щели, м/с (обычно $V=1,5 - 3,0$ м/с);

F - площадь щели, через которую пар выбрасывается из машины, м²;

ρ - плотность пара (0,58 кг/м³).

$i_{\text{выбр}}$ - энтальпия выбрасываемого из машины пара.

$$i_{\text{выбр}} = 2491,27 + 0,47 t_{\text{п}} c_{\text{в}} = 2491,27 + 1,97 t_{\text{п}}$$

При решении баланса разогрева зрельно-запарного оборудования сначала находят количество пара, необходимое для разогрева потолочной плиты ($G_{\text{пл}}$), затем требуемое для работы пароумформера ($G_{\text{пу}}$) и, наконец, определяют количество острого пара ($G_{\text{остр}}$).

В балансе разогрева сушильного оборудования необходимо учитывать затраты тепла на разогрев воздуха.

$G_{\text{возд}}$ - масса воздуха, кг, участвующего в процессе разогрева сушиллки.

При закрытомшибере вентиляции $G_{\text{возд}} = 2 \cdot V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}$,

где $V_{\text{в}}$ – объем воздуха, удвоенный за счет ухода через неплотности машины, м^3 ;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$ (см. справочные данные).

1.4.2 Устойчивая работа машин

Баланс устойчивой работы пропиточно-промывного оборудования

Рассчитывается часовой расход пара.

$$G_{\text{тк}}c_{\text{тк}}t_{\text{тк}} + 0,01G_{\text{тк}}W_1c_{\text{в}}t_{\text{тк}} + G_{\text{р}}c_{\text{р}}t_{\text{р}} + G_{\text{п}}i_{\text{п}} = G_{\text{тк}}c_{\text{тк}}t'_{\text{тк}} + 0,01G_{\text{тк}}W_2c_{\text{в}}t'_{\text{тк}} + G_{\text{р}}c_{\text{р}}t'_{\text{р}} + G_{\text{п}}i_{\text{к}} + G_{\text{исп}}i_{\text{исп}} + Q_5$$

$G_{\text{тк}}$ - масса абсолютно сухой ткани в кг, проходящей через машину за 1 час работы, $\text{кг}/\text{ч}$.

$$G_{\text{тк}} = 60 V b g_{\text{сух}}$$

$c_{\text{тк}}$ - теплоемкость абсолютно сухой ткани $\text{кДж}/\text{кг}^{\circ}\text{C}$, зависит от вида ткани. Для хлопчатобумажных тканей $c=1,298 \text{ кДж}/\text{кг}^{\circ}\text{C}$.

$t_{\text{тк}}$ и $t'_{\text{тк}}$ - температура ткани в $^{\circ}\text{C}$ при входе и выходе из машины.

W_1 и W_2 - влажность входящей и выходящей из машины ткани, %.

Если ткань входит в машину в воздушносухом состоянии, то $W_1 = 8-10\%$; если в мокроотжатом состоянии – то W_1 равняется проценту отжима в предыдущей машине.

$G_{\text{р}}$ - количество раствора в кг, расходуемого за час работы на ведение установленного технологического процесса.

$$\text{При подготовке и крашении } G_{\text{р}} = G_{\text{тк}} \frac{W_1 - W_2}{100} + G_{\text{исп}},$$

При промывке $G_{\text{р}} = 20 G_{\text{тк}}$

$c_{\text{р}}$ - теплоемкость раствора, поступающего в машину, $\text{кДж}/\text{кг}^{\circ}\text{C}$.

$t_{\text{р}}$ - температура раствора, поступающего в машину, $^{\circ}\text{C}$.

В тех случаях, когда обогрев оборудования ведется глухим паром, то учитывается энтальпия конденсирующегося пара ($i_{\text{к}}$). Если обогрев осуществляется острым

паром, то энтальпия конденсирующегося пара будет численно равна температуре среды, в которой происходит конденсация, умноженной на теплоемкость конденсата, т.е. $i_k = c_p t_k$.

Баланс устойчивой работы зрельно-запарного оборудования

$$G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}} + 0,01 G_{\text{ТК}} W_1 c_{\text{В}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{В}} c_{\text{В}} t_{\text{В}} + G_{\text{ПЛ}} i_{\text{ПЛ}} + Q'_{\text{ПЛ}} + G_{\text{ПУ}} i_{\text{ПУ}} =$$

$$G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t'_{\text{ТК}} + 0,01 G_{\text{ТК}} W_2 c_{\text{В}} t'_{\text{ТК}} + G_{\text{В}} c_{\text{В}} t'_{\text{В}} + G_{\text{ИСП}} i_{\text{ИСП}} + G_{\text{ПУ}} i_{\text{ПУ}} + G_{\text{ВЫБР}} i_{\text{ВЫБР}} + Q_5 + G_{\text{ПЛ}} i_k$$

Данные по ткани и влаге в ткани считаются как в гл. 1.4.2.

$G_{\text{В}}$ - количество воды, в кг, расходуемое в паромформере при устойчивой работе зрельника или запарной машины.

W_1 и W_2 - влажность ткани в % на входе и выходе из машины.

Для нахождения $G_{\text{В}}$ и W_2 составляется тепловой баланс для ткани.

Тепловой баланс для ткани:

$$G_{\text{ТК}} \cdot c_{\text{ТК}} \cdot t_{\text{ТК}} + 0,01 \cdot G_{\text{ТК}} \cdot W_1 \cdot c_{\text{В}} \cdot t_{\text{ТК}} + G_{\text{ПОГЛ}} \cdot i_{\text{П}} = G_{\text{ТК}} \cdot c_{\text{ТК}} \cdot t'_{\text{ТК}} + 0,01 \cdot G_{\text{ТК}} \cdot W_2 \cdot c_{\text{В}} \cdot t'_{\text{ТК}}$$

где $G_{\text{ПОГЛ}}$ - количество технологического пара в кг, который конденсируясь на ткани, увеличивает ее влажность от W_1 до W_2 .

Материальный баланс для ткани:

$$G_{\text{ТК}} + 0,01 \cdot G_{\text{ТК}} \cdot W_1 + G_{\text{ПОГЛ}} = G_{\text{ТК}} + 0,01 \cdot G_{\text{ТК}} \cdot W_2$$

Решая совместно оба баланса, находим W_2 , после чего составляется общий материальный баланс по влаге:

$$G_{\text{ТК}} - \frac{W_1}{100} + G_{\text{В}} = G_{\text{ТК}} \frac{W_2}{100} + G_{\text{ВЫБР}}$$

$$\text{Из этого баланса } G_{\text{В}} = G_{\text{ТК}} \frac{W_2 - W_1}{100} + G_{\text{ВЫБР}}$$

Остальные величины считаются, как и в балансе разогрева (гл. 1.4.1).

Баланс устойчивой работы сушильного оборудования

Затраты тепла рассчитывают по отдельным элементам затрат на 1 кг испаряемой с ткани влаги, а не на основе уравнения теплового баланса.

– Затраты на испарение 1 кг влаги:

$$q_1 = 2491,27 + 1,97 t_{\text{исп}} - 4,187 t_{\text{тк}},$$

где $t_{\text{исп}}$ - температура, при которой происходит испарение влаги (температура сушки), $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{тк}}$ - температура ткани, входящей в сушилку, $^{\circ}\text{C}$.

– Затраты на нагрев воздуха, который уносит с собой 1 кг испаренной влаги

$$q_2 = \frac{1}{d_2 - d_1} (0,24 + 0,47d_1) c_{\text{в}} (t_{\text{ух.возд.}} - t_{\text{вх.возд.}}),$$

где d_1 - влажность воздуха в помещении, т.е. воздуха, входящего в сушилку, $\text{кг воды/кг сух.возд}$ (обычно 0,01 – 0,012 $\text{кг воды/кг сух.возд}$);

d_2 - влажность паровоздушной смеси, удаляемой из сушилки, $\text{кг воды/кг сух.возд}$ (обычно 0,10 – 0,12 $\text{кг воды/кг сух.возд}$).

- Количество тепла, необходимое для нагрева ткани, вносящей в сушилку 1 кг влаги:

$$q_3 = \frac{G_{\text{тк}} \cdot c_{\text{тк}}}{W} (t_{\text{ух.тк.}} - t_{\text{вх.тк.}}),$$

где $G_{\text{тк}}$ - масса абсолютно сухой ткани в кг , проходящей через машину в час, кг/ч

$c_{\text{тк}}$ - теплоемкость воздушносухой ткани при выходе ее из сушилки, кДж/кг град .

$$c_{\text{тк}} = \frac{c_{\text{сух}} (100 - W_2) + W_2 c_{\text{в}}}{100},$$

где $c_{\text{сух}}$ – теплоемкость абсолютно сухой ткани, $\text{кДж/кг}^{\circ}\text{C}$

(для хлопчатобумажных тканей $c_{\text{сух}} = c_{\text{цел}} = 1,298 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C}$);

W_2 - влажность ткани после сушки;

$c_{\text{в}}$ - теплоемкость воды; $4,187 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C}$.

W - количество влаги в кг , испаряемой в сушилке за 1 час устойчивой работы:

$$W = G_{\text{тк}} \frac{W_2 - W_1}{100}, \quad \text{где } W_1 - \text{влажность ткани перед сушкой, \%}.$$

– Потери тепла в окружающую среду через стенки ограждения, отнесенные к 1 кг исп.влаги:

$$q_5 = \frac{Q_5}{W},$$

где Q_5 - потери тепла в окружающую среду за 1 час работы, $кДж/ч$;

W - количество влаги, испаряемой в сушилке за 1 час работы, $кг/ч$.

Общий расход тепла на сушку ткани:

$$\Sigma q = q_1 + q_2 + q_3 + q_5$$

Удельный расход пара на испарение с ткани 1 кг влаги:

$$q_{\text{п}} = \frac{\Sigma q}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}}$$

Расход пара за 1 час устойчивой работы сушилки:

$$G_{\text{уст}} = q_{\text{п}} \cdot W$$

1.4.3 Простои оборудования в горячем состоянии

Для нахождения затрат греющего пара при простоях машин составляются балансы простоев, которые учитывают тот факт, что пар расходуется на покрытие потерь в окружающую среду через стенки и других теплопотерь.

Балансы составляются на 1 час простоев.

Баланс простоев пропиточно-промывного оборудования, который учитывает затраты на компенсацию потерь тепла при испарении рабочего раствора, потерь в окружающую среду и унос тепла с конденсатом.

$$G_{\text{п}} i_{\text{п}} = G_{\text{п}} i_{\text{к}} + G_{\text{исп}} i_{\text{исп}} + Q_5,$$

Отсюда
$$G_{\text{п}} = \frac{G_{\text{исп}} i_{\text{исп}} + Q_5}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}}$$

Баланс простоев зрельно-запарного оборудования, который учитывает затраты на обогрев потолочной плиты, воды в пароумформере, потери при выбросе пара через щели и в окружающую среду через стенки:

$$Q'_{\text{пл}} + G_{\text{пл}} i_{\text{пл}} + G_{\text{пу}} i_{\text{пу}} + G_{\text{в}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} = G_{\text{пл}} i_{\text{к}} + G_{\text{пу}} i_{\text{к}} + G_{\text{выбр}} i_{\text{выбр}} + Q_5$$

Расход пара в плите является постоянной величиной за весь процесс работы и берется из расчета плиты при разогреве оборудования (гл. 1.4.1).

Количество воды, расходуемой в пароумформере, равно количеству выбросов технологического пара через щели, т.е. $G_v = G_{\text{выбр}}$

Отсюда расход пара в пароумформере при простоях в горячем состоянии будет рассчитываться по формуле:

$$G_{\text{пу}} = \frac{G_{\text{пл}}(i_k - i_{\text{пл}}) + G_{\text{выбр}}(i_{\text{выбр}} - c_v t_v) + Q_5 - Q'_{\text{пл}}}{i_{\text{пу}} - i_k}$$

Баланс простоев сушильного оборудования в горячем состоянии:

Вариант 1 – при отключенной вентиляции:

$$G_{\text{п}} i_{\text{п}} = G_{\text{п}} i_k + Q_5, \quad \text{отсюда} \quad G_{\text{п}} = \frac{Q_5}{i_{\text{п}} - i_k}$$

Вариант 2 – при включенной вентиляции:

$$G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}} + G_{\text{п}} i_{\text{п}} = G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t'_{\text{возд}} + G_{\text{п}} i_k + Q_5,$$

$$\text{отсюда} \quad G_{\text{п}} = \frac{G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} (t'_{\text{возд}} - t_{\text{возд}}) + Q_5}{i_{\text{п}} - i_k},$$

$$\text{иными словами} \quad G_{\text{п}} = \frac{q_2 W + Q_5}{i_{\text{п}} - i_k},$$

где q_2 - затраты тепла на нагрев воздуха, который уносит 1 кг испаренной влаги;

W - количество испаренной влаги, кг/ч (см. главу 1.4.2).

1.4.4 Суточный расход пара

$$G_{\text{сут}} = G_{\text{разогр}} + G_{\text{уст}} \tau_{\text{маш}} + G_{\text{прост}} \tau_{\text{прост в гор.сост.}}$$

Чтобы сравнить работу машин, потребляющих разный по характеристикам пар, обычно суточный расход пара выражается в кг нормального пара, т.е. пара с давлением 980,7 гПа (1 атм) и энтальпией 2674,2 кДж/кг.

$$G_{\text{сут.н.п}} = G_{\text{сут}} \frac{i_{\text{п}}}{i_{\text{н.п}}}$$

И завершается расчет определением удельных расходов пара:

$$- q' = \frac{n G_{\text{сут.н.п}}}{\sum G},$$

где n - число машин, требуемых для выполнения рабочей программы.

$$- q'' = \frac{n G_{\text{сут.н.п}} \cdot 1000}{\sum L}$$

Приведенные выше основы расчетов относятся к оборудованию непрерывного действия. Для аппаратов периодического действия есть отличия, которые состоят в том, что рассчитывается расход пара за время протекания различных, следующих друг за другом технологических операций. В этом случае определяется не суточный расход, а расход пара на ведение 1 партии обрабатываемого материала. Расчет ведется в полном соответствии с технологическим режимом обработки.

Примеры расчетов некоторых типовых (базовых) машин приводятся ниже. В качестве базовой пропиточной машины выбрана ванна ВЦП.

Запарные машины представлены тремя разнообразными конструкциями:

- сапожкового типа ЗВА-2-5;
- роликового типа МЗР –3/140;
- зрельника восстановительного типа ЗВВ.

Расчеты сушильных машин и термокамер показаны на примере 6 конструкций Российского и зарубежного производства контактного и конвективного типа.

Схемы некоторых из выбранных конструкций приведены в приложении XIII.

2. Примеры теплотехнических расчетов базовых машин отделочного производства

2.1 Теплотехнический расчет ванны пропиточной ВЦП-140 из линии красильно-сушильной ЛКС-140-12

Характеристика ванны ВЦП-140

- Объем ванны 880 л.
- Дно ванны двойное с изоляцией наружной стенки.
- Днище обогревается паром. По справочникам и таблицам приложения температура пара $t_{п} = 142,9^{\circ}\text{C}$, энтальпия пара $i_{п} = 2735,8$ кДж/кг, энтальпия конденсата рассчитывается по формуле:
$$i_{к} = 0,02 i_{п} + 0,98 c_{в} t_{к}$$
, где $t_{\text{конд}} \approx t_{п}$ или на 2-3 $^{\circ}\text{C}$ ниже $t_{п}$. Примем $i_{к} = 140^{\circ}\text{C}$.
$$i_{к} = 0,02 \cdot 2735,8 + 0,98 \cdot 4,187 \cdot 140 = 628,7$$
 кДж/кг
- Боковые стенки тоже имеют теплоизоляцию.
- Толщина стенок металлических $\delta_{м} = 0,002$ м
 изоляция $\delta_{из} = 0,03$ м
- Габаритные размеры ванны, мм:
 длина 1300
 ширина 2130
 высота 1400
- Масса ванны, кг - 816
- Ванна расположена первой в линии ЛКС-140-12, т.е. ткань в нее входит из тележки через заправочное устройство и имеет воздушносухое состояние. Влажность ткани на входе $W_1 = W_{\text{гигр}} = 8\%$.
- Линия ЛКС-140-12 предназначена для крашения сернистыми красителями по ванно-запарному способу. По технологическому режиму температура раствора красителя $t_{р} = 98^{\circ}\text{C}$, остаточная влажность ткани после пропитки $W_2 = 80\%$.

Сведения об обрабатываемых тканях

Предположим, что производственная программа цеха включает выпуск 2-х видов ткани, свойства которых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование ткани	Кол-во обраб. ткани, L, м	Ширина ткани, b, м	Площадь ткани, F, м ²	Масса 1 м ² , g, кг	Масса обраб. ткани, G, кг
1. Сатин, 501	50000	0,8	40000	0,145	5800
2. Сатин, 520	100000	0,9	90000	0,133	11970
Итого:	$\Sigma L=150000$ м		$\Sigma F=130000$ м ²		$\Sigma G=17770$ кг

$$\Sigma L=L_1+L_2 = 50000+100000 = 150000 \text{ м}$$

$$F_1=L_1b_1 = 50000 \cdot 0,8 = 40000 \text{ м}^2$$

$$F_2=L_2b_2 = 100000 \cdot 0,9 = 90000 \text{ м}^2$$

$$\Sigma F= F_1+ F_2 = 40000+90000=130000 \text{ м}^2$$

$$G_1=F_1 q_1 = 40000 \cdot 0,145=5800 \text{ кг}$$

$$G_2=F_2 q_2 = 90000 \cdot 0,133=11970 \text{ кг}$$

$$\Sigma G= G_1 +G_2 = 5800 + 11970=17770 \text{ кг}$$

$$b_{\text{ср}} = \frac{\Sigma F}{\Sigma L} = \frac{130000}{150000} = 0,867 \text{ м}$$

$$g_{\text{ср}} = \frac{\Sigma G}{\Sigma F} = \frac{17770}{130000} = 0,136 \text{ кг/м}^2$$

$$g_{\text{сух}} = g_{\text{ср}} \frac{100 - W_{\text{гигр}}}{100} = 0,136 \frac{100 - 8}{100} = 0,126 \text{ кг/м}^2$$

Баланс рабочего времени

$$\tau_{\text{раб}} = \tau_{\text{разогр}} + \tau_{\text{маш}} + \tau_{\text{прост}}$$

Красильный цех обычно работает в 2-х сменном режиме, т.е. $\tau_{\text{раб}} = 16$ часов.

Примем $\tau_{\text{разогр}}=0,5$ ч по опыту производства.

$$\tau_{\text{маш}} = \frac{\sum L}{V m n} ,$$

где $\sum L$ – производственная программа цеха, выполняемая на линиях ЛКС-140-12;

$$\sum L = 150000 \text{ м};$$

V – скорость движения ткани на линиях ЛКС-140-12.

Обычно она задана или рассчитывается по самой медленной стадии процесса.

В нашем случае это стадия запаривания в машине запарной МЗР-3/140, где заправлено 90 м ткани, а время запаривания равно 1,5 мин по технологическому режиму обработки сернистыми красителями.

$$V = \frac{L_{\text{зап}}}{\tau_{\text{зап}}} = \frac{90}{1,5} = 60 \text{ м/мин}$$

m – число полотен в заправке, в ЛКС-140-12 $m=1$ полотно.

n – число линий ЛКС-140-12, установленных в цехе для выполнения производственного задания.

$$n = \frac{\sum L}{L_{\text{расч}}} ,$$

где $L_{\text{расч}}$ – производительность 1 линии, м/сутки.

$$L_{\text{расч}} = 60 \cdot V \cdot \tau_{\text{раб}} \cdot k_{\text{пв}} \cdot k_{\text{пл}} \cdot m = 60 \cdot 60 \cdot 16 \cdot 0,95 \cdot 0,92 \cdot 1 = 50342 \text{ м}$$

$$n = \frac{150000}{50342} = 2,98$$

Следовательно в цехе установлено $n=3$ линии ЛКС-140-12.

$$\tau_{\text{маш}} = \frac{150000}{60 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 60} = 13,9 \text{ ч}$$

Время простоев: $\tau_{\text{прост}} = \tau_{\text{раб}} - \tau_{\text{разогр}} - \tau_{\text{маш}} = 16 - 0,5 - 13,9 = 1,6 \text{ ч}$

Простои в холодном состоянии определяются плановыми простоями на ремонт и неполным использованием оборудования.

$$\tau_{\text{прост в хол.сост.}} = \tau_{\text{раб}} (2 - k_{\text{пл}} - k_{\text{и.о}})$$

Коэффициент плановых простоев - $k_{\text{пл}} = 0,92$.

Коэффициент использования оборудования

$$k_{и.о} = \frac{\sum L}{n L_{расч}} = \frac{150000}{3 \cdot 50342} = 0,993$$

$$\tau_{прост в хол.сост.} = 16 (2 - 0,92 - 0,993) = 1,39 \text{ ч}$$

Время простоев в горячем состоянии

$$\tau_{прост в гор.сост.} = \tau_{прост} - \tau_{прост в хол.сост.} = 1,6 - 1,39 = 0,21 \text{ ч}$$

Теплотехнический расчет

Баланс разогрева ванны ВЦП-140

В процессе разогрева тепловая энергия тратится на нагрев металлических частей машины, изоляционных материалов, раствора и компенсацию потерь через стенки и на испарение влаги.

Тепловой баланс разогрева:

$$G_M c_M t_M + G_{из} c_{из} t_{из} + G_p c_p t_p + G_n i_n = G_M c_M t'_M + G_{из} c_{из} t'_{из} + G_p c_p t'_p + G_n i_n + (G_{исп} i_{исп} + Q_5) \tau_{разогр}$$

Масса металлических частей: $G_M = k F_M \delta_M \rho_M$,

где k - поправочный коэффициент, учитывающий прочие металлические части ванны кроме стенок;

F_M – площадь обогреваемых металлических стенок, m^2 ;

δ_M – толщина металлических стенок, $\delta_M = 0,002 \text{ м}$;

ρ_M – плотность металла, $\rho_M = 7500 \text{ кг/м}^3$.

$$F_M = 2h (b + l) + b l = 2 \cdot 1,4 (1,3 + 2,13) + 1,3 \cdot 2,13 = 12,4 \text{ м}^2$$

Так как металлические стенки двойные, то $F_M = 24,8 \text{ м}^2$.

$$G_M = 1,5 \cdot 24,8 \cdot 0,002 \cdot 7500 = 558 \text{ кг}$$

Теплоемкость металла $c_M = 0,502 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$.

Температура металла до разогрева $t_M = t_{из} = t_{возд} = 25^{\circ}\text{С}$.

Температура металла после разогрева $t'_M = t'_p = 98^{\circ}\text{С}$.

Масса изоляции $G_{из} = F_{из} \delta_{из} \rho_{из}$

Площадь изоляции $F_{из} = 2h(b+1) + b1 = 2 \cdot 1,4(1,3+2,13) + 1,3 \cdot 2,13 = 12,4 \text{ м}^2$

Толщина изоляции $\delta_{из} = 0,03 \text{ м}$.

Плотность изоляции $\rho_{из} = 300 \text{ кг/м}^3$.

$$G_{из} = 12,4 \cdot 0,03 \cdot 300 = 111,6 \text{ кг}$$

Теплоемкость изоляции $c_{из} = 0,837 \text{ кДж/кг}^0\text{С}$.

Температура изоляции до разогрева $t_{из} = t_{возд} = 25^0\text{С}$.

Масса раствора $G_p = 500 \text{ кг}$ (ванна заполняется не полностью).

Теплоемкость раствора $c_p \approx c_{воды} = 4,187 \text{ кДж/кг}^0\text{С}$.

Температура раствора до разогрева $t_p = 60^0\text{С}$ (раствор поступает с химстанции).

Потери тепла в окружающую среду Q_5 , кДж/ч:

$$Q_5 = Q_5' + Q_5'' ,$$

где Q_5' - потери тепла через двойное дно;

Q_5'' - потери тепла через боковые стенки ванны.

$$Q_5' = k' F' \Delta t' ,$$

где F' - площадь изоляции двойного дна, м^2 .

$F' = 2,77 \text{ м}^2$ (по технической характеристике).

$$\Delta t' = t_{п} - t_{возд} = 142,9 - 25 = 117,9^0\text{С}$$

k' - коэффициент теплопередачи через сложную стенку дна к окружающему воздуху.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} ,$$

где $\alpha_1 = 49614 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$ - коэффициент теплоотдачи от пара к металлической стенке (определяется по справочнику);

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху. Можно определить по формуле:

$$\alpha_2 = 15,07V + 22,19 ,$$

где $V = 1 \text{ м/с}$ - скорость воздуха снаружи ванны у стенки.

$$\alpha_2 = 15,07 \cdot 1 + 22,19 = 37,26 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

δ - толщина слоев сложной стенки.

λ - теплопроводность материала, из которого изготовлен каждый слой стенки:

$$\lambda_{\text{м}} = 167,48 \text{ кДж/м}^2\text{ч град};$$

$$\lambda_{\text{из}} = 0,126 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}.$$

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{49614} + \frac{0,002}{167,48} + \frac{0,03}{0,126} + \frac{0,002}{167,48} + \frac{1}{37,26}} = 3,77 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

$$Q_5' = 3,77 \cdot 2,77 \cdot 117,9 = 1231 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_5'' = k'' F'' \Delta t''$$

Площадь боковых стенок и крышки $F'' = 12,4 - 2,77 = 9,63 \text{ м}^2$

$$\Delta t'' = t_p^{\text{cp}} - t_{\text{возд}},$$

где t_p^{cp} - средняя температура раствора красителя при разогреве

$$t_p^{\text{cp}} = \frac{t_p + t_p'}{2} = \frac{60 + 98}{2} = 79 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t'' = 79 - 25 = 54 \text{ }^\circ\text{C}$$

Коэффициент теплопередачи через сложную стенку ванны к воздуху:

$$k'' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от разогреваемого раствора к боковым стенкам ванны.

α_1 находим по справочнику в зависимости от средней температуры стенки

$$t_{\text{ст}}^{\text{cp}} = (79 + 25)/2 = 52 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{или} \quad \alpha_1 = 1026 \sqrt[3]{\frac{t_p^{\text{cp}} - t_{\text{ст}}^{\text{cp}}}{\mu \cdot 10^3}},$$

где μ - динамическая вязкость раствора (воды) при t_p^{cp} .

$$\mu = 0,361 \cdot 10^{-3} \text{ Па с (при } t_p = 79 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$\alpha_1 = 1026 \sqrt[3]{\frac{79 - 52}{0,361 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}} = 4320 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

α_2 - коэффициент теплоотдачи от боковых стенок ванны к воздуху цеха.

$$\alpha_2 = 37,26 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}.$$

$$k'' = \frac{1}{\frac{1}{4320} + \frac{0,002}{167,48} + \frac{0,03}{0,126} + \frac{0,002}{167,48} + \frac{1}{37,26}} = 3,772 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

$$Q_5'' = 3,772 \cdot 9,63 \cdot 54 = 1961,5 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_5 = 1231 + 1961,5 = 3192,5 \text{ кДж/ч}$$

Рассчитаем среднюю температуру изоляции $t_{из}'$.

$$t_{из}' = \frac{t_{из \text{ внутр.слоев}} + t_{из \text{ нар.слоев}}}{2}$$

Для днища: $t_{из \text{ внутр.слоев}} \approx t_{\text{конденсата}} = 140^\circ\text{C}$

$$t_{из \text{ нар.слоев}} = t_{\text{возд}} + \frac{k' \Delta t'}{\alpha_2} = 25 + \frac{3,77 \cdot 117,9}{37,26} = 37^\circ\text{C}$$

$$t_{из}' = \frac{140 + 37}{2} = 88,5^\circ\text{C}$$

Для боковых стенок: $t_{из \text{ внутр.слоев}} \approx t_p^{\text{cp}} = 79^\circ\text{C}$

$$t_{из \text{ нар.слоев}} = t_{\text{возд}} + \frac{k'' \cdot \Delta t''}{\alpha_2} = 25 + \frac{3,772 \cdot 54}{37,26} = 30,5^\circ\text{C}$$

$$t_{из}' = \frac{79 + 30,5}{2} = 54,75^\circ\text{C}$$

Средняя температура изоляции ванны:

$$t_{из}' = \frac{F_{\text{дн}} t_{из}' + F_{\text{бок.ст}} t_{из}'}{F_{\text{дн}} + F_{\text{бок.ст}}} = \frac{2,77 \cdot 88,5 + 9,63 \cdot 54,75}{2,77 + 9,63} = 62,29^\circ\text{C}$$

$G_{\text{исп}}$ – количество влаги, испаряемой с открытой поверхности ванны за 1 час; кг/ч

$$G_{\text{исп}} = c F (H - h) \frac{1013}{B},$$

где c – коэффициент испарения, кг/м² ч гПа.

$$c = 0,0172 + 0,0083 V ,$$

примем $V=1$ м/с - скорость воздуха над поверхностью ванны.

$$c = 0,0172 + 0,0083 \cdot 1 = 0,0255 \text{ кг/м}^2 \text{ ч гПа}$$

H – парциальное давление паров влаги, испаряющихся из ванны при $t_{\text{исп}} = 79^\circ\text{C}$.

По справочникам и приложению $H_{79^\circ} = 454,7 \text{ гПа}$.

h – парциальное давление паров воды в помещении цеха при влажности ϕ .

$$h = \frac{\phi}{100} H_0 ; \text{ примем } \phi = 70\%$$

H_0 - парциальное давление насыщенных паров воды при $t_{\text{помещения}} = 25^\circ\text{C}$.

$$H_0 = H_{25} = 31,6 \text{ гПа}$$

$$h = \frac{70}{100} \cdot 31,6 = 22,1 \text{ гПа}$$

B - барометрическое давление в зоне расположения предприятия.

Примем $B=1013 \text{ гПа}$.

F - площадь испарения, равная площади 2-х щелей на входе и выходе из ванны.

$$F = 2 l_{\text{раб}} h_{\text{щели}} = 2 \cdot 1,4 \cdot 0,08 = 0,224 \text{ м}^2$$

$$G_{\text{исп}} = 0,0255 \cdot 0,224 \cdot (454,7 - 22,1) \frac{1013}{1013} = 2,47 \text{ кг/ч}$$

$$i_{\text{исп}} = 2491,27 + 1,97 t_{\text{исп}} - c_B t_p = 2491,27 + 1,97 \cdot 79 - 4,187 \cdot 60 = 2395,7 \text{ кДж/кг}$$

Уравнение баланса разогрева:

$$558 \cdot 0,502 \cdot 25 + 111,6 \cdot 0,837 \cdot 25 + 500 \cdot 4,187 \cdot 60 + G_{\text{п}} \cdot 2735,8 = 558 \cdot 0,502 \cdot 98 + 111,6 \cdot 0,837 \cdot 62,28 + 500 \cdot 4,187 \cdot 98 + G_{\text{п}} \cdot 628,7 + (2,47 \cdot 2395,7 + 3192,5) \cdot 0,5$$

Количество пара, расходуемого при разогреве ванны $G_{\text{п}}=51,27 \text{ кг}$.

Устойчивая работа ванны

Определяется часовой расход пара.

Баланс устойчивой работы ванны:

$$G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} \frac{W_1}{100} c_{\text{В}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{р}} c_{\text{р}} t_{\text{р}} + G_{\text{п}} i_{\text{п}} =$$

$$= G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}}' + G_{\text{ТК}} \frac{W_2}{100} c_{\text{В}} t_{\text{ТК}}' + G_{\text{исп}} i_{\text{исп}} + Q_5 + G_{\text{п}} i_{\text{к}}$$

$G_{\text{ТК}}$ – вес абсолютно сухой ткани, проходящей через машину за 1 час.

$$G_{\text{ТК}} = 60 \text{ V } b_{\text{ср}} \cdot g_{\text{сух}} = 60 \cdot 60 \cdot 0,867 \cdot 0,126 = 393 \text{ кг/ч}$$

$$W_1 = W_{\text{гигр}} = 8\%; \quad W_2 = 80\%; \quad V = 60 \text{ м/мин.}$$

Теплоемкость абсолютно сухой ткани $c_{\text{ТК}} = c_{\text{цел}} = 1,298 \text{ кДж/кг град.}$

$$t_{\text{ТК}} = 25^{\circ}\text{C}; \quad t_{\text{ТК}}' = 98^{\circ}\text{C}.$$

$G_{\text{р}}$ – количество раствора, расходуемого за 1 час работы на ведение технологического процесса.

$$G_{\text{р}} = G_{\text{ТК}} \frac{W_2 - W_1}{100} + G_{\text{исп}}$$

$$G_{\text{исп}} = cF(H - h) \frac{1013}{B},$$

$$\text{где } c = 0,0255 \text{ кг/м}^2 \text{ ч зПа}; \quad F_{\text{исп}} = 0,224 \text{ м}^2; \quad h = 22,1 \text{ зПа};$$

$$B = 1013 \text{ зПа}; \quad H = H_{98} = 945,04 \text{ зПа.}$$

$$G_{\text{исп}} = 0,0255 \cdot 0,224 \cdot (945,04 - 22,1) \frac{1013}{1013} = 5,27 \text{ кг/ч}$$

$$i_{\text{исп}} = 2491,27 + 1,97 t_{\text{исп}} = 2491,27 + 1,97 \cdot 98 = 2684,3 \text{ кДж/кг}$$

$$G_{\text{р}} = 393 \frac{80 - 8}{100} + 5,27 = 288,23 \text{ кг/ч}$$

$$Q_5 = 3192,5 \text{ кДж/ч (см.разогрев).}$$

Уравнение баланса:

$$393 \cdot 1,298 \cdot 25 + 393 \cdot 0,01 \cdot 8 \cdot 4,187 \cdot 25 + 288,23 \cdot 4,187 \cdot 60 + G_{\text{п}} \cdot 2735,8 = 393 \cdot 1,298 \cdot 98 +$$

$$393 \cdot 0,01 \cdot 80 \cdot 4,187 \cdot 98 + 5,27 \cdot 2684,3 + 3192,5 + G_{\text{п}} \cdot 628,7$$

Количество пара, расходуемого за 1 час на устойчивую работу ванны:

$$G_{\text{п}} = 32,58 \text{ кг/ч}$$

Простои в горячем состоянии

Определяется часовой расход пара.

Баланс простоев ванны в горячем состоянии:

$$G_{\text{п}} i_{\text{п}} = G_{\text{п}} i_{\text{к}} + G_{\text{исп}} i_{\text{исп}} + Q_5$$

$$G_{\text{п}} = \frac{G_{\text{исп}} i_{\text{исп}} + Q_5}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{5,27 \cdot 2684,3 + 3192,5}{2735,8 + 628,7} = 8,23 \text{ кг/ч}$$

Общий расход пара на ванне ВЦП-140

$$G_{\text{общ.}} = G_{\text{разогр.}} + G_{\text{уст.}} \tau_{\text{маш.}} + G_{\text{прост. в гор.}} \tau_{\text{прост. в гор.}}$$

$$G_{\text{общ.}} = 51,27 + 32,58 \cdot 13,9 + 8,23 \cdot 0,21 = 505,86 \text{ кг пара/сутки}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{общ.н.п.}} = 505,86 \cdot \frac{2735,8}{2674,2} = 517,5 \text{ кг н.п./сутки}$$

Удельный расход пара:

$$q' = \frac{G_{\text{общ.н.п.}} \cdot n}{\sum G_{\text{тк}}} = \frac{517,5 \cdot 3}{17770} = 0,087 \text{ кг н.п./кг ткани}$$

$$q'' = \frac{G_{\text{общ.н.п.}} \cdot n \cdot 1000}{\sum L_{\text{тк}}} = \frac{517,5 \cdot 3 \cdot 1000}{150000} = 10,35 \text{ кг н.п./1000 м ткани}$$

2.2 Теплотехнический расчет машины запарной роликовой МЗР-3/140 из линии ЛКС-140-12

Характеристика МЗР-3/140

Характеристика теплоносителей:

- пар в плите: $p = 0,5$ ати; $t_{\text{п}} = 111^{\circ}\text{C}$; $i_{\text{пл}} = 2692,4$ кДж/кг.

$$i_{\text{к}} = 0,02 \cdot i_{\text{пл}} + 0,98 \cdot c_{\text{в}} \cdot t_{\text{к}} = 0,02 \cdot 2692 + 0,98 \cdot 4,187 \cdot 111 = 508,9 \text{ кДж/кг}$$

- пар в пароумформере: $p = 3$ ати; $t_{\text{п}} = 142,9^{\circ}\text{C}$; $i_{\text{пу}} = 2735,8$ кДж/кг.

$$i_{\text{к}} = 0,02 \cdot 2735,8 + 0,98 \cdot 4,187 \cdot 142,9 = 640,6 \text{ кДж/кг}$$

- количество воды в пароумформере $G_{\text{в}} = 2000$ кг.

Теплотехнический расчет

Баланс разогрева:

$$G_M c_M t_M + G_{из} c_{из} t_{из} + G_B c_B t_B + G_{пл} i_{пл} + G_{пу} i_{пу} + G_{остр} i_{пу} = G_M c_M t_M' + G_{из} c_{из} t_{из}' + G_B c_B t_B' + G_{пл} i_k + G_{пу} i_k + G_{остр} i_k + (G_{исп} i_{исп} + G_{выбр} i_{выбр} + Q_5) \tau_{разогр}.$$

Масса металлических частей, подвергаемых разогреву:

$$G_M = k F_M \delta_M \rho_M ,$$

где $k = 1,7$ - коэффициент, учитывающий ролики и прочие металлические части, кроме шатра.

F_M - площадь металлических стенок шатра.

$$F = 2 h (b+1) + 2 b l = 2 \cdot 3,17 (2,63+6,13) + 2 \cdot 2,63 \cdot 6,13 = 87,8 \text{ м}^2$$

$$\delta_M = 0,0025 \text{ м} , \text{ с учетом двух листов металла } \delta_M = 0,005 \text{ м}.$$

$$\rho_M = 7500 \text{ кг/м}^3 \text{ - плотность металла.}$$

$$G_M = 1,7 \cdot 87,8 \cdot 0,005 \cdot 7500 = 5600 \text{ кг}$$

$$c_M = 0,502 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$$

$$t_M = t_{из} = t_{возд} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Масса изоляции } G_{из} = F_{из} \delta_{из} \rho_{из}$$

$$F_{из} = 2 h (b+1) + b l = 2 \cdot 3,17 (2,63+6,13) + 2,63 \cdot 6,13 = 71,7 \text{ м}^2$$

$$G_{из} = 71,7 \cdot 0,05 \cdot 300 = 1075,5 \text{ кг}$$

$$c_{из} = 0,837 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$$

$$G_B = 2000 \text{ кг (по технической характеристике машины).}$$

Температура поступающей воды $t_B = 15^{\circ}\text{C}$.

Поскольку в балансе разогрева три неизвестных: $G_{пл}$, $G_{пу}$, $G_{остр}$, рассмотрим отдельно процессы в пароумформере.

Разогрев воды в пароумформере осуществляется через змеевик. Количество тепла, передаваемое через змеевик на разогрев воды и частичное ее испарение

$Q_{пу}$.

$$Q_{пу} = G_B c_B (t_{кип} - t_B) + G_{исп} (i_{исп} - c_B t_B) \tau_{разогр}$$

$$G_{\text{исп}} = c F_{\text{пу}} (H - h) \frac{1013}{B},$$

где $B = 1013 \text{ гПа}$ – барометрическое давление;

$c = 0,0172 + 0,0083 V$, примем $V = 0,5 \text{ м/с}$ – скорость воздуха над зеркалом испарения.

$$c = 0,0172 + 0,0083 \cdot 0,5 = 0,0214 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч гПа}$$

$$F_{\text{пу}} = b l = 2,63 \cdot 6,13 = 16 \text{ м}^2 \text{ – площадь зеркала испарения.}$$

Средняя температура воды при разогреве:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t + t'}{2} = \frac{15 + 100}{2} = 57,5^\circ \text{C}$$

H – упругость насыщенного водяного пара при $t_{\text{исп}}$.

$$H_{57,5} = 177,8 \text{ гПа} \text{ (по справочникам, приложению).}$$

$$h = \frac{\varphi}{100} \cdot H_0, \text{ где } \varphi = 80\% \text{ - относительная влажность в запарной камере.}$$

$$H_{57,5} = H_{25} = 31,6 \text{ гПа}$$

$$H = 0,01 \cdot 80 \cdot 31,6 = 25,3 \text{ гПа}$$

$$G_{\text{исп}} = 0,0214 \cdot 16 \cdot (177,8 - 25,3) \frac{1013}{1013} = 52,2 \text{ кг/ч}$$

$$i_{\text{исп}} = 2491,27 + 1,97 t_{\text{исп}} - 4,187 t_{\text{в}} = 2491,27 + 1,97 \cdot 57,5 - 4,187 \cdot 15 = 2541,7 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{\text{пу}} = 2000 \cdot 4,187 (100 - 15) + 52,2 (2541,7 - 4,187 \cdot 15) \cdot 0,5 = 776489 \text{ кДж}$$

Количество пара, требуемого для разогрева воды в пароумформере:

$$G_{\text{пу}} = \frac{Q_{\text{пу}}}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{776489}{2735,8 - 640,6} = 370,6 \text{ кг}$$

Рассмотрим отдельно процессы, протекающие при обогреве полрой потолочной плиты.

Общее количество тепла, затрачиваемого на обогрев плиты:

$$Q_{\text{пл}} = Q_{\text{пл}}' + Q_{5\text{пл}},$$

где $Q_{\text{пл}}'$ - передача тепла в среду запарной камеры путем конвекции и лучеиспускания;

$Q_{5\text{пл}}$ - потери тепла от потолочной плиты в окружающую среду.

$$Q_{5\text{пл}} = k_{\text{пл}} F_{\text{пл}} \Delta t$$

$$F_{\text{пл}} = b l = 16 \text{ м}^2$$

$$\Delta t = t_{\text{пара}} - t_{\text{возд}} = 111 - 25 = 86 \text{ }^\circ\text{C}$$

$k_{\text{пл}}$ – коэффициент теплопередачи от пара в потолочной плите через сложную стенку к окружающему воздуху помещения цеха.

$$k_{\text{пл}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от пара к металлической стенке. По справочникам или приложению. $\alpha_1 = 45301 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$.

α_2 - коэффициент теплоотдачи от нагретой стенки к окружающему воздуху. При скорости воздуха у стенки $V = 1 \text{ м/с}$:

$$\alpha_2 = 15,07 \cdot V + 22,19 = 15,07 \cdot 1 + 22,19 = 37,26 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$k_{\text{пл}} = \frac{1}{\frac{1}{45301} + \frac{0,0025}{167,48} + \frac{0,05}{0,126} + \frac{0,0025}{167,48} + \frac{1}{37,26}} = 2,34 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_{5\text{пл}} = 2,34 \cdot 16 \cdot 86 = 3220 \text{ кДж/ч}$$

Передача тепла в среду запарной камеры:

$$Q_{5\text{пл}}' = k' F_{\text{пл}} \Delta t_{\text{пл}}'$$

$$F_{\text{пл}} = 16 \text{ м}^2$$

$$\Delta t_{\text{пл}} = t_{\text{пара}} - t_{\text{внутри камеры}} = 111 - 105 = 6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{м}}}{\lambda_{\text{м}}} + \frac{1}{\alpha_3}},$$

где $\alpha_1 = 45301 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$.

Стенка внутри не изолирована $\delta_{\text{м}} = 0,0025 \text{ м}$, $\lambda_{\text{м}} = 167,48 \text{ кДж/м ч град}$.

$$\alpha_3 = \beta_1 + \beta_2,$$

где β_1 - коэффициент теплоотдачи за счет конвекции ;

β_2 – коэффициент теплоотдачи за счет лучеиспускания.

$\beta_1 = 33,5 + 0,21 t_{ст}$ – теплоотдача от более горячей стенки со стороны плиты к менее нагретой среде внутри запарной камеры (технологический пар с $t = 105^\circ\text{C}$).

Примем среднюю температуру стенки $t_{ст}$.

$$t_{ст} = \frac{t_{\text{пара в плите}} + t_{\text{пара в камере}}}{2} = \frac{111 + 105}{2} = 108^\circ\text{C}$$

$$\beta_1 = 33,5 + 0,21 \cdot 108 = 56,18 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$\beta_2 = a c_0 \sqrt[4]{t_{ст} - t_{\text{пара в камере}}}$$

где $a = 0,736$ – коэффициент черноты;

$c_0 = 20,52 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}^4$ – коэффициент пропорциональности для абсолютно черного тела.

$$\beta_2 = 20,52 \cdot 0,736 \sqrt[4]{108 - 105} = 19,7 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$\alpha_3 = 56,18 + 19,7 = 75,88 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{45301} + \frac{0,0025}{167,48} + \frac{1}{75,88}} \approx 75 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_{пл}' = 75 \cdot 16 \cdot 6 = 7200 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{пл} = 7200 + 3220 = 10420 \text{ кДж/ч}$$

Количество пара, требуемого для обогрева плиты:

$$G_{пл} = \frac{Q_{пл}}{i_{п} - i_{к}} = \frac{10420}{2692,4 - 508,9} = 4,7 \text{ кг/ч}$$

Количество пара, выбрасываемого через заправочные щели запарной камеры:

$$G_{выбр} = 3600 V_{п} F_{щ} \rho_{п}$$

где $V_{п} = 2,5 \text{ м/с}$ – скорость выхода пара из щели;

$F_{щ} = 0,025 \text{ м}^2$ – площадь щелей по технической характеристике машины;

$\rho_{п} = 0,58 \text{ кг/м}^3$ – плотность пара.

$$G_{выбр} = 3600 \cdot 2,5 \cdot 0,025 \cdot 0,58 = 130,5 \text{ кг/ч}$$

$$i_{выбр} = 2491,27 + 1,97 t_{п} = 2491,27 + 1,97 \cdot 105 = 2700 \text{ кДж/кг}$$

Потери тепла в окружающую среду - Q_5 .

$$Q_5 = Q_{5\text{пл}} + Q_{5\text{бок.ст.}}$$

$Q_{5\text{пл}}$ - потери тепла через потолочную плиту. $Q_{5\text{пл}} = 3220 \text{ кДж/ч}$.

$Q_{5\text{бок.ст.}}$ - потери тепла через боковые стенки камеры.

$$Q_{5\text{бок.ст.}} = k F_{\text{ст}} \Delta t$$

$$F_{\text{ст}} = 2 h (b+l) = 2 \cdot 3,17 (6,13 + 2,63) = 55,5 \text{ м}^2$$

$$\Delta t = t_{\text{техн.пара}} - t_{\text{возд}} = 105 - 25 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося в камере пара к стенкам камеры. При $t_{\text{п}} = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\alpha_1 = 44464 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от нагретых боковых стенок к наружному воздуху; $\alpha_2 = 37,26 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{44464} + \frac{0,0025}{167,48} + \frac{0,05}{0,126} + \frac{0,0025}{167,48} + \frac{1}{37,26}} = 2,35 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_{5\text{бок.ст.}} = 2,35 \cdot 55,5 \cdot 80 = 10434 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_5 = 3220 + 10434 = 13654 \text{ кДж/ч}$$

Осталось определить среднюю температуру изоляции после разогрева $t_{\text{из}}'$.

$$t_{\text{из}}' = \frac{t_{\text{из.внутр.слоев}} + t_{\text{из нар.слоев}}}{2}$$

Примем:

- для плиты $t_{\text{из внутр.сл.}} \approx t_{\text{пара}} = 111 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- для боковых стенок $t_{\text{из внутр.сл.}} \approx t_{\text{пара технол.}} = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$\text{Средняя } t_{\text{из внутр.слоев}} = \frac{111 \cdot 16 + 105 \cdot 55,5}{16 + 55,5} = 106,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из нар.слоев}} = t_{\text{возд}} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2}$$

$$\text{- для плиты } t_{\text{из.нар.слоев}} = 25 + \frac{2,34 \cdot 86}{37,26} = 30,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{- для боковых стенок } t_{\text{из.нар.слоев}} = 25 + \frac{2,35 \cdot 80}{37,26} = 30,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Средняя } t_{\text{из.нар.сл.}} = \frac{30,4 \cdot 16 + 30,0 \cdot 55,5}{16 + 55,5} = 30,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из}}' = \frac{106,3 + 30,1}{2} = 68,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Подставим все полученные величины в баланс разогрева и решим его относительно количества острого пара $G_{\text{остр.}}$.

$$\begin{aligned} 5600 \cdot 0,502 \cdot 25 + 1075,5 \cdot 0,837 \cdot 25 + 2000 \cdot 4,187 \cdot 15 + G_{\text{остр.}} \cdot 2735,8 + 370,6 \cdot 2735,8 + \\ + 4,7 \cdot 0,5 \cdot 2692,4 = 5600 \cdot 0,502 \cdot 105 + 1075,5 \cdot 0,837 \cdot 68,2 + G_{\text{остр.}} \cdot 4,187 \cdot 105 + \\ + 2000 \cdot 4,187 \cdot 100 + 370,6 \cdot 640,6 + 4,7 \cdot 0,5 \cdot 508,9 + 130,5 \cdot 2700 \cdot 0,5 + 13654 \cdot 0,5 + \\ 52,2 \cdot 0,5 \cdot 2541,69 \end{aligned}$$

$$G_{\text{остр.}} = 164 \text{ кг.}$$

Баланс устойчивой работы запарной камеры

Составляется на 1 час работы.

$$\begin{aligned} G_{\text{тк}} c_{\text{тк}} t_{\text{тк}} + G_{\text{тк}} \frac{W_1}{100} c_{\text{в}} t_{\text{тк}} + G_{\text{пл}} i_{\text{пл}} + Q_{\text{пл}}' + G_{\text{пу}} i_{\text{пу}} + G_{\text{в}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} = \\ = G_{\text{тк}} c_{\text{тк}} t_{\text{тк}}' + G_{\text{тк}} \frac{W_2}{100} c_{\text{в}} t_{\text{тк}}' + G_{\text{пл}} i_{\text{к}} + G_{\text{пу}} i_{\text{к}} + G_{\text{в}} c_{\text{в}} t_{\text{в}}' + G_{\text{исп}} i_{\text{исп}} + G_{\text{выбр}} i_{\text{выбр}} + Q_5 \end{aligned}$$

$G_{\text{тк}}$ - масса абсолютно сухой ткани, проходящей через машину за 1 час работы.

$$G_{\text{тк}} = 60 V b_{\text{ср}} g_{\text{ср}} \frac{100}{100 + W_{\text{гигр}}} = 60 \cdot 60 \cdot 0,867 \cdot 0,136 \cdot \frac{100}{100 + 8} = 393 \text{ кг абс.сух тк/ч}$$

$$c_{\text{тк}} = 1,298 \text{ кДж/кг град.}$$

$t_{\text{тк}}$ – температура ткани, входящей в машину МЗР-3/140.

Эту температуру можно принять равной температуре ткани на выходе из предыдущей пропиточной ванны 98°C .

Если пробег ткани между ванной и МЗР по воздуху составляет значительное расстояние, то ткань теряет температуру.

$$\text{Тогда } t_{\text{ТК}} = t_{\text{ВЦП}} - \frac{m L_{\text{пробега}} \alpha (t_{\text{ВЦП}} - t_{\text{возд}})}{60 V g_{\text{сух}} \left(c_{\text{сух}} + c_{\text{в}} \frac{W_1}{100} \right)},$$

где $m = 1$ – число полотен ткани в заправке;

$L_{\text{проб}} = 1,3$ м – расстояние между ВЦП и МЗР (длина свободного пробега ткани);

$\alpha = 41,87$ кДж/м²ч град – коэффициент теплоотдачи от горячей ткани к воздуху;

$t_{\text{ВЦП}} = 98$ °С – температура ткани на выходе из пропиточной ванны ВЦП;

$t_{\text{возд}} = 25$ °С;

$V = 60$ м/мин – скорость движения ткани;

60 – перевод мин в часы;

$g_{\text{сух}} = 0,126$ кг/м² – масса абсолютно сухой ткани;

$c_{\text{сух}} = 1,298$ кДж/кг град – теплоемкость абсолютно сухой ткани (целлюлозы);

$c_{\text{в}} = 4,187$ кДж/кг град – теплоемкость воды;

$W_1 = 80\%$ – влажность ткани на выходе из ВЦП и на входе в МЗР.

$$t_{\text{ТК}} = 98 - \frac{1 \cdot 1,3 \cdot 41,87 (98 - 25)}{60 \cdot 60 \cdot 0,126 \left(1,298 + 4,187 \cdot \frac{80}{100} \right)} = 96,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Количество воды $G_{\text{в}}$, подаваемой в пароумформер, и влажность ткани после запаривания W_2 найдем отдельно из системы уравнений теплового и материального балансов для ткани.

$$G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} \frac{W_1}{100} c_{\text{в}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{погл}} i_{\text{погл}} = G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}}' + G_{\text{ТК}} \frac{W_2}{100} c_{\text{в}} t_{\text{ТК}}'$$

$G_{\text{погл}}$ – количество пара, который, конденсируясь на ткани, увеличивает ее влажность с W_1 до W_2 .

$i_{\text{погл}} = 2700$ кДж/кг – энтальпия технологического пара внутри МЗР.

$$393 \cdot 1,298 \cdot 96,1 + 393 \cdot 0,01 \cdot 80 \cdot 4,187 \cdot 96,1 + G_{\text{погл}} \cdot 2700 = 393 \cdot 1,298 \cdot 105 + 393 \cdot 0,01 \cdot W_2 \cdot 4,187 \cdot 105$$

$$2700 \cdot G_{\text{погл.}} = 1727,76 W_2 - 121965,33$$

Материальный баланс:

$$G_{\text{тк}} + G_{\text{тк}} \frac{W_1}{100} + G_{\text{погл.}} = G_{\text{тк}} + G_{\text{тк}} \frac{W_2}{100}$$

$$393 \frac{80}{100} + G_{\text{погл.}} = 393 \frac{W_2}{100}$$

$$W_2 = 80 + \frac{G_{\text{погл.}}}{3,93}$$

$$\text{Решаем совместно: } \begin{cases} 2700 G_{\text{погл.}} = 1727,76 \cdot W_2 - 121965,33 \\ W_2 = 80 + \frac{G_{\text{погл.}}}{3,93} \end{cases}$$

$$2700 G_{\text{погл.}} = 1727,76 \left(80 + \frac{G_{\text{погл.}}}{3,93} \right) - 121965,33$$

$$G_{\text{погл.}} = 7,19 \text{ кг/ч}$$

$$W_2 = 80 + \frac{7,19}{3,93} = 81,83 \%$$

Общий материальный баланс по воде:

$$G_{\text{тк}} \frac{W_1}{100} + G_{\text{в}} = G_{\text{тк}} \frac{W_2}{100} + G_{\text{выбр}}$$

$$393 \frac{80}{100} + G_{\text{в}} = 393 \frac{81,83}{100} + 130,5$$

$$G_{\text{в}} = 137,7 \text{ кг/ч}$$

$Q_{\text{пл}}' = 7200 \text{ кДж/ч}$ - количество тепла, передаваемое в среду запарной камеры через нагретую перегородку от потолочной плиты.

$G_{\text{исп}}$ - количество влаги, испаряемой с открытой поверхности пароумформера во время устойчивой работы машины.

$$G_{\text{исп}} = c F (H - h) \frac{1013}{B},$$

где $c = 0,0214 \text{ кг/м}^2 \text{ ч гПа}$ (см.разогрев МЗР-3/140); $F = 16 \text{ м}^2$;

$H = 177,8 \text{ zPa}$ - парциальное давление насыщенных паров при средней температуре испарения воды, добавляемой в пароумформер $t_{\text{cp}} = \frac{100+15}{2} = 57,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

$h = \frac{90}{100} \cdot 177,8 = 160$ - парциальное давление паров воды в среде запарной камеры при влажности $\varphi = 90\%$.

$$G_{\text{исп}} = 0,0214 \cdot 16 (177,8 - 160) \frac{1013}{1013} = 6,09 \text{ кг/ч}$$

$$i_{\text{исп}} = 2491,27 + 0,47 \cdot c_v t_{\text{исп}} = 2491,27 + 0,47 \cdot 4,187 \cdot 57,5 = 2604,5 \text{ кДж/кг}$$

И, наконец, подставим все найденные значения в уравнение теплового баланса устойчивой работы запарной камеры.

$$393 \cdot 1,298 \cdot 96,1 + 393 \cdot 0,01 \cdot 80 \cdot 4,187 \cdot 96,1 + 4,7 \cdot 2692,4 + 7200 + G_{\text{пу}} \cdot 2735,8 + 137,7 \cdot 4,187 \cdot 15 = 393 \cdot 1,298 \cdot 105 + 393 \cdot 0,01 \cdot 81,83 \cdot 4,187 \cdot 105 + 4,7 \cdot 508,9 + G_{\text{пу}} \cdot 640,6 + 137,7 \cdot 4,187 \cdot 100 + 6,09 \cdot 2604,5 + 130,5 \cdot 2700 + 13654$$

$$G_{\text{пу}}^{\text{уст}} = 206,6 \text{ кг/ч.}$$

Баланс простоев запарной камеры в горячем состоянии

$$G_{\text{пл}} i_{\text{пл}} + Q_{\text{пл}}' + G_{\text{пу}} i_{\text{пу}} + G_{\text{в}} c_v t_{\text{в}} = G_{\text{пл}} i_{\text{к}} + G_{\text{пу}} i_{\text{к}} + Q_5 + G_{\text{выбр}} i_{\text{выбр}}$$

Количество воды $G_{\text{в}}$, расходуемой в пароумформере при простоях, равно количеству технологического пара, выбрасываемого через щели, т.е. $G_{\text{в}} = G_{\text{выбр}}$.

$$G_{\text{пу}} = \frac{G_{\text{пл}} (i_{\text{пл}} - i_{\text{к}}) + G_{\text{выбр}} (i_{\text{выбр}} - c_v t_{\text{в}}) + Q_5 - Q_{\text{пл}}'}{i_{\text{пу}} - i_{\text{к}}} =$$

$$= \frac{4,7(2692,4 - 508,9) + 130,5(2700 - 4,187 \cdot 15) + 13654 - 7200}{2735,8 - 640,6} = 172,2 \text{ кг/ч}$$

Общий суточный расход пара на МЗР-3/140

- пар в плите:

$$G_{\text{сут}} = G_{\text{пл}}(\tau_{\text{разогр}} + \tau_{\text{маш}} + \tau_{\text{прост.в гор.сост}}) = 4,7 \cdot (0,5 + 13,9 + 0,21) = 68,667 \text{ кг пара/сутки}$$

в пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{сут.н.п.}} = 68,667 \cdot \frac{2692,4}{2674,2} = 69,1 \text{ кг н.п./сутки}$$

- пар острый при разогреве камеры:

$$G_{\text{сут.остр.н.п.}} = 164 \cdot \frac{2735,8}{2674,2} = 168 \text{ кг н.п./сутки}$$

- пар в пароумформере:

$$\begin{aligned} G_{\text{сут.пу}} &= G_{\text{разогр.}} + G_{\text{пу уст.}} \tau_{\text{маш}} + G_{\text{пу прост.}} \tau_{\text{прост.в гор.сост.}} = \\ &= 370,6 + 203,9 \cdot 13,9 + 172,2 \cdot 0,21 = 3241,0 \text{ кг п./сутки} \end{aligned}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{сут.н.п.}} = 3241,0 \cdot \frac{2735,8}{2674,2} = 3315,63 \text{ кг н.п./сутки}$$

Общий расход нормального пара:

$$G_{\text{общ.н.п.}} = 69,1 + 168 + 3315,63 = 3552,73 \text{ кг н.п./сутки}$$

Удельный расход нормального пара на МЗР-3/140:

$$q' = \frac{G_{\text{общ.н.п.}} \cdot n}{\sum G_{\text{тк}}} = \frac{3552,73 \cdot 3}{17770} = 0,6 \text{ кг н.п./кг ткани}$$

$$q'' = \frac{G_{\text{общ.н.п.}} \cdot n \cdot 1000}{\sum L_{\text{тк}}} = \frac{3552,73 \cdot 3 \cdot 1000}{150000} = 71,05 \text{ кг н.п./1000 м ткани}$$

2.3 Теплотехнический расчет запарного варочного аппарата ЗВА-2-5 из линии жгутовой обработки ЛЖО-2

Краткая характеристика ЗВА-2-5

Это емкая шахта, разделенная перегородкой на 2 секции для отдельной обработки 2-х жгутов.

Скорость загрузки ткани, *м/мин* - 200

Емкость шахты:

- товарная, *кг* - 2600

- рабочая, *м³* - 8

Габаритные размеры, *мм*

длина - 5085

ширина - 4470

высота над полом - 4910

заглубление - 3000

Занимаемая площадь, *м²* - 22,73

Масса, *кг* - 8200

Масса теплоизоляции, *кг* - 2050

Стенки аппарата состоят из 1 листа металла и теплоизоляции.

Толщина стенок : $\delta_m = 0,003 \text{ м}$

$\delta_{из} = 0,05 \text{ м}$

Теплопроводность: $\lambda_m = 167,8 \text{ кДж/м ч град}$

$\lambda_{из} = 0,293 \text{ кДж/м ч град}$

Жгуты заправляются в машину через 2 кольца и выбираются из нее тоже через 2 кольца.

Диаметр заправочных колец $d_k = 0,125 \text{ м}$.

В шахту подается острый пар с давлением $p_n = 1 \text{ атм}$ (1961,3 *гПа*).

Температура пара $t_n = 119,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Энтальпия пара $i_n = 2706,1 \text{ кДж/кг}$.

Сведения об обрабатываемых тканях

На линии ЛЖО-2 подвергаются обработке в суровье три артикула ткани: миткаль 15, сатин 520, бязь 115 (табл.3).

Таблица 3

Наименование ткани	Кол-во обраб. ткани, L, м	Ширина сур. ткани, b, м	Площадь сур.ткани, F, м ²	Масса 1 м ² , g, кг/ м ²	Масса сур. ткани, G, кг
1. Миткаль 15	200000	0,890	178000	0,102	18156
2. Бязь 115	100000	0,904	90400	0,145	13108
3. Сатин, 520	100000	0,900	90000	0,135	12150
Итого:	$\Sigma L=400000$ м		$\Sigma F=358400$ м ²		$\Sigma G=43414$ кг

Теплотехнический расчет проводим на усредненную ткань, для чего находим среднюю ширину и среднюю массу 1 м² ткани.

$$b_{\text{ср}} = \frac{\Sigma F}{\Sigma L} = \frac{\Sigma(L b)}{\Sigma L} = \frac{358400}{400000} = 0,896 \text{ м}$$

$$g_{\text{ср}} = \frac{\Sigma G}{\Sigma F} = \frac{\Sigma(F g)}{\Sigma(L g)} = \frac{43414}{358400} = 0,121 \text{ кг/м}^2$$

Баланс рабочего времени

Линия ЛЖО-2 работает без остановки в течение недели по графику $\tau_{\text{нед}}=123$ часа.

$$\tau_{\text{нед}} = \tau_{\text{раб}} + \tau_{\text{прост}}$$

$$\text{Время работы линии } \tau_{\text{раб}} = \tau_{\text{маш}} = \frac{\Sigma L_{\text{нед}}}{L_{\text{теор}}}$$

$$\Sigma L_{\text{нед}} = \frac{400000 \cdot 123}{23} = 2139130 \text{ м/нед}$$

$$L_{\text{теор}} = 60 \text{ V m} = 60 \cdot 200 \cdot 2 = 24000 \text{ м/ч}$$

$$\tau_{\text{раб}} = \frac{2139130}{24000} = 89,1 \text{ ч}$$

$$\text{Время простоев линии } \tau_{\text{прост}} = \tau_{\text{нед}} - \tau_{\text{раб}} = 123 - 89,1 = 33,9 \text{ ч.}$$

Простои машины без затраты тепла (в хол.состоянии):

- за счет неполного использования оборудования: $\tau_1 = \tau_{\text{нед}} (1 - k_{\text{и.о}})$.

$$k_{и.о} = \frac{\Sigma L}{L_{расч}} = \frac{\Sigma L}{60 V m \tau_{нед} k_{пв} k_{пл}} = \frac{2139130}{60 \cdot 200 \cdot 2 \cdot 123 \cdot 0,8 \cdot 0,92} = 0,984$$

$$\tau_1 = 123 (1 - 0,984) = 1,968 \text{ ч}$$

- за счет планового ремонта:

$$\tau_2 = \tau_{нед} (1 - k_{пл}) = 123 (1 - 0,92) = 9,84 \text{ ч}$$

- при чистке, заправке и выборке линии 1 раз в неделю:

$$\tau_3 = \tau_{разогр} + 3,4 \text{ ч}$$

$$\tau_{разогр.} = \frac{L_{загр}}{m V}, \quad \text{где } L_{загр} - \text{загрузочная емкость шахты в м.}$$

$$L_{загр} = \frac{G_{тов}}{g_{ср} b_{ср}} = \frac{2600}{0,121 \cdot 0,896} = 23981 \text{ м}$$

$$\text{Время разогрева } \tau_{разогр} = \frac{23981}{2 \cdot 200} = 59,9 \text{ мин, примем время разогрева } \tau_{разогр} = 1 \text{ ч}$$

$$\tau_3 = 1 + 3,4 = 4,4 \text{ ч}$$

$$\text{Простои в холодном состоянии равны: } \tau_{прост.в хол.сост.} = 1,968 + 9,84 + 4,4 = 16,2 \text{ ч}$$

Тогда время простоев в горячем состоянии:

$$\tau_{прост. в гор.сост.} = \tau_{прост} - \tau_{прост.в хол.сост.} = 33,9 - 16,2 = 17,7 \text{ ч.}$$

Теплотехнический расчет

Баланс разогрева ЗВА-2-5

Тепловой баланс:

$$G_M c_M t_M + G_{из} c_{из} t_{из} + G_{тк} c_{тк} t_{тк} + G_{тк} \frac{W_1}{100} c_B t_{тк} + G_{п} i_{п} = G_M c_M t_M' + G_{из} c_{из} t_{из}' + G_{тк} c_{тк} t_{тк}' +$$

$$G_{тк} \frac{W_2}{100} c_B t_{тк}' + (G_{выбр} i_{выбр} + Q_5) \tau_{разогр.}$$

Материальный баланс:

$$G_{тк} + G_{тк} \frac{W_1}{100} + G_{п} = G_{тк} + G_{тк} \frac{W_2}{100} + G_{выбр}$$

Решая систему 2-х уравнений мы найдем W_2 и $G_{п}$.

G_M – масса обогреваемых металлических частей, примем равной 70% от массы всего ЗВА-2-5.

$$G_M = 0,7 M_{ЗВА} = 0,7 \cdot 8200 = 5740 \text{ кг}$$

$$c_M = 0,502 \text{ кДж/кг град}; \quad t_M = t_{из} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$G_{из}$ = 2050 кг (по технической характеристике ЗВА-2-5).

$$c_{из} = 0,84 \text{ кДж/кг град}.$$

$G_{ТК}$ – количество ткани, разогреваемой в процессе закладки и разогрева ЗВА-2-5.

$$G_{ТК} = \frac{G_{ТОВ}}{\tau_{разогр}} = \frac{2600}{1} = 2600 \text{ кг тк/ч}$$

$$c_{ТК} = c_{цел} = 1,298 \text{ кДж/кг град}.$$

Ткань поступает в ЗВА-2-5 после пропитки варочным раствором в ММ-200.

$$t_{ТК} = t_{p-ра} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}; \text{ влажность ткани после отжима на входе в ЗВА-2-5 } W_1 = 100 \text{ } \%$$

В конце разогрева температура внутри ЗВА-2-5 доводится до $t = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е.

$$t_M' = t_{ТК}' = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{Средняя температура изоляции } t_{из}' = \frac{t_{из.внутр.сл.} + t_{из.нар.сл.}}{2}$$

$$t_{из.внутр.слоев} \approx t_M' = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$t_{из.нар.слоев} = t_{возд} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2}; \quad \Delta t = t_{внутр} - t_{возд} = 100 - 25 = 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где $\alpha_1 = 43626 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$ коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося внутри шахты пара к металлической стенке (определяется по справочникам в зависимости от t_p и давления пара);

α_2 - коэффициент теплоотдачи от нагретой стенки к воздуху цеха.

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 t_{ст}, \text{ примем } t_{ст} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ по санитарным нормам.}$$

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 \cdot 40 = 41,9 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{43626} + \frac{0,003}{167,8} + \frac{0,05}{0,293} + \frac{1}{41,9}} = 5,14 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$t_{\text{из.нар.слоев}} = 25 + \frac{5,14 \cdot 75}{41,9} = 34,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{из}}' = \frac{100 + 34,2}{2} = 67,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Выброс пара из аппарата происходит через 4 кольца.

Количество выбрасываемого пара:

$$G_{\text{выбр}} = 3600 V_{\pi} F_{\text{к}} \rho_{\pi} ,$$

где $V_{\pi} = 1,5 \text{ м/с}$ – скорость выхода пара из колец;

$$F_{\text{к}} = 4 \frac{\pi d_{\text{к}}^2}{4} = 4 \frac{3,14 \cdot (0,125)^2}{4} = 0,05 \text{ м}^2 ;$$

$\rho_{\pi} = 0,6 \text{ кг/м}^3$ – плотность пара при $t = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$G_{\text{выбр}} = 3600 \cdot 1,5 \cdot 0,05 \cdot 0,6 = 162 \text{ кг/ч}$$

$$i_{\text{выбр}} = 2674,2 \text{ кДж/кг} \text{ – энтальпия пара с } t = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_5 = k F \Delta t ,$$

$$\text{где } \Delta t = 100 - 25 = 75 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

F – площадь, через которую идут теплотери. $F = 72 \text{ м}^2$ (по технической характеристике).

$$Q_5 = 5,14 \cdot 72 \cdot 75 = 27756 \text{ кДж/ч}$$

Найденные значения подставим в уравнение теплового и материального баланса:

$$\text{а) } 5740 \cdot 0,502 \cdot 25 + 2050 \cdot 0,84 \cdot 25 + 2600 \cdot 1,298 \cdot 60 + 2600 \cdot 4,187 \cdot \frac{100}{100} \cdot 60 + G_{\pi} \cdot 2706,1 =$$

$$= 5740 \cdot 0,502 \cdot 100 + 2050 \cdot 0,84 \cdot 67,1 + 2600 \cdot 1,298 \cdot 100 + 2600 \cdot 4,187 \cdot \frac{W_2}{100} \cdot 100 +$$

$$(162 \cdot 2674,2 + 27756) \cdot 1$$

в упрощенном виде: $2706,1 G_{\text{п}} = 231507,6 + 10886,2 W_2$

$$\text{б) } 2600 + 2600 \frac{100}{100} + G_{\text{п}} = 2600 + 2600 \frac{W_2}{100} + 162$$

$$W_2 = \frac{2438 + G_{\text{п}}}{26}$$

Решая совместно а) и б) получаем:

$$2706,1 G_{\text{п}} = 231507,6 + 10886,2 \left(\frac{2438 + G_{\text{п}}}{26} \right)$$

Отсюда: $G_{\text{п}} = 446,2 \text{ кг}$

$$W_2 = 110,9 \%$$

Баланс устойчивой работы ЗВА-2-5

Тепловой баланс:

$$G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} c_{\text{в}} \frac{W_1}{100} t_{\text{ТК}} + G_{\text{п}} i_{\text{п}} = G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}}' + G_{\text{ТК}} c_{\text{в}} \frac{W_3}{100} t_{\text{ТК}}' + G_{\text{выбр}} i_{\text{выбр}} + Q_5$$

Материальный баланс:

$$G_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} \frac{W_1}{100} + G_{\text{п}} = G_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} \frac{W_3}{100} + G_{\text{выбр}}$$

Подставим известные величины и упростим систему этих уравнений:

$$\text{а) } 2600 \cdot 1,298 \cdot 60 + 2600 \cdot 4,187 \cdot \frac{100}{100} \cdot 60 + G_{\text{п}} \cdot 2706,1 =$$

$$2600 \cdot 1,298 \cdot 100 + 2600 \cdot 4,187 \cdot \frac{W_3}{100} \cdot 100 + 162 \cdot 2674,2 + 27756$$

в упрощенном виде: $2706,1 G_{\text{п}} = 10886,2 W_3 - 57099,6$

$$\text{б) } 2600 + 2600 \frac{100}{100} + G_{\text{п}} = 2600 + 2600 \frac{W_3}{100} + 162$$

$$\text{в упрощенном виде: } W_3 = \frac{2438 + G_{\text{п}}}{26}$$

Решая совместно а) и б) получаем:

$$G_{\text{п}} = 421,3 \text{ кг} ; \quad W_3 = 110 \%$$

Баланс простоев в горячем состоянии

Тепловой баланс:

$$G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} \frac{W_3}{100} c_{\text{в}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{п}} i_{\text{к}} = G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}}' + G_{\text{ТК}} \frac{W_4}{100} c_{\text{в}} t_{\text{ТК}}' + G_{\text{выбр}} i_{\text{выбр}} + Q_5$$

Материальный баланс:

$$G_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} \frac{W_3}{100} + G_{\text{п}} = G_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} \frac{W_4}{100} + G_{\text{выбр}}$$

Решаем систему уравнений аналогично.

$$\text{а) } 2600 \cdot 1,298 \cdot 60 + 2600 \cdot \frac{110}{100} 4,187 \cdot 60 + G_{\text{п}} \cdot 2706,1 =$$

$$2600 \cdot 1,298 \cdot 100 + 2600 \cdot \frac{W_4}{100} 4,187 \cdot 100 + 162 \cdot 2674,2 + 27756$$

В упрощенном виде: $736506,6 + 2706,1 G_{\text{п}} = 10886,2 W_4$

$$\text{б) } 2600 + 2600 \frac{110}{100} + G_{\text{п}} = 2600 \frac{W_4}{100} + 162$$

$$W_4 = \frac{2698 + G_{\text{п}}}{26}$$

Решая совместно а) и б) получаем:

$$G_{\text{прост.}} = 171,9 \text{ кг} ; \quad W_4 = 110,4 \%$$

Расход пара за неделю работы ЗВА-2-5

$$G_{\text{нед.}} = G_{\text{разогр.}} + G_{\text{уст}} \tau_{\text{уст}} + G_{\text{прост.}} \tau_{\text{прост. в гор.сост.}}$$

$$G_{\text{нед.}} = 446,2 + 421,3 \cdot 89,1 + 171,9 \cdot 17,7 = 41026,6 \text{ кг пара/неделю}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{нед.н.п.}} = 41026,6 \cdot \frac{2706,1}{2674,2} = 41516 \text{ кг н.п./неделю}$$

Удельный расход пара:

$$q' = \frac{G_{\text{нед.н.п.}}}{\sum G_{\text{нед.}}} = \frac{41516}{231915,9} = 0,18 \text{ кг н.п./кг сур.тк.}$$

$$\sum G_{\text{нед.}} = \sum L_{\text{нед.}} b_{\text{ср}} g_{\text{ср}} = 2139130 \cdot 0,896 \cdot 0,121 = 231915,9 \text{ кг}$$

$$q'' = \frac{G_{\text{нед.н.п.}} \cdot 1000}{\sum L_{\text{нед}}} = \frac{41516 \cdot 1000}{2139130} = 19,4 \text{ кг н.п./1000 м сур. тк}$$

2.4 Теплотехнический расчет зрельника восстановительного ЗВВ-4/140

Краткая характеристика зрельника

- Состав: заправочно-выборочное устройство;
пятисекционная запарная камера;
охлаждающее устройство.
- Скорость движения ткани
в низкотемпературном режиме, *м/мин* - 22,4
- Продолжительность обработки, *мин* - 7,2
- Максимальная длина ткани,
заправленной в камеру, *м* - 161
- Температура рабочей среды в зрельной камере, $^{\circ}\text{C}$
низкотемпературный режим - 100-105
- Число полотен ткани в заправке, *шт*
низкотемпературный режим - 4
- Габаритные размеры, *м*

всего зрельника	25850 x 3350 x 3206
запарной камеры	8270 x 3350 x 3200
- Масса зрельника, *кг* - 21400
- Количество воды в пароумформере, *кг* - 2000

Примем для обогрева потолочной плиты пар с $p = 1,4 \text{ атм}$

$$i_{\text{пл}} = 2689,3 \text{ кДж/кг} ; i_{\text{к}} = 462 \text{ кДж/кг} ; t_{\text{п}} = 108 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

в пароумформере используется пар с $p = 3 \text{ ати}$, $t_{\text{п}} = 142,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$i_{\text{пу}} = 2735,7 \text{ кДж/кг} ; i_{\text{к}}' = 598,3 \text{ кДж/кг}$, если предположить, что конденсат уносит 2 % пара, то

$$i_{\text{к}} = 0,02 i_{\text{п}} + 0,98 i_{\text{к}}' = 0,02 \cdot 2735,7 + 0,98 \cdot 598,3 = 640,6 \text{ кДж/кг}$$

Сведения об обрабатываемых тканях

На зрельнике обрабатываются 4 артикула ткани, напечатанной кубовыми красителями (табл. 4).

Таблица 4

Наименование ткани	Длина обраб. ткани, L, м	Ширина ткани, b, м	Площадь ткани, F, м ²	Масса 1 м ² , g, кг	Масса ткани, G, кг
Ситец 37	78000	0,85	66300	0,108	7160,4
Сатин 546	66000	0,85	56100	0,142	7966,2
Штап.полотно 72110	45000	0,80	36000	0,121	4356,0
Штап.полотно 72296	31000	0,85	26350	0,112	2951,2
Итого:	$\Sigma L=220000$ м		$\Sigma F=184750$ м ²		$\Sigma G=22433,8$ кг

Теплотехнический расчет будем выполнять на усредненную ткань.

$$\text{Средняя ширина ткани: } b_{\text{ср}} = \frac{\Sigma F}{\Sigma L} = \frac{184750}{220000} = 0,84 \text{ м}$$

$$\text{Средняя масса 1 м}^2 \text{ ткани: } g_{\text{ср}} = \frac{\Sigma G}{\Sigma F} = \frac{22433,8}{184750} = 0,121 \text{ кг/м}^2$$

В зрельник ткань входит после печатания и вносит сухие вещества печатной краски.

Рассчитаем массу сухих веществ печатной краски, уносимых тканью.

Предположим, что в соответствии с выбранными рисунками на всю ткань нанесится 16836 кг печатной краски. В краске находится 15% сухих веществ, а остальное вода.

$$\text{Масса сухих веществ будет равна: } G_{\text{сух}} = 16836 \cdot 0,15 = 2525,4 \text{ кг.}$$

Примем коэффициент потерь 0,95; тогда вес сухих веществ, нанесенных на ткань $G_{\text{сух.кр.}} = 2525,4 \cdot 0,95 = 2399,13 \text{ кг/сутки.}$

Удельный расход сухих веществ, нанесенных на ткань - $\Delta P_{\text{кр.}}$

$$\Delta P_{кр} = \frac{G_{сух.кр.}}{\Sigma G_{тк}} \cdot 100 = \frac{2399,13 \cdot 100}{22433,8} = 10,7 \%$$

Масса абсолютно сухой ткани вместе с сухими веществами краски будет равна:

$$G_{тк.сух.} = \Sigma G_{тк} \frac{100 - W_{гигр}}{100} \cdot \frac{100 + \Delta P_{кр}}{100} = 22433,8 \frac{100 - 8}{100} \cdot \frac{100 + 10,7}{100} = 22847,5 \text{ кг}$$

Масса 1 м² сухой ткани с сухими веществами печатной краски:

$$g_{сух} = \frac{G_{тк.сух.}}{\Sigma F} = \frac{22847,5}{184750} = 0,124 \text{ кг/м}^2$$

Баланс рабочего времени зрельника

Общая продолжительность рабочего времени равна:

$$\tau_{раб} = \tau_{разогр} + \tau_{маш} + \tau_{прост.в хол.сост.} + \tau_{прост. в гор.сост.}$$

Печатный цех обычно работает в 2 смены, т.е. $\tau_{раб} = 16 \text{ ч.}$

Примем $\tau_{разогр} = 0,5 \text{ ч.}$

Машинное время, когда выпускается продукция,

$$\tau_{маш} = \frac{\Sigma L}{60 V m n},$$

где $V = 22,4 \text{ м/мин}$ - скорость обработки;

$m = 4$ полотна в заправке.

$$n = \frac{\Sigma L}{L_{расч}} = \frac{\Sigma L}{60 \tau_{раб} V m k_{пв} k_{пл}} = \frac{220000}{60 \cdot 16 \cdot 22,4 \cdot 4 \cdot 0,94 \cdot 0,92} = 2,96, \quad n = 3 \text{ зрельника}$$

$$\tau_{маш} = \frac{220000}{60 \cdot 22,4 \cdot 4 \cdot 3} = 13,64 \text{ ч}$$

Коэффициент использования оборудования:

$$k_{и.о} = \frac{\Sigma L}{n L_{расч}} = \frac{220000}{3 \cdot 60 \cdot 16 \cdot 22,4 \cdot 4 \cdot 0,94 \cdot 0,92} = 0,98$$

Простои в холодном состоянии:

$$\tau_{прост.в хол.сост.} = \tau_{раб} (2 - k_{пл} - k_{и.о}) = 16 (2 - 0,92 - 0,98) = 1,6 \text{ ч}$$

Простои в горячем состоянии:

$$\tau_{\text{прост.в гор.сост.}} = \tau_{\text{раб}} - \tau_{\text{разогр}} - \tau_{\text{маш}} - \tau_{\text{прост.в хол.сост.}} = 16 - 0,5 - 13,64 - 1,6 = 0,26 \text{ ч}$$

Теплотехнический расчет

Затраты тепла на разогрев зрельника

Тепловой баланс разогрева:

$$\begin{aligned} G_M c_M t_M + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}} + G_V c_V t_V + G_{\text{пл}} i_{\text{пл}} \tau_{\text{разогр}} + G_{\text{пу}} i_{\text{пу}} + G_{\text{остр}} i_{\text{остр.п.}} = \\ = G_M c_M t_M' + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}}' + G_V c_V t_V' + G_{\text{пл}} i_K \tau_{\text{разогр}} + G_{\text{пу}} i_K + G_{\text{остр}} i_K + \\ (G_{\text{исп}} i_{\text{исп}} + G_{\text{выбр}} i_{\text{выбр}} + Q_5) \tau_{\text{разогр}} \end{aligned}$$

$$G_M = k F_M \delta_M \rho_M$$

$$F_M = 2h(b+1) + b^2 = 2 \cdot 3,2(8,27+3,35) + 8,27^2 = 102 \text{ м}^2$$

$\delta_M = 0,0025 \text{ м}$, с учетом 2-х листов металла толщина стенки $\delta_M = 0,005 \text{ м}$.

$\rho_M = 7500 \text{ кг/м}^3$ - плотность металла.

$k = 1,3$ - коэффициент, учитывающий прочие металлические части камеры.

$$G_M = 1,3 \cdot 102 \cdot 0,005 \cdot 7500 = 4972,5 \text{ кг}$$

$c_M = 0,502 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$ - теплоемкость металла.

$$t_M = t_{\text{из}} = t_{\text{возд}} = 20^{\circ}\text{С}$$

$$\text{Масса изоляции } G_{\text{из}} = F_{\text{из}} \cdot \delta_{\text{из}} \cdot \rho_{\text{из}}$$

Примем площадь изолированных стенок немного меньше, чем площадь F_M , т.е.

$$F_{\text{из}} = 95 \text{ м}^2;$$

$$\delta_{\text{из}} = 0,05 \text{ м}; \quad \rho_{\text{из}} = 300 \text{ кг/м}^3.$$

$$G_{\text{из}} = 95 \cdot 0,05 \cdot 300 = 1425 \text{ кг}$$

$c_{\text{из}} = 0,84 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$ - теплоемкость изоляции.

Количество пара, греющего потолочную плиту:

$$G_{\text{пл}} = \frac{Q_{\text{пл}}}{i_{\text{пл}} - i_K}$$

$Q_{\text{пл}}$ - общее количество тепла, подаваемого в плиту.

$$Q_{\text{пл}} = Q_{5\text{пл}} + Q_{\text{пл}}', \text{ где}$$

$Q_{5\text{пл}}$ - потери тепла в окружающую среду от потолочной плиты.

$$Q_{5\text{пл}} = k_{\text{пл}} F_{\text{пл}} \Delta t_{\text{пл}}$$

$$\Delta t_{\text{пл}} = t_{\text{п}} - t_{\text{возд}} = 108 - 20 = 88 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$F_{\text{пл}} = b l = 8,27 \cdot 3,35 = 27,7 \text{ м}^2$$

$$k_{\text{пл}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где $\alpha_1 = 45301 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$ - коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара в плите к стенке;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от потолочной плиты к наружному воздуху.

Примем скорость воздуха над стенкой плиты $V = 1,3 \text{ м/с}$.

$$\alpha_2 = 15,07 \cdot 1,3 + 22,19 = 41,78 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$k_{\text{пл}} = \frac{1}{\frac{1}{45000} + \frac{0,0025}{167,8} + \frac{0,05}{0,293} + \frac{0,0025}{167,8} + \frac{1}{41,78}} = 5,14 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_{5\text{пл}} = 5,14 \cdot 27,7 \cdot 88 = 12529,3 \text{ кДж/ч}$$

$Q_{\text{пл}}'$ - лучеиспускание и конвекция тепла внутрь зрельника.

$$Q_{\text{пл}}' = k' F_{\text{пл}} \Delta t'$$

$$F_{\text{пл}} = 27,7 \text{ м}^2$$

$$\Delta t_{\text{пл}}' = t_{\text{п}} - t_{\text{техн.пара}} = 108 - 105 = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_{\text{м}}}{\lambda_{\text{м}}} + \frac{1}{\alpha_3}}, \quad \alpha_3 = \beta_1 + \beta_2$$

β_1 - коэффициент теплоотдачи за счет конвекции.

β_2 - коэффициент теплоотдачи за счет лучеиспускания.

$$\beta_1 = 0,81 A c \sqrt[4]{t_{\text{пл}} - t_{\text{зр}}}$$

A - коэффициент, учитывающий среду, воспринимающую тепло; в нашем случае это водяной пар, $A = 0,86$.

$c = a c_0$, где $a = 0,736$ - коэффициент черноты для окисленного железа;

$c_0 = 20,52 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}^4$ – коэффициент пропорциональности для абсолютно черного тела.

$t_{пл}$ - средняя температура стенки между потолочной плитой и зрельной камерой.

$$t_{пл} = \frac{108 + 105}{2} = 106,5^{\circ}\text{C} \quad t_{зр} = t_{\text{пара в зрельной камере}}$$

$$\beta_1 = 0,81 \cdot 0,86 \cdot 0,736 \cdot 20,52 \sqrt[4]{106,5 - 105} = 10,47 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$\beta_2 = \frac{a c_0 \left[\left(\frac{T_{пл}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{зр}}{100} \right)^4 \right]}{t_{пл} - t_{зр}} = \frac{0,736 \cdot 20,52 \left[\left(\frac{273 + 108}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + 105}{100} \right)^4 \right]}{108 - 105} =$$

$$= 40,19 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$\alpha_3 = 10,47 + 40,19 = 50,66 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{45000} + \frac{0,0025}{167,8} + \frac{1}{50,66}} = 50,56 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_{пл}' = 50,56 \cdot 27,7 \cdot 3 = 4201,5 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{пл} = 12529,3 + 4201,5 = 16730,8 \text{ кДж/ч}$$

Расход пара на обогрев плиты:

$$G_{пл} = \frac{16730,8}{2689,3 - 462} = 7,5 \text{ кг/ч}$$

Количество технологического пара, выбрасываемого через щели зрельника:

$$G_{выбр} = 3600 V F_{щ} \rho_{п} ,$$

где $V = 1,5 \text{ м/с}$ – скорость выхода пара из щели;

$F_{щ} = 0,025 \text{ м}^2$ (по технической характеристике);

$\rho_{п} = 0,58 \text{ кг/м}^3$ – плотность пара.

$$G_{выбр} = 3600 \cdot 1,5 \cdot 0,025 \cdot 0,58 = 78,3 \text{ кг/ч}$$

Энтальпия этого пара:

$$i_{выбр} = 2491,27 + 0,47 \cdot c_{в} t_{в} = 2491,27 + 0,47 \cdot 4,187 \cdot 105 = 2697,9 \text{ кДж/кг}$$

Потери тепла через стенки: $Q_5 = Q_{5пл} + Q_{5бок.ст.}$

$$Q_{5\text{пл}} = 12529,3 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{5\text{бок.ст.}} = k_{\text{ст}} F_{\text{ст}} \Delta t_{\text{ст}}$$

$$k_{\text{ст}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где $\alpha_1 = 43626 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$ - коэффициент теплоотдачи от технологического пара к внутренней стенке камеры;

$$\alpha_2 = 41,78 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}.$$

Примем боковые стенки из 2-х листов металла толщиной $\delta_m = 0,0025 \text{ м}$ и между ними слой изоляции из стекловолокна, $\delta_{\text{из}} = 0,05 \text{ м}$, $\lambda_{\text{из}} = 0,553 \text{ кДж/м ч град}$.

$$k_{\text{ст}} = \frac{1}{\frac{1}{43626} + \frac{0,0025}{167,48} + \frac{0,05}{0,553} + \frac{0,0025}{167,48} + \frac{1}{41,78}} = 8,74 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

$$\text{Площадь боковых стенок } F_{\text{ст}} = 2 h (b+1) = 2 \cdot 3,2 \cdot (8,27 + 3,35) = 74,3 \text{ м}^2$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = t_{\text{зр}} - t_{\text{возд}} = 105 - 20 = 85 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{5\text{бок.ст.}} = 8,74 \cdot 74,3 \cdot 85 = 55197,47 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_5 = 55197,47 + 12529,3 = 67726,77 \text{ кДж/ч}$$

Средняя температура изоляции после разогрева зрельника:

$$t_{\text{из}}' = \frac{t_{\text{из.внутр.слоев}} + t_{\text{из нар.слоев}}}{2}$$

Внутренние слои изоляции имеют температуру :

$$t_{\text{из внутр.сл.}} = t_{\text{п}} - \frac{k \Delta t}{\alpha_1} = 108 - \frac{5,14 \cdot 88}{45000} \approx 108 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{боковые стенки } t_{\text{из внутр.сл.}} = t_{\text{п}} - \frac{k \Delta t}{\alpha_1} = 105 - \frac{8,74 \cdot 85}{43626} \approx 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Средняя } t_{\text{из вн.сл.}} = \frac{108 \cdot 27,7 + 105 \cdot 74,3}{27,7 + 74,3} = 105,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура наружных слоев изоляции:

$$t_{\text{из.нар.слоев}} = t_{\text{возд}} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2} = 20 + \frac{5,14 \cdot 88}{41,78} = 30,82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{боковые стенки } t_{\text{из.нар.слоев}} = t_{\text{возд}} + \frac{k_{\text{ст}} \Delta t}{\alpha_2} = 20 + \frac{8,74 \cdot 85}{41,78} = 37,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из.нар.сл.}} = \frac{30,82 \cdot 27,7 + 37,78 \cdot 74,3}{27,7 + 74,3} = 35,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из}}' = \frac{105,8 + 35,9}{2} = 70,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Затраты тепла на разогрев пароумформера слагаются из тепла, идущего на нагревание воды и на частичное ее испарение.

$$Q_{\text{пу}} = G_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в}}' - t_{\text{в}}) + G_{\text{исп}} (i_{\text{исп}} - c_{\text{в}} t_{\text{в}}) \tau_{\text{разогр}}$$

$$G_{\text{в}} = 2000 \text{ кг}; \quad c_{\text{в}} = 4,187 \text{ кДж/кг град}; \quad t_{\text{в}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{\text{в}}' = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Количество воды, испаряемой за время разогрева:

$$G_{\text{исп}} = c F_{\text{исп}} (H - h) \frac{1013}{B}$$

$c = 0,0172 + 0,0083 V$ – коэффициент испарения при скорости воздуха над поверхностью испарения при $V=1 \text{ м/с}$.

$$c = 0,0172 + 0,0083 \cdot 1 = 0,0255 \text{ кг/м}^2 \text{ ч гПа}$$

$$F_{\text{исп}} = a l b = 1,2 \cdot 8,27 \cdot 3,35 = 33,2 \text{ м}^2, \text{ где } a \text{ – поправочный коэффициент.}$$

H – парциальное давление насыщенных паров при средней температуре испарения $t_{\text{ср}} = (100+15)/2 = 57,5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$h = \frac{\varphi}{100} H_0,$$

где $\varphi = 90 \%$ – влажность паровоздушной среды в камере при разогреве.

$$H_0 = H_{t=20^\circ\text{C}} = 23,31 \text{ гПа}; \quad h = 0,01 \cdot 0 \cdot 23,31 = 20,98 \text{ гПа}; \quad H = H_{57,5} = 177,8 \text{ гПа};$$

$B = 1013 \text{ гПа}$ – барометрическое давление.

$$G_{\text{исп}} = 0,0255 \cdot 33,2 \cdot (177,8 - 20,98) \frac{1013}{1013} = 132,76 \text{ кг/ч}$$

$$i_{исп} = 2491,27 + 1,97 t_{исп} = 2491,27 + 1,97 \cdot 57,5 = 2604,5 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{пу} = 2000 \cdot 4,187 \cdot (100 - 15) + 132,76 \cdot (2604,5 - 4,187 \cdot 15) \cdot 0,5 = 880507,7 \text{ кДж}$$

Расход пара на разогрев пароумформера:

$$G_{пу} = \frac{Q_{пу}}{i_{пу} - i_{к}} = \frac{880507,7}{2735,7 - 640,6} = 420,27 \text{ кг пара}$$

Подставим все полученные величины в баланс разогрева и решим его относительно $G_{остр.пара}$:

$$4972,5 \cdot 0,502 \cdot 20 + 1425 \cdot 0,84 \cdot 20 + 2000 \cdot 4,187 \cdot 15 + 7,5 \cdot 2689,3 \cdot 0,5 + 420,27 \cdot 2735,7 + G_{остр.} \cdot 2735,7 = 4972,5 \cdot 0,502 \cdot 105 + 1425 \cdot 0,84 \cdot 70,85 + 2000 \cdot 4,187 \cdot 100 + 7,5 \cdot 462 \cdot 0,5 + 420,27 \cdot 640,6 + G_{остр.} \cdot 640,6 + (132,76 \cdot 2604,5 + 78,3 \cdot 2697,9 + 67726,77) \cdot 0,5$$

$$G_{остр.} = 194,9 \text{ кг.}$$

Устойчивая работа зрельника

$$G_{тк} c_{тк} t_{тк} + G_{тк} \frac{W_1}{100} c_v t_{тк} + G_{пл} i_{пл} + G_{пу} i_{пу} + G_v c_v t_v + Q_{пл}' =$$

$$G_{тк} c_{тк} t_{тк}' + G_{тк} \frac{W_2}{100} c_v t_{тк}' + G_{пл} i_{к} + G_{пу} i_{к} + G_v c_v t_v' + G_{выбр} i_{выбр} + Q_5 + G_{исп} i_{исп}$$

$G_{тк}$ – масса абсолютно сухой ткани с сухими веществами краски, проходящей через зрельник за 1 час.

$$G_{тк} = \frac{G_{тк.сух.}}{n \tau_{маш}} = \frac{22847,5}{3 \cdot 13,64} = 558,3 \text{ кг/ч}$$

Теплоемкость ткани $c_{тк} = c_{цел.} = 1,298 \text{ кДж/кг град.}$

$t_{тк} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{тк}' = 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_1 = 8\%$ - влажность ткани перед зрелением.

Расход воды на устойчивую работу G_v и влажность ткани на выходе из зрельника W_2 определим при совместном решении теплового и материального балансов для ткани.

Тепловой баланс:

$$G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{ТК}} \frac{W_1}{100} c_{\text{В}} t_{\text{ТК}} + G_{\text{Погл}} i_{\text{Погл}} = G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} t_{\text{ТК}}' + G_{\text{ТК}} \frac{W_2}{100} c_{\text{В}} t_{\text{ТК}}'$$

$G_{\text{Погл}}$ – количество конденсирующего на ткани пара в зрельнике.

Энтальпия этого пара $i_{\text{П}} = i_{\text{выбр}} = 2697,9 \text{ кДж/кг}$.

$$558,3 \cdot 1,298 \cdot 30 + 558,3 \cdot 0,01 \cdot 8 \cdot 4,187 \cdot 30 + G_{\text{Погл}} \cdot 2697,9 = 558,3 \cdot 1,298 \cdot 105 + 558,3 \cdot 0,01 \cdot W_2 \cdot 4,187 \cdot 105$$

$$2697,9 G_{\text{Погл}} = 2454,482 W_2 + 48740,26$$

Материальный баланс:

$$G_{\text{ТК}} \frac{W_1}{100} + G_{\text{Погл}} = G_{\text{ТК}} \frac{W_2}{100}$$

$$558,3 \cdot 0,01 \cdot 8 + G_{\text{Погл}} = 558,3 \cdot 0,01 \cdot W_2$$

$$G_{\text{Погл}} = 5,583 W_2 - 44,664$$

Решая совместно оба баланса, получаем

$$2697,9 (5,583 W_2 - 44,664) = 2454,482 W_2 + 48740,26$$

$$W_2 = 13,42 \%$$

Общий по влаге материальный баланс:

$$G_{\text{ТК}} \frac{W_1}{100} + G_{\text{В}} = G_{\text{ТК}} \frac{W_2}{100} + G_{\text{выбр}}$$

$$558,3 \cdot 0,01 \cdot 8 + G_{\text{В}} = 558,3 \cdot 0,01 \cdot 13,42 + 78,3$$

$$G_{\text{В}} = 108,56 \text{ кг/ч}$$

$$Q_{\text{пл}}' = 4201,5 \text{ кДж/кг}$$

$$G_{\text{исп}} = c F (H - h) \frac{1013}{B},$$

где $c = 0,0255 \text{ кг/м}^2 \text{ ч зПа}$; $F = 33,2 \text{ м}^2$;

$H = 177,8 \text{ зПа}$ при $t_{\text{исп}} = (100+15)/2 = 57,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$h = \frac{\varphi}{100} H_0 = 0,01 \cdot 90 \cdot 177,8 = 160 \text{ зПа}$$

$H_0 = H$ в условиях устойчивой работы камеры.

$$G_{\text{исп}} = 0,0255 \cdot 33,2 \cdot (177,8 - 160) \cdot \frac{1013}{1013} = 15,07 \text{ кг/ч}$$

$$i_{\text{исп}} = 2604,5 \text{ кДж/кг}$$

Подставим все величины в общий тепловой баланс при устойчивой работе зрельника:

$$558,3 \cdot 1,298 \cdot 30 + 558,3 \cdot 0,01 \cdot 8 \cdot 4,187 \cdot 30 + 7,5 \cdot 2689,3 + G_{\text{пу}} \cdot 2735,7 + 108,56 \cdot 4,187 \cdot 15 + 4201,5 = 558,3 \cdot 1,298 \cdot 105 + 558,3 \cdot 0,01 \cdot 13,42 \cdot 4,187 \cdot 105 + 7,5 \cdot 462 + G_{\text{пу}} \cdot 640,6 + 108,56 \cdot 4,187 \cdot 100 + 78,3 \cdot 2697,9 + 67726,77 + 15,07 \cdot 2604,5$$

$$G_{\text{пу}}^{\text{уст}} = 199,3 \text{ кг/ч}$$

Затраты тепла при простоях зрельника в горячем состоянии

$$G_{\text{пл}} i_{\text{пл}} + G_{\text{пу}} i_{\text{пу}} + G_{\text{в}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} + Q_{\text{пл}}' = G_{\text{пл}} i_{\text{к}} + G_{\text{пу}} i_{\text{к}} + G_{\text{выбр}} i_{\text{выбр}} + Q_5$$

Количество воды, расходуемое при простоях зрельника в горячем состоянии $G_{\text{в}}$ равно количеству выбрасываемого через щели пара.

$$G_{\text{в}} = G_{\text{выбр}} = 78,3 \text{ кг/ч}$$

$$7,5 \cdot 2689,3 + G_{\text{пу}} \cdot 2735,8 + 78,3 \cdot 4,187 \cdot 15 + 4201,5 = \\ = 7,5 \cdot 462 + G_{\text{пу}} \cdot 640,6 + 78,3 \cdot 2697,9 + 67726,77$$

$$G_{\text{пу}}^{\text{прост}} = 120,8 \text{ кг/ч}$$

Общие затраты тепла на один зрельник в пересчете на нормальный пар

- Затраты на потолочную плиту:

$$G_{\text{пл}}^{\text{сут}} = G_{\text{пл}} (\tau_{\text{разогр}} + \tau_{\text{маш}} + \tau_{\text{прост.в гор.сост.}}) = 7,5(0,5 + 13,64 + 0,26) = 108 \text{ кг пара/сутки}$$

$$G_{\text{пл н.п.}} = G_{\text{пл}}^{\text{сут}} \frac{i_{\text{пл}}}{i_{\text{н.п}}} = 108 \cdot \frac{2689,3}{2674,2} = 108,6 \text{ кг н.п./сутки}$$

- Затраты острого пара при разогреве:

$$G_{\text{н.п.}} = G_{\text{остр}} \frac{i_{\text{п}}}{i_{\text{н.п}}} = 194 \cdot \frac{2735,7}{2674,2} = 199,38 \text{ кг н.п./сутки}$$

- Затраты пара в пароумформере:

$$G_{\text{пу}}^{\text{сут}} = G_{\text{раз}} + G_{\text{уст}} \tau_{\text{маш}} + G_{\text{прост.в гор.сост.}} \tau_{\text{прост.в гор.сост.}} =$$
$$420,27 + 199,3 \cdot 13,64 + 120,8 \cdot 0,26 = 3170,1 \text{ кг пара/сутки}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{пу н.п.}} = 3170,1 \cdot \frac{2735,7}{2674,2} = 3243 \text{ кг н.п./сутки}$$

Общий расход нормального пара:

$$G_{\text{сут н.п.}} = 108,6 + 3243 + 199,38 = 3551 \text{ кг н.п./сутки}$$

Удельный расход нормального пара:

$$q' = \frac{n G_{\text{сут.н.п.}}}{\sum G_{\text{тк}}} = \frac{3 \cdot 3551}{22433,8} = 0,475 \text{ кг н.п./кг отб.тк.}$$

$$q'' = \frac{n G_{\text{сут.н.п.}} \cdot 1000}{\sum L} = \frac{3 \cdot 3551 \cdot 1000}{220000} = 48,4 \text{ кг н.п./1000 м тк.}$$

2.5 Теплотехнический расчет сушильной барабанной машины

МСБ-2-30/140 из линии ЛКС-140-12

Характеристика МСБ-2-30/140

МСБ состоит из остова, выполненного из сварных рам для каждой из 3-х колонок барабанов. На рамах установлены сушильные барабаны (по 10 штук в колонке). В барабаны подается пар с давлением 3-6 атм, отвод конденсата происходит через сифонную трубку. Сушильные барабаны приводятся во вращении двигателями постоянного тока.

Машина закрыта шатром с теплоизоляцией. Паровоздушная смесь из шатра машины удаляется вытяжным вентилятором.

МСБ установлена в линии ЛКС-140-12 после промывной секции. Скорость движения ткани примем 60 м/мин.

Габаритные размеры, мм

длина - 8580

ширина - 2812

высота - 3900

Масса, кг - 12323

Толщина металлических листов шатра: $\delta_m = 0,001 \text{ м}$

Толщина слоя изоляции: $\delta_{из} = 0,05 \text{ м}$

Сведения об обрабатываемых тканях

На линии ЛКС-140-12 окрашиваются 2 артикула тканей сернистыми красителями (табл. 5).

Таблица 5

Наименование ткани	Кол-во обраб. ткани, L, м	Ширина ткани, b, м	Площадь ткани, F, м ²	Масса 1 м ² , g, кг/м ²	Масса ткани, G, кг
1. Сатин, 501	50000	0,8	40000	0,145	5800
2. Сатин, 520	100000	0,9	90000	0,133	11970
Итого:	$\Sigma L = 150000 \text{ м}$		$\Sigma F = 130000 \text{ м}^2$		$\Sigma G = 17770 \text{ кг}$

Средняя ширина обрабатываемых тканей $b_{\text{ср}}$:

$$b_{\text{ср}} = \frac{\Sigma F}{\Sigma L} = \frac{\Sigma(Lb)}{\Sigma L} = \frac{50000 \cdot 0,8 + 100000 \cdot 0,9}{150000} = \frac{130000}{150000} = 0,867 \text{ м}$$

Средняя масса 1 м² обрабатываемых тканей $g_{\text{ср}}$:

$$g_{\text{ср}} = \frac{\Sigma G}{\Sigma F} = \frac{17770}{130000} = 0,136 \text{ кг/м}^2$$

Масса 1 м² абсолютно сухой ткани:

$$g_{\text{сух}} = g_{\text{ср}} \frac{100}{100 + W_{\text{гигр}}} = 0,136 \cdot \frac{100}{100 + 8} = 0,126 \text{ кг/м}^2$$

Распределение рабочего времени машины МСБ

Красильный цех работает в 2 смены, следовательно $\tau_{\text{раб}} = 16 \text{ ч}$.

Примем время разогрева $\tau_{\text{разогр}} = 0,5 \text{ ч}$.

Длительность работы оборудования: $\tau_{\text{маш}} = \frac{\Sigma L}{V m n 60}$

$V = 60 \text{ м/мин}$; $m = 1 \text{ полотно}$.

$$n = \frac{\Sigma L}{L_{\text{расч}}} = \frac{\Sigma L}{60 V \tau_{\text{раб}} k_{\text{пв}} k_{\text{пл}} m} = \frac{150000}{60 \cdot 60 \cdot 16 \cdot 0,95 \cdot 0,92 \cdot 1} = \frac{150000}{50342} = 2,98$$

В цехе установлено $n = 3$ линии.

$$\tau_{\text{маш}} = \frac{150000}{60 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 60} = 13,9 \text{ ч}$$

Время простоев: $\tau_{\text{прост}} = 16 - 0,5 - 13,9 = 1,6 \text{ ч}$

Коэффициент использования оборудования:

$$k_{\text{и.о}} = \frac{\Sigma L}{n L_{\text{расч}}} = \frac{150000}{3 \cdot 50342} = 0,993$$

Время простоев в холодном состоянии:

$$\tau_{\text{прост в хол.сост.}} = \tau_{\text{раб}} (2 - k_{\text{и.о}} - k_{\text{пл}}) = 16 (2 - 0,993 - 0,92) = 1,39 \text{ ч}$$

Время простоев в горячем состоянии: $\tau_{\text{прост в гор.сост.}} = 1,6 - 1,39 = 0,21 \text{ ч}$.

Выбор характеристик пара для экономной и эффективной сушки на МСБ

Установим параметры пара (давление и температура), необходимые для сушки ткани при скорости 60 м/мин.

Продолжительность сушки Z будем рассчитывать по формуле:

$$Z = k (1,58 g_{\text{сух}}^2 + 0,162 g_{\text{сух}}) \frac{100}{2,14 \cdot (t_{\text{п}} - 100) + 58} \left(0,604 + \frac{0,56}{\sqrt{V\rho + 2}}\right) \cdot$$

$$\left[2331g \frac{W_1}{W_2} + (W_1 - W_2) \right]$$

Примем $k = 2$ – коэффициент полноты удаления конденсата из барабанов.

$$g_{\text{сух}} = 0,126 \text{ кг/м}^2$$

Давление пара:	1 ата	2 ата	3 ата
Температура пара:	99,1 ⁰ С	119,6 ⁰ С	132,9 ⁰ С

Чаще всего пар перегрет, примем температуру перегрева 10⁰С.

$$\text{Тогда } t_{\text{п1}} = 109,1 \text{ }^{\circ}\text{С}; \quad t_{\text{п2}} = 129,6 \text{ }^{\circ}\text{С}; \quad t_{\text{п3}} = 142,9 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

$V = 0$, скорость движения горячего воздуха при наличии обдува ткани.

ρ - плотность воздуха при наличии принудительного дутья.

$W_1 = 70\%$ - влажность ткани на входе в МСБ.

$W_2 = 6\%$ - влажность ткани после сушки.

$$Z_1 = 2 (1,58 \cdot 0,126^2 + 0,162 \cdot 0,126) \frac{100}{2,14 \cdot (109,1 - 100) + 58} \left(0,604 + \frac{0,56}{\sqrt{2}}\right) \cdot$$

$$\left[2331g \frac{70}{6} + (70 - 6) \right] = 36,7 \text{ с}$$

$$Z_2 = 2 (1,58 \cdot 0,126^2 + 0,162 \cdot 0,126) \frac{100}{2,14 \cdot (129,6 - 100) + 58} \left(0,604 + \frac{0,56}{\sqrt{2}}\right) \cdot$$

$$\left[2331g \frac{70}{6} + (70 - 6) \right] = 23,7 \text{ с}$$

Аналогично $Z_3 = 19 \text{ с}$.

Скорость сушки и ее продолжительность связаны между собой уравнением:

$$V = \frac{L_{\text{акт}} 60}{Z},$$

где $L_{\text{акт}}$ - длина активной заправки ткани в МСБ.

$$L_{\text{акт}} = \frac{\pi D n \alpha m}{360} = \frac{3,14 \cdot 0,57 \cdot 30 \cdot 265 \cdot 1}{360} = 39,5 \text{ м}$$

$$V_1 = \frac{L_{\text{акт}} 60}{Z_1} = \frac{39,5 \cdot 60}{36,7} = 64,6 \text{ м/мин}$$

$$V_2 = \frac{L_{\text{акт}} 60}{Z_2} = \frac{39,5 \cdot 60}{23,7} = 100 \text{ м/мин}$$

$$V_3 = \frac{L_{\text{акт}} 60}{Z_3} = \frac{39,5 \cdot 60}{19} = 125 \text{ м/мин}$$

Зависимость между давлением перегретого на 10^0C пара и возможной скоростью сушки представим графически (рис 3):

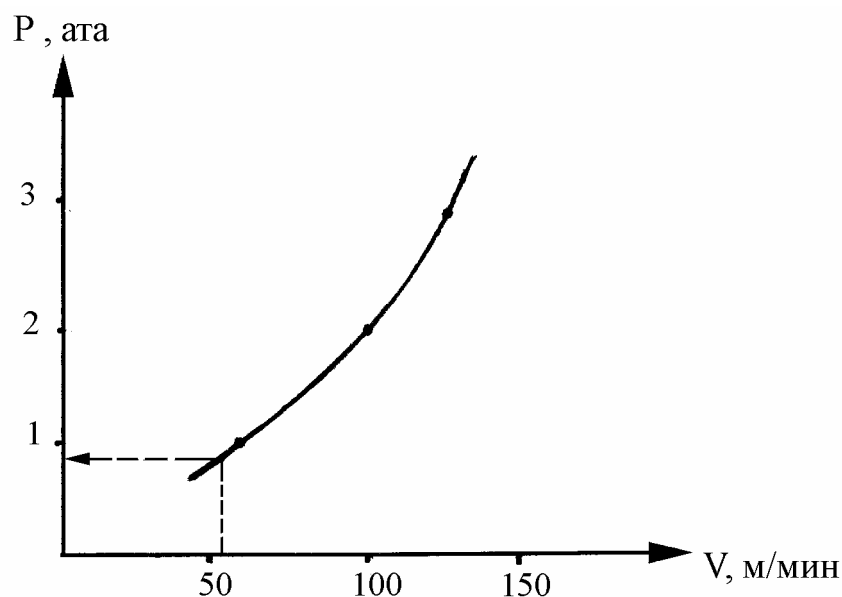


Рис. 3

По графику видно, что при скорости работы машины 60 м/мин давление пара должно быть немного меньше 1 ата . Для дальнейших расчетов можно принять пар, подаваемый в барабаны, с давлением 1 ата и перегревом 10^0C . Температура пара $109,1^0\text{C}$, энтальпия пара $i_{\text{п}} = 2694,2 \text{ кДж/кг}$, энтальпия конденсата $i_{\text{к}} = 0,02 i_{\text{п}} + 0,98 c_{\text{в}} t_{\text{в}} = 0,02 \cdot 2694,2 + 0,98 \cdot 4,187 \cdot 109,1 = 500,8 \text{ кДж/кг}$.

Теплотехнический расчет Разогрев сушильных барабанов

$$G_M c_M t_M + G_{из} c_{из} t_{из} + G_{возд} c_{возд} t_{возд} + G_{п} i_{п} =$$

$$G_M c_M t_M' + G_{из} c_{из} t_{из}' + G_{возд} c_{возд} t_{возд}' + G_{п} i_{к} + Q_5 \tau_{разогр.}$$

Массу металлических частей машины примем равной 70% от массы всей машины МСБ.

$$G_M = 0,7 \cdot 12323 = 8626,1 \text{ кг}$$

$$c_M = 0,502 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$$

$$t_M = t_{из} = t_{возд} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_M' = t_{п} = 109,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Масса изоляции $G_{из} = F_{из} \delta_{из} \rho_{из}$.

$$F_{из} = 2 h (b+1) + b l = 2 \cdot 3,9 (8,58+2,81) + 8,58 \cdot 2,81 = 113 \text{ м}^2$$

$$\delta_{из} = 0,05 \text{ м} ; \rho_{из} = 300 \text{ кг/м}^3.$$

$$G_{из} = 113 \cdot 0,05 \cdot 300 = 1695 \text{ кг}$$

$$c_{из} = 0,837 \text{ кДж/кг}\cdot\text{}^{\circ}\text{C}$$

Средняя температура изоляции после разогрева:

$$t_{из}' = \frac{t_{из.внутр.слоев} + t_{из.нар.слоев}}{2}$$

$$t_{из.внутр.сл.} = t_{внутр.} - \frac{k \Delta t}{\alpha_1}$$

Температура наружных слоев изоляции:

$$t_{из.нар.слоев} = t_{возд} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2}$$

Обычно температура среды под шатром барабанов 60-80⁰С. Примем $t_{внутр.}=70^{\circ}\text{C}$.

$\alpha_1 = 15,07V + 22,19$ - коэффициент теплоотдачи от нагретого воздуха под ограждением шатра к стенке шатра. Скорость воздуха $V = 1 \text{ м/с}$.

$$\alpha_1 = 15,07 \cdot 1 + 22,19 = 37,26 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{ч град}$$

$\alpha_2 = 33,5 + 0,21t_{\text{ст.нар.}}$ - коэффициент теплоотдачи от нагретой стенки шатра к воздуху цеха. Примем $t_{\text{ст.нар.}} = 30^{\circ}\text{C}$ (по санитарным нормам температура наружной стенки не должна превышать 35-40 $^{\circ}\text{C}$).

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 \cdot 30 = 39,8 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

Коэффициент теплопередачи через сложную стенку шатра:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{37,26} + \frac{0,001}{167,48} + \frac{0,05}{0,293} + \frac{0,001}{167,48} + \frac{1}{39,8}} = 4,61 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$\Delta t = t_{\text{внутр}} - t_{\text{нар}} = 70 - 25 = 45^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{из.вн.сл.}} = 70 - \frac{4,61 \cdot 45}{37,26} = 64,5^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{из.нар.сл.}} = 25 + \frac{4,61 \cdot 45}{39,8} = 30,2^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{из}}' = \frac{64,5 + 30,2}{2} = 47,4^{\circ}\text{C}$$

Потери тепла в окружающую среду через стенки шатра $Q_5 = k F \Delta t = 4,61 \cdot 113 \cdot 45 = 23441,9 \text{ кДж/ч}$.

Поскольку объем воздуха внутри МСБ невелик, затратами на его нагрев пренебрегаем.

Подставим все значения в тепловой баланс разогрева:

$$8626,1 \cdot 0,502 \cdot 25 + 1695 \cdot 0,837 \cdot 25 + G_{\text{п}} \cdot 2694,2 =$$

$$8626,1 \cdot 0,502 \cdot 109,1 + 1695 \cdot 0,837 \cdot 47,4 + G_{\text{п}} \cdot 500,8 + 23441,9 \cdot 0,5$$

Расход пара на разогрев МСБ: $G_{\text{п}} = 186 \text{ кг}$

Устойчивая работа сушилки МСБ

Расчет потребности в тепле на сушку ткани при устойчивой работе машины проводим по отдельным элементам затрат на 1 кг испаренной с ткани влаги.

- Расход тепла на испарение влаги:

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 c_B t_{исп} - c_B t_{ТК}$$

$t_{исп} = t_{вн} = 70^{\circ}C$ температура, при которой происходит испарение влаги с ткани, т.е.

$$t_{сушки} = t_{вн} = 70^{\circ}C.$$

$t_{ТК}$ - температура, с которой ткань поступает в сушилку (в нашем случае это температура воды в последней промывной ванне, стоящей перед МСБ). По технологической проводке крашения сернистыми красителями $t_{ТК} = 60^{\circ}C$.

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 \cdot 4,187 \cdot 70 - 4,187 \cdot 60 = 2377,8 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

- Затраты на нагрев воздуха, который уносит с собой из сушилки 1 кг испаренной влаги:

$$q_1 = \frac{1}{d_2 - d_1} (0,24 + 0,47 d_1) (t_{вн} - t_{возд}) c_B$$

d_1 - влажность воздуха в помещении цеха, т.е. воздуха входящего в сушилку

$$d_1 = 0,02 \text{ кг воды/кг сухого воздуха}$$

d_2 - влажность паровоздушной смеси, удаляемой из сушилки.

$$d_2 = 0,12 \text{ кг воды/кг сухого воздуха}$$

$$q_2 = \frac{1}{0,12 - 0,02} (0,24 + 0,47 \cdot 0,02) (70 - 25) \cdot 4,187 = 470 \text{ кДж/кг исп.вл}$$

- Расход тепла на нагрев ткани, вносящей в сушилку 1 кг влаги:

$$q_3 = \frac{G_{ТК} c_{ТК}}{W} (t_{ух.ТК} - t_{вх.ТК})$$

$G_{ТК}$ - масса абсолютно сухой ткани, проходящей через сушилку за 1 час.

$$G_{ТК} = 60 \cdot v_{ср} \cdot g_{сух} = 60 \cdot 60 \cdot 0,867 \cdot 0,126 = 393,3 \text{ кг/ч}$$

$c_{ТК}$ - теплоемкость воздушносухой ткани на выходе из сушилки.

$$c_{ТК} = \frac{c_{сух} (100 - W_2) + W_2 c_B}{100} = \frac{1,298(100 - 6) + 6 \cdot 4,187}{100} = 1,47 \text{ кДж/кг град}$$

$W_2=6\%$ - влажность ткани после сушки.

W – количество влаги, испаряемой в сушилке за 1 час устойчивой работы.

$$W = G_{\text{тк}} \frac{W_1 - W_2}{100} = 393,3 \frac{70 - 6}{100} = 251,7 \text{ кг/ч}$$

$$q_3 = \frac{393,3 \cdot 1,47}{251,7} (70 - 60) = 22,97 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

- Потери тепла в окружающую среду:

$$q_5 = \frac{Q_5}{W} = \frac{23441,9}{251,7} = 93,1 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

Общие затраты тепла при испарении 1 кг влаги:

$$\Sigma q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 2377,8 + 470 + 22,97 + 93,1 = 2963,9 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

Удельный расход пара на устойчивую работу:

$$q_{\text{п}} = \frac{\Sigma q}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{2963,9}{2694,2 - 500,8} = 1,35 \text{ кг пара/кг исп.вл.}$$

Расход пара за 1 час устойчивой работы МСБ:

$$G_{\text{п}} = q_{\text{п}} W = 1,35 \cdot 251,7 = 339,8 \text{ кг пара/ч}$$

Расход пара за все время устойчивой работы в сутки:

$$G_{\text{п уст}} = G_{\text{п}} \tau_{\text{маш}} = 339,8 \cdot 13,9 = 4723,2 \text{ кг пара/сутки}$$

Простои в горячем состоянии

Тепловая энергия при простоях в горячем состоянии расходуется на компенсацию теплопотерь через стенки шатра и с уходящим из-под шатра воздухом.

а) задвижка вытяжной вентиляции не закрыта:

$$Q_{\text{прост}} = Q_5 + q_2 W = 23441,9 + 470 \cdot 251,7 = 141740,9 \text{ кДж/ч}$$

б) задвижка закрыта:

$$Q_{\text{прост}} = Q_5 = 23441,9 \text{ кДж/ч}$$

Более экономный вариант б). Примем его для расчета, тогда расход пара при простоях:

$$G_{\text{п прост.}} = \frac{Q_5}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{23441,9}{2694,2 - 500,8} = 10,69 \text{ кг/ч.}$$

Суточный расход пара при простоях :

$$G_{\text{п прост.}} = G_{\text{п прост.}} \cdot \tau_{\text{прост в гор.сост.}} = 10,69 \cdot 0,21 = 2,24 \text{ кг/сутки}$$

Общий расход пара на МСБ

$$G_{\text{сут.}} = G_{\text{раз}} + G_{\text{уст}} + G_{\text{прост}} = 186 + 4723,2 + 2,24 = 4911,4 \text{ кг пара/сутки}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{сут.н.п.}} = 4911,4 \cdot \frac{2694,2}{2674,2} = 4948,1 \text{ кг н.п./сутки}$$

Удельный расход нормального пара:

$$q' = \frac{n G_{\text{сут.н.п.}}}{\sum G_{\text{тк}}} = \frac{3 \cdot 4948,1}{17770} = 0,835 \text{ кг н.п./кг тк.}$$

$$q'' = \frac{n G_{\text{сут.н.п.}} \cdot 1000}{\sum L} = \frac{3 \cdot 4948,1 \cdot 1000}{150000} = 98,96 \text{ кг н.п./1000 м тк}$$

2.6 Теплотехнический расчет машины сушильной ширильной МШС-01-05/140 из линии ЛЗО-140-1

Характеристика МШС-01-05/140

Машина имеет вводное поле; сушильную камеру, закрытую шатром с теплоизоляцией; выводное поле.

Габаритные размеры, мм	Всей машины	Сушильной камеры
длина	18356	2040 n = 2040 · 5 = 10200
ширина	3260	3200
высота	3000	2500
Число секций, n, шт	- 5	
Давление пара, ата	- не более 6	

Примем для расчета пар с $p = 6 \text{ ата (5884 гПа)}$

$$t_{\text{п}} = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$i_{\text{п}} = 2806 \text{ кДж/кг}$$

$$i_{\text{к}} = 0,02 i_{\text{п}} + 0,98 c_{\text{в}} t_{\text{к}} = 0,02 \cdot 2806 + 0,98 \cdot 4,187 \cdot 180 = 794,7 \text{ кДж/кг}$$

Температура сушки, $^{\circ}\text{C}$ - 140

Шатер имеет сложную стенку:

Толщина металлических листов $\delta_{\text{м}} = 0,0015 \text{ м}$

Толщина изоляции $\delta_{\text{из}} = 0,06 \text{ м}$

Масса МШС, кг - 28200

Сведения об обрабатываемых тканях

Пусть на линиях ЛЗО-140-1 обрабатывается хлопчатобумажная ткань в количестве $L = 200000 \text{ м/сутки}$.

Ширина ткани $b = 0,8 \text{ м}$.

Масса 1 м^2 отбеленной ткани $g = 0,115 \text{ кг/м}^2$.

На ткань наносится аппрет для малосмываемой изноустойчивой отделки.

Определим массу ткани абсолютно сухой с сухими веществами аппрета:

$$G_{\text{сух.тк.}} = G_{\text{отб.тк.}} \cdot \frac{100 - W_{\text{гигр}}}{100} \cdot \frac{100 + \Delta P_{\text{аппр}}}{100}$$

$$G_{\text{отб.тк.}} = L b g = 200000 \cdot 0,8 \cdot 0,115 = 18400 \text{ кг}$$

$W_{\text{гигр}} = 8\%$ - гигроскопическая влажность отбеленной ткани, поступающей на заключительную отделку.

ΔP - удельный расход сухих веществ, наносимых на ткань с аппретом.

$$\Delta P = \frac{G_{\text{сух.в-в аппрета}}}{G_{\text{отб.тк.}}} \cdot 100$$

Состав аппрета, г/л :	всего	в т.ч. сухих веществ
Карбамол (20%)	36	7,2
Аммиачная вода (20%)	3,6	-
Крахмальный аппрет (6%)	173	10,4
Хлористый аммоний	4	4

Итого: 21,6 г/л

Отжим ткани после пропитки 90%

Следовательно на 1 кг сухой ткани расходуется $0,9 \cdot 21,6 = 19$ г сухих веществ или $0,019$ кг сух.в-в/кг сух.тк.

$$\Delta P = 0,019 \cdot 100 = 1,9\%$$

$$G_{\text{сух.тк.}} = 18400 \frac{100-8}{100} \cdot \frac{100+1,9}{100} = 17249,6 \text{ кг}$$

Масса 1 м² абсолютно сухой ткани с сухими веществами аппрета:

$$g_{\text{сух}} = \frac{G_{\text{сух.тк.}}}{F_{\text{отб.тк.}}} = \frac{G_{\text{сух.тк.}}}{Lb} = \frac{17249,6}{200000 \cdot 0,8} = 0,108 \text{ кг/м}^2$$

Баланс рабочего времени

Примем продолжительность рабочего дня $\tau_{\text{раб}} = 23$ часа, $\tau_{\text{разогр}} = 0,85$ ч.

Скорость работы линии $V = 100$ м/мин.

Число полотен в заправке $m = 1$ полотно.

$$\tau_{\text{маш}} = \frac{L}{60 V m n}$$

$$n = \frac{L}{L_{\text{расч}}} \quad L_{\text{расч}} = 60 V \tau_{\text{раб}} k_{\text{пв}} k_{\text{пл}} m = 60 \cdot 100 \cdot 23 \cdot 0,89 \cdot 0,92 \cdot 1 = 112994 \text{ м}$$

$$n = \frac{200000}{112994} = 1,77, \quad \text{примем к установке } n = 2 \text{ линии ЛЗО-140-1.}$$

$$\tau_{\text{маш}} = \frac{200000}{60 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 2} = 16,7 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{простоев}} = 23 - 16,7 - 0,85 = 5,45 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{прост.в хол.сост.}} = \tau_{\text{раб}} (2 - k_{\text{и.о}} - k_{\text{пл}})$$

$$k_{\text{и.о}} = \frac{L}{n L_{\text{расч}}} = \frac{200000}{2 \cdot 112994} = 0,885$$

$$\tau_{\text{прост.в хол.сост.}} = 23 (2 - 0,885 - 0,92) = 4,48 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{прост.в гор.сост.}} = 5,45 - 4,48 \approx 1 \text{ ч}$$

Теплотехнический расчет МШС

Баланс разогрева сушильно-ширильной машины

$$G_M c_M t_M + G_{\text{ИЗ}} c_{\text{ИЗ}} t_{\text{ИЗ}} + G_{\text{ВОЗД}} c_{\text{ВОЗД}} t_{\text{ВОЗД}} + G_{\text{П}} i_{\text{П}} =$$

$$G_M c_M t_M' + G_{\text{ИЗ}} c_{\text{ИЗ}} t_{\text{ИЗ}}' + G_{\text{ВОЗД}} c_{\text{ВОЗД}} t_{\text{ВОЗД}}' + G_{\text{П}} i_{\text{К}} + Q_5 \tau_{\text{разогр.}}$$

Масса металлических частей, разогреваемых в МШС, $G_M = 80\%$ от $M_{\text{МШС}}$.

$$G_M = 0,8 \cdot 28200 = 22560 \text{ кг}$$

$$c_M = 0,502 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$$

$$t_M = t_{\text{ИЗ}} = t_{\text{ВОЗД}} = 30^\circ\text{C}$$

Масса изоляции $G_{\text{ИЗ}} = F_{\text{ИЗ}} \delta_{\text{ИЗ}} \rho_{\text{ИЗ}}$

$$F_{\text{ИЗ}} = 2 h (b+1) + b l = 2 \cdot 2,5 (10,2 + 3,2) + 10,2 \cdot 3,2 \approx 100 \text{ м}^2$$

$\delta_{\text{ИЗ}} = 0,06 \text{ м}$; $\rho_{\text{ИЗ}} = 300 \text{ кг/м}^3$ (по технической характеристике).

$$G_{\text{ИЗ}} = 100 \cdot 0,06 \cdot 300 = 1800 \text{ кг}$$

$$c_{\text{ИЗ}} = 0,837 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$$

Примем, что во время разогрева при закрытом шибере за счет неплотностей из машины уйдет 2 объема воздуха. $V_{\text{ВОЗД}} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ м}^3$ (где 60 м^3 – объем воздуха в МШС).

Удельная масса воздуха $\rho_{\text{ВОЗД}} = 1,165 \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Масса воздуха } G_{\text{ВОЗД}} = V_{\text{ВОЗД}} \rho_{\text{ВОЗД}} = 120 \cdot 1,165 = 139,8 \text{ кг}$$

$$c_{\text{ВОЗД}} = 1 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$$

Потери тепла в окружающую среду: $Q_5 = k F \Delta t$.

$$\Delta t = t_c - t_{\text{ВОЗД}} = 140 - 30 = 110^\circ\text{C}$$

F – площадь, через которую идут потери тепла, $F = 100 \text{ м}^2$.

k – коэффициент теплопередачи через сложную стенку.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от горячего воздуха к стенке камеры сушильной.

$\alpha_1 = 15,07 V + 22,19$, где $V = 4$ м/с – скорость воздуха у стенки ограждения шатра.

$$\alpha_1 = 15,07 \cdot 4 + 22,19 = 82,47 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$$

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к окружающему воздуху помещения.

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 t_{\text{ст.}} \text{ Примем } t_{\text{ст.}} = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (по санитарным нормам).}$$

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 \cdot 40 = 41,9 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{82,47} + \frac{0,0015}{167,48} + \frac{0,06}{0,293} + \frac{0,0015}{167,48} + \frac{1}{41,9}} = 4,15 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$$

$$Q_5 = 4,15 \cdot 100 \cdot 110 = 45650 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Средняя температура изоляции } t'_{\text{из}} = \frac{t_{\text{из.внутр.слоев}} + t_{\text{из.нар.слоев}}}{2}$$

$$t_{\text{из.внутр.сл.}} = t_c - \frac{k \Delta t}{\alpha_1} = 140 - \frac{4,15 \cdot 110}{82,47} = 134,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из.нар.слоев}} = t_{\text{возд}} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2} = 30 + \frac{4,15 \cdot 110}{41,9} = 40,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t'_{\text{из}} = \frac{134,5 + 40,9}{2} = 87,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Подставим все значения в баланс разогрева:

$$22560 \cdot 0,502 \cdot 30 + 1800 \cdot 0,837 \cdot 30 + 139,8 \cdot 1 \cdot 30 + G_{\text{п}} \cdot 2806 = 22560 \cdot 0,502 \cdot 134,5 + 1800 \cdot 0,837 \cdot 87,7 + 139,8 \cdot 1 \cdot 140 + G_{\text{п}} \cdot 794,7 + 45650 \cdot 0,85$$

Расход пара на разогрев МШС: $G_{\text{п}} = 653$ кг.

Устойчивая работа МШС

Ткань поступает в МШС после подсушки в СБМО-2-8/140 до остаточной влажности $W_1 = 30\%$. Температуру ткани можно принять $t'_{\text{тк}} = t_{\text{вн в СБМО}} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Однако между СБМО и МШС есть свободный пробег ткани по воздуху и она охлаждается. $L_{\text{проб}} = 5$ м, $m = 1$ полотно

$$t_{\text{ТК}} = t_{\text{ТК}}' - \frac{m L_{\text{проб}} \alpha (t_{\text{ТК}}' - t_{\text{ВОЗД}})}{60 \cdot V g_{\text{сух}} (c_{\text{сух}} + c_{\text{В}} \frac{W_1}{100})}$$

$$t_{\text{ТК}} = 80 - \frac{1 \cdot 5 \cdot 41,87 \cdot (80 - 30)}{60 \cdot 100 \cdot 0,108 \cdot (1,298 + 4,187 \cdot \frac{30}{100})} = 73,68^{\circ}\text{C}$$

Расчет затрат пара ведем по отдельным статьям:

- затраты тепла на испарение с ткани 1 кг влаги:

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 \cdot c_{\text{В}} t_{\text{исп}} - c_{\text{В}} t_{\text{ТК}} =$$

$$= 2491,27 + 0,47 \cdot 4,187 \cdot 140 - 4,187 \cdot 73,68 = 2458,6 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

- затраты тепла на нагрев воздуха, который уносит с собой 1 кг испаренной влаги:

$$q_2 = \frac{1}{d_2 - d_1} (0,24 + 0,47 d_1) (t_{\text{УХ.ВОЗД.}} - t_{\text{ВХ.ВОЗД.}}) c_{\text{В}} =$$

$$= \frac{1}{0,11 - 0,01} (0,24 + 0,47 \cdot 0,01) (140 - 30) \cdot 4,187 = 1126,3 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

- затраты тепла на нагрев ткани, вносящей в сушилку 1 кг влаги:

$$q_3 = \frac{G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}}}{W} (t_{\text{УХ.ТК.}} - t_{\text{ВХ.ТК.}})$$

$G_{\text{ТК}}$ - масса абсолютно сухой ткани с сухими веществами аппарата, проходящей через машину за 1 час.

$$G_{\text{ТК}} = 60 V b_{\text{ТК}} g_{\text{сух}} = 60 \cdot 100 \cdot 0,8 \cdot 0,108 = 518,4 \text{ кг/ч}$$

$c_{\text{ТК}}$ - теплоемкость ткани после сушки в МШС.

W_2 - влажность ткани после сушки, $W_2 = 6 \%$.

$$c_{\text{ТК}} = \frac{c_{\text{сух}} (100 - W_2) + W_2 c_{\text{В}}}{100} = \frac{1,298(100 - 6) + 6 \cdot 4,187}{100} = 1,47 \text{ кДж/кг град}$$

W - количество испаряемой с ткани влаги за 1 час.

$$W = G_{\text{ТК}} \frac{W_1 - W_2}{100} = 518,4 \frac{30 - 6}{100} = 124,4 \text{ кг влаги/ч}$$

$$q_3 = \frac{518,4 \cdot 1,47}{124,4} (140 - 73,68) = 406,3 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

- затраты тепла за счет теплопотерь в окружающую среду:

$$q_5 = \frac{Q_5}{W} = \frac{45650}{124,4} = 367 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

Общий расход тепла на сушку в условиях устойчивой работы МШС:

$$\Sigma q = q_1 + q_2 + q_3 + q_5 = 2458,6 + 1126,3 + 406,3 + 367 = 4358,2 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

Удельный расход пара на испарение с ткани 1 кг влаги:

$$q_{\text{п}} = \frac{\Sigma q}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{4358,2}{2806 - 794,7} = 2,16 \text{ кг пара/кг исп.вл.}$$

Расход пара за 1 час устойчивой работы МШС:

$$G_{\text{п.уст.}} = q_{\text{п}} W = 2,16 \cdot 124,4 = 268,7 \text{ кг пара/ч}$$

Общий расход пара на устойчивую работу МШС:

$$G_{\text{п.уст.сут.}} = G_{\text{п.уст.}} \tau_{\text{маш}} = 268,7 \cdot 16,7 = 4487,35 \text{ кг/сутки}$$

Простои в горячем состоянии

Тепловая энергия будет расходоваться на нагрев воздуха и потери через стенки:

$$G_{\text{прост.в гор.}} = \frac{q_2 W + Q_5}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} \tau_{\text{прост.в гор.сост.}} = \frac{1126,3 \cdot 124,4 + 45650}{2806 - 794,7} \cdot 1 = 92,36 \text{ кг пара/сутки}$$

Суточный расход пара на МШС

$$G_{\text{сут.}} = G_{\text{раз.}} + G_{\text{уст.}} + G_{\text{прост.в гор.}} = 653 + 4487,35 + 92,36 = 5232,7 \text{ кг пара/сутки}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{сут.н.п.}} = 5232,7 \frac{2806}{2674,2} = 5490,6 \text{ кг н.п./сутки}$$

Удельный расход нормального пара:

$$q' = \frac{n G_{\text{сут.н.п.}}}{G_{\text{тк.отб.}}} = \frac{2 \cdot 5490,6}{18400} = 0,6 \text{ кг н.п./кг тк.}$$

$$q'' = \frac{n G_{\text{сут.н.п.}} \cdot 1000}{L_{\text{отб.тк.}}} = \frac{2 \cdot 5490,6 \cdot 1000}{200000} = 54,9 \text{ кг н.п./1000 м отб.тк.}$$

2.7 Теплотехнический расчет машины сушильной роликовой МСР-2/140 из линии ЛЗО-140-2

Краткая техническая характеристика МСР-2/140

Сушилка состоит из 2-х секций с двухсторонним обдувом ткани горячим воздухом. В каждой секции два циркуляционных вентилятора, два пластинчатых калорифера и четыре короба с соплами. Теплоизоляция шатра состоит из металлических щитов, заполненных асбодревесными плитами:

$$\delta_m = 0,001 \text{ м}; \quad \delta_{из} = 0,05 \text{ м}.$$

Рабочая ширина, мм	- 1400
Скорость движения, м/мин	20-120
Рабочая скорость, м/мин	- 60
Количество секций, шт	- 2
Количество циркуляционных вентиляторов, шт	- 4
Производительность цирк. вентиляторов, м ³ /ч	- 6350
Количество вытяжных вентиляторов, шт	- 1
Производительность вытяжного вентилятора, м ³ /ч	- 3000
Давление пара, МПа (ата)	- до 0,6 (6)
Начальная влажность ткани, %, W_1	90 – 100
Конечная влажность ткани, %, W_2	- 40
Габаритные размеры, мм	
длина	- 4550
ширина	- 3530
высота	- 3240
Масса, кг	- 8000

В калорифере используется пар с давлением $p=1,4$ атм

$$t_n = 108,7^{\circ}\text{C}; \quad i_n = 2689,3 \text{ кДж/кг}$$

$$i_k = 0,02 i_n + 0,98 c_B t_k = 0,02 \cdot 2689,3 + 0,98 \cdot 4,187 \cdot 106 = 488,4 \text{ кДж/кг}$$

Температура сушки равна температуре конденсата, $t_c = 106^{\circ}\text{C}$.

Сведения об обрабатываемых тканях

На линии обрабатывается вискозная штапельная ткань арт.72110; ширина ткани $b = 0,8$ м; масса 1 м^2 отбеленной ткани $0,121$ кг/м². Количество обрабатываемой ткани - $L = 50000$ м.

Вид отделки – малосминаемая.

Масса абсолютно сухой ткани с сухими веществами аппрета - $G_{\text{сух.тк.}}$.

$$G_{\text{сух.тк.}} = G_{\text{отб.тк.}} \cdot \frac{100 - W_{\text{гигр}}}{100} \cdot \frac{100 + \Delta P_{\text{аппр}}}{100}$$

$W_{\text{гигр}} = 8\%$ - гигроскопическая влажность абсолютно сухой ткани в отбеленном виде.

$\Delta P_{\text{аппр}}$ - удельный расход сухих веществ, наносимых на ткань с аппретом.

$$\Delta P_{\text{аппр}} = \frac{G_{\text{сух.в-в аппрета}}}{G_{\text{отб.тк.}}} \cdot 100$$

$$G_{\text{отб.тк.}} = L \cdot b \cdot g = 50000 \cdot 0,8 \cdot 0,121 = 4840 \text{ кг}$$

$$F_{\text{отб.тк.}} = L \cdot b = 50000 \cdot 0,8 = 40000 \text{ м}^2$$

Состав аппрета, г/л :	всего	в т.ч. сухих веществ
Карбамол МТ-2 (50%)	260	130
ПЭЭ (50%)	10	5
Мочевина	10	10
Хлористый аммоний	5	5

Итого: 150 г/л

Отжим ткани после пропитки 90%. Следовательно на 1 кг сухой ткани расходуется $0,9 \cdot 150 = 135$ г сухих веществ или $0,135$ кг сух.в-в/кг сух.тк.

$$\Delta P = 0,135 \cdot 100 = 13,5\%$$

$$G_{\text{сух.тк.}} = 4840 \cdot \frac{100 - 8}{100} \cdot \frac{100 + 13,5}{100} = 5053,9 \text{ кг}$$

Масса 1 м^2 абсолютно сухой ткани с сухими веществами аппрета:

$$g_{\text{сух}} = \frac{G_{\text{сух.тк.}}}{F_{\text{отб.тк.}}} = \frac{5053,9}{40000} = 0,126 \text{ кг/м}^2$$

Баланс рабочего времени

Продолжительность работы линий в цехе заключительной отделки при 2-х сменном режиме: $\tau_{\text{раб}} = 16$ ч. Время разогрева: $\tau_{\text{разогр}} = 0,5$ ч.

$$\text{Машинное время } \tau_{\text{маш}} = \frac{L}{60 V m n} = \frac{50000}{60 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 1} = 13,9 \text{ ч}$$

где $V = 60$ м/мин; $m = 1$ полотно; $n = 1$ линия.

$$n = \frac{\sum L}{L_{\text{расч}}} = \frac{\sum L}{60 V \tau_{\text{раб}} k_{\text{пв}} k_{\text{пл}} m} = \frac{50000}{60 \cdot 60 \cdot 16 \cdot 0,95 \cdot 0,92 \cdot 1} = \frac{50000}{50342,4} = 0,993$$

Примем $n = 1$ линия.

$$\tau_{\text{прост}} = 16 - 0,5 - 13,9 = 1,6 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{прост в хол.сост.}} = \tau_{\text{раб}} (2 - k_{\text{и.о}} - k_{\text{пл}})$$

Коэффициент использования оборудования:

$$k_{\text{и.о}} = \frac{\sum L}{n L_{\text{расч}}} = \frac{50000}{1 \cdot 50342,4} = 0,993$$

$$\tau_{\text{прост в хол.сост.}} = 16 (2 - 0,993 - 0,92) = 1,39 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{прост в гор.сост.}} = \tau_{\text{прост}} - \tau_{\text{прост в хол.сост.}} = 1,6 - 1,39 = 0,21 \text{ ч}$$

Теплотехнический расчет МСР-2/140

Баланс разогрева сушилки

$$G_M c_M t_M + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}} + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}} + G_{\text{п}} i_{\text{п}} =$$

$$G_M c_M t'_M + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t'_{\text{из}} + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t'_{\text{возд}} + G_{\text{п}} i_{\text{к}} + Q_5 \tau_{\text{разогр.}}$$

$G_M = 0,8 \cdot 8000 = 6400$ кг - масса металлических частей машины принята равной 80% от массы всей сушилки.

$$c_M = 0,502 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$$

$$t_M = t_{\text{из}} = t_{\text{возд}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Масса изоляции } G_{\text{из}} = F_{\text{из}} \delta_{\text{из}} \rho_{\text{из}}$$

$$F_{\text{из}} = 2 h (b+1) + b l = 2 \cdot 3,24 (4,55 + 3,53) + 4,55 \cdot 3,53 = 68,4 \text{ м}^2$$

$\delta_{\text{из}} = 0,05 \text{ м}$; $\rho_{\text{из}} = 300 \text{ кг/м}^3$ (по технической характеристике).

$$G_{\text{из}} = 68,4 \cdot 0,05 \cdot 300 = 1026 \text{ кг}$$

$$c_{\text{из}} = 0,837 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$$

Масса воздуха в сушилке при закрытом шибере вентиляции: $G_{\text{возд}} = V_{\text{возд}} \rho_{\text{возд}}$

Объем воздуха, обогреваемого в сушилке при разогреве машины: $V_{\text{возд}} = 40 \text{ м}^3$.

Плотность воздуха $\rho_{\text{возд}} = 1,177 \text{ кг/м}^3$.

$$G_{\text{возд}} = 40 \cdot 1,177 = 47,08 \text{ кг}$$

$$c_{\text{возд}} = 1 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$$

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_5 = k F \Delta t$$

$F = 68,4 \text{ м}^2$ - площадь, через которую происходят потери тепла.

$$\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{нар.возд}} = 106 - 25 = 81 \text{ }^{\circ}\text{С}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\alpha_1 = 15,07 V + 22,19 = 15,07 \cdot 1 + 22,19 = 37,26 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град},$$

где скорость воздуха у стенки шатра $V = 1 \text{ м/с}$.

$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 t_{\text{ст.}}$. Температура наружной стенки $t_{\text{ст.}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{С}$ (по санитарным нормам).

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 \cdot 30 = 39,8 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{37,26} + \frac{0,001}{167,48} + \frac{0,05}{0,126} + \frac{0,001}{167,48} + \frac{1}{39,8}} = 2,23 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_5 = 68,4 \cdot 2,23 \cdot 81 = 12355,1 \text{ кДж/ч}$$

Средняя температура изоляции:

$$t_{\text{из}}' = \frac{t_{\text{из.внутр.слоев}} + t_{\text{из нар.слоев}}}{2}$$

$$t_{\text{из внутр.сл.}} = t_{\text{с.}} - \frac{k \Delta t}{\alpha_1} = 106 - \frac{2,23 \cdot 81}{37,26} = 101,2 \text{ }^{\circ}\text{С}$$

$$t_{\text{из.нар.сл.}} = t_{\text{возд}} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2} = 25 + \frac{2,23 \cdot 81}{39,8} = 29,54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из}}' = \frac{101,2 + 29,54}{2} = 65,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Подставим полученные значения в уравнение теплового баланса разогрева сушилки:

$$6400 \cdot 0,502 \cdot 25 + 1026 \cdot 0,837 \cdot 25 + 47,08 \cdot 1 \cdot 25 + G_{\text{п}} \cdot 2689,3 =$$

$$6400 \cdot 0,502 \cdot 106 + 1026 \cdot 0,837 \cdot 65,3 + 47,08 \cdot 1 \cdot 106 + G_{\text{п}} \cdot 488,4 + 12355,1 \cdot 0,5$$

Количество пара, расходуемого на разогрев сушилки: $G_{\text{п}} = 138,5 \text{ кг}$

Затраты тепла на устойчивую работу МСР-2/140

Расчет ведем по отдельным статьям затрат:

- q_1 - затраты тепла на испарение с ткани 1 кг влаги.

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 c_{\text{в}} t_{\text{исп}} - c_{\text{в}} t_{\text{тк}}$$

$$t_{\text{тк}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{исп}} = t_{\text{с}} = 106 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 \cdot 4,187 \cdot 106 - 4,187 \cdot 25 = 2595,2 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

- q_2 - затраты тепла на нагрев воздуха, который уносит с собой 1кг испаренной влаги:

$$q_2 = \frac{1}{d_2 - d_1} (0,24 + 0,47 d_1) c_{\text{в}} (t_{\text{ух.возд.}} - t_{\text{вх.возд.}})$$

d_1 - влажность воздуха в помещении цеха, примем $d_1 = 0,01 \text{ кг вл/кг сух.возд.}$

d_2 - влажность уходящей из сушилки паровоздушной смеси,

примем $d_2 = 0,1 \text{ кг вл/кг сух.возд.}$

$$q_2 = \frac{1}{0,1 - 0,01} (0,24 + 0,47 \cdot 0,01) \cdot 4,187 (106 - 25) = 922,1 \text{ кДж/кг вл}$$

- q_3 - количество тепла, необходимое для нагрева ткани, вносящей в сушилку 1 кг влаги:

$$q_3 = \frac{G_{\text{ТК}} \cdot c_{\text{ТК}}}{W} (t_{\text{ух.ТК}} - t_{\text{вх.ТК}})$$

$G_{\text{ТК}}$ – масса абсолютно сухой ткани, проходящей через сушилку за 1 час.

$$G_{\text{ТК}} = 60 \text{ V } b \text{ } g_{\text{сух}} = 60 \cdot 60 \cdot 0,8 \cdot 0,126 = 362,9 \text{ кг/ч}$$

$c_{\text{ТК}}$ – теплоемкость воздушносухой ткани на выходе ее из сушилки.

$$c_{\text{ТК}} = \frac{c_{\text{сух}}(100 - W_2) + W_2 c_{\text{в}}}{100} = \frac{1,298(100 - 40) + 40 \cdot 4,187}{100} = 2,45 \text{ кДж/кг град}$$

W – количество влаги, испаряемой с ткани за 1 час сушки.

$$W = G_{\text{ТК}} \frac{W_1 - W_2}{100} = 362,9 \frac{90 - 40}{100} = 181,45 \text{ кг/ч}$$

$$q_3 = \frac{362,9 \cdot 2,45}{181,45} (106 - 25) = 396,9 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

- q_5 - потери тепла в окружающую среду:

$$q_5 = \frac{Q_5}{W} = \frac{12355,1}{181,45} = 68,09 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

Общие затраты тепла на сушку:

$$\Sigma q = q_1 + q_2 + q_3 + q_5 = 2595,2 + 922,1 + 396,9 + 68,09 = 3982,3 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

Удельный расход пара на испарение с ткани 1 кг влаги:

$$q_{\text{п}} = \frac{\Sigma q}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{3982,3}{2689,3 - 488,4} = 1,8 \text{ кг пара/кг исп.вл.}$$

Расход пара на сушку ткани в течение 1 часа устойчивой работы:

$$G_{\text{п.уст}} = q_{\text{п}} W = 1,8 \cdot 181,45 = 326,6 \text{ кг пара/ч}$$

За весь период устойчивой работы в сутки:

$$G_{\text{сут.уст}} = G_{\text{п.уст}} \cdot \tau_{\text{маш}} = 326,6 \cdot 13,9 = 4539,9 \text{ кг п/сутки}$$

Простои оборудования в горячем состоянии

Тепловой баланс при отключенной вентиляции: $G_{\text{п}} i_{\text{п}} = G_{\text{п}} i_{\text{к}} + Q_5$

$$\text{Расход пара } G_{\text{п}} = \frac{Q_5}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{12355,1}{2689,3 - 488,4} = 5,6 \text{ кг п/ч.}$$

Суточный расход пара на компенсацию теплопотерь при простоях:

$$G_{\text{сут. прост.}} = G_{\text{п.}} \tau_{\text{прост в гор. сост.}} = 5,6 \cdot 0,21 = 1,2 \text{ кг п./сутки}$$

Суточный расход пара на МСР-2/140

$$G_{\text{сут.}} = G_{\text{раз}} + G_{\text{сут. уст}} + G_{\text{сут. прост}} = 138,5 + 4539,9 + 1,2 = 4679,6 \text{ кг п./сутки}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{сут. н.п.}} = 4679,6 \frac{2689,3}{2674,2} = 4706 \text{ кг н.п./сутки}$$

Удельный расход нормального пара:

$$q' = \frac{n G_{\text{сут. н.п.}}}{G_{\text{ТК}}} = \frac{1 \cdot 4706}{4840} = 0,97 \text{ кг н.п./кг тк.}$$

$$q'' = \frac{n G_{\text{сут. н.п.}} 1000}{L_{\text{ТК}}} = \frac{1 \cdot 4706 \cdot 1000}{50000} = 94 \text{ кг н.п./1000 м тк}$$

2.8 Теплотехнический расчет сушильной-ширильной стабилизационной машины фирмы «Вакаяма»

Краткая техническая характеристика

Количество зон, шт	- 4
Обогрев первых трех зон	- паром
Давление пара, ата	- 6
Температура пара, °С	- 180
Энтальпия пара, кДж/кг	- 2806,14

Энтальпия конденсата:

$$i_{\text{к}} = 0,02 i_{\text{п}} + 0,98 c_{\text{в}} t_{\text{п}} = 0,02 \cdot 2806,14 + 0,98 \cdot 4,187 \cdot 180 = 794,16 \text{ кДж/кг}$$

Обогрев четвертой зоны – электрический.

Температура сушки, в 1-3 зонах, °С - 140

Температура в 4 зоне, °С - 180

Масса машины, кг - 46000

Шатер сушильных зон и зоны термообработки имеет теплоизоляцию.

Толщина металлических стенок $\delta_m = 0,0015 \text{ м}$

Толщина изоляции $\delta_{из} = 0,06 \text{ м}$

Площадь изоляции $F_{из} = 200 \text{ м}^2$

Рабочая скорость $V = 27 \text{ м/мин}$

Сведения об обрабатываемых тканях

Обработке подвергаются триацетатные полотна арт.994 и 974 после пропитки раствором антистатика (табл. 6).

Таблица 6

Наименование ткани	Кол-во обраб. ткани, L, м	Ширина ткани, b, м	Площадь ткани, F, м ²	Масса 1 м ² , g, кг/м ²	Масса ткани, G, кг
1. арт 994	12268	1,33	16316	0,1900	3100
2. арт 974	6410	1,51	9679	0,1603	1552
Итого:	$\Sigma L = 18618 \text{ м}$		$\Sigma F = 25995 \text{ м}^2$		$\Sigma G = 4652 \text{ кг}$

$$b_{\text{ср}} = \frac{\Sigma F}{\Sigma L} = \frac{\Sigma(Lb)}{\Sigma L} = \frac{25995}{18618} = 1,4 \text{ м}$$

$$g_{\text{ср}} = \frac{\Sigma G}{\Sigma F} = \frac{\Sigma(Lbg)}{\Sigma(Lb)} = \frac{4652}{25995} = 0,179 \text{ кг/м}^2$$

Влажность входящей в СШМС ткани $W_1 = 90\%$.

Баланс рабочего времени

Продолжительность рабочего дня при 2-х сменном режиме работы $\tau_{\text{раб}} = 16 \text{ ч}$.

Примем время разогрева $\tau_{\text{разогр}} = 0,85 \text{ ч}$.

$$\text{Машинное время: } \tau_{\text{маш}} = \frac{\Sigma L}{V m n 60}$$

$V = 27 \text{ м/мин}$; $m = 1$ полотно; $\Sigma L = 18618 \text{ м}$.

$$n = \frac{\Sigma L}{L_{\text{расч}}} = \frac{\Sigma L}{60 V \tau_{\text{раб}} k_{\text{пв}} k_{\text{пл}} m} = \frac{18618}{60 \cdot 27 \cdot 16 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1} = \frac{18618}{18869,8} = 0,986$$

$n = 1$ линия

$$\tau_{\text{маш}} = \frac{18618}{60 \cdot 27 \cdot 1 \cdot 1} = 11,5 \text{ ч}$$

Время простоев: $\tau_{\text{прост}} = 16 - 11,5 - 0,85 = 3,65 \text{ ч}$

$\tau_{\text{прост в хол.сост.}} = \tau_{\text{раб}} (2 - k_{\text{и.о}} - k_{\text{пл}})$

Коэффициент использования оборудования:

$$k_{\text{и.о}} = \frac{\sum L}{n L_{\text{расч}}} = \frac{18618}{1 \cdot 18869,8} = 0,986$$

Время простоев в холодном состоянии:

$$\tau_{\text{прост в хол.сост.}} = 16 (2 - 0,986 - 0,91) = 1,66 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{прост в гор.сост.}} = 3,65 - 1,66 = 2 \text{ ч}$$

Теплотехнический расчет

Баланс разогрева первых 3-х зон машины

$$G_{\text{м}} c_{\text{м}} t_{\text{м}} + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}} + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}} + G_{\text{п}} i_{\text{п}} =$$

$$G_{\text{м}} c_{\text{м}} t_{\text{м}}' + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}}' + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}}' + G_{\text{п}} i_{\text{к}} + Q_5 \tau_{\text{разогр.}}$$

Принимаем массу разогреваемых частей машины равной 80% от массы всей машины.

$$G_{\text{м}}^{\text{общ}} = 0,8 \cdot 46000 = 36800 \text{ кг}$$

Масса 1-3 зон составляет 75% от $G_{\text{м}}^{\text{общ}}$, т.е. $G_{\text{м}} = 0,75 \cdot 36800 = 27600 \text{ кг}$.

Масса разогреваемых металлических частей 4-ой зоны:

$$G_{\text{м}} = 0,25 \cdot 36800 = 9200 \text{ кг}$$

Теплоемкость металла $c_{\text{м}} = 0,502 \text{ кДж/кг град}$.

Температура металла до разогрева $t_{\text{м}} = t_{\text{из}} = t_{\text{возд}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Масса изоляции: $G_{\text{из}} = F_{\text{из}} \delta_{\text{из}} \rho_{\text{из}}$.

$F_{\text{из}} = 200 \text{ м}^2$; $\delta_{\text{из}} = 0,06 \text{ м}$; $\rho_{\text{из}} = 300 \text{ кг/м}^3$ (по технической характеристике).

$$G_{\text{из}} = 200 \cdot 0,06 \cdot 300 = 3600 \text{ кг}$$

Масса изоляции 1-3 зон $G_{\text{из}} = 0,75 \cdot 3600 = 2700 \text{ кг}$

$$4 \text{ зоны } G_{\text{из}} = 0,25 \cdot 3600 = 900 \text{ кг}$$

$$c_{\text{из}} = 0,837 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C}$$

$G_{\text{возд}}$ - масса воздуха, обогреваемого при разогреве машины при закрытом шибере вентиляции. $G_{\text{возд}} = V_{\text{возд}} \rho_{\text{возд}}$

Примем, что во время разогрева из машины уходит 2 объема воздуха из-за неплотностей. $V_{\text{возд}} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ м}^3$

Удельная масса воздуха: $\rho_{25} = 1,177 \text{ кг/м}^3$

$$G_{\text{возд}} = 120 \cdot 1,177 = 141 \text{ кг}$$

Теплоемкость воздуха: $c_{\text{возд}} = 1 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$

Q_5 - потери тепла в окружающую среду.

$$Q_5 = k F \Delta t$$

$$F_{1-3} = 0,75 \cdot 200 = 150 \text{ м}^2$$

$$\Delta t = t_{\text{сушки}} - t_{\text{нар.возд}} = 140 - 25 = 115 \text{ }^{\circ}\text{С}$$

k – коэффициент теплопередачи через сложную стенку.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\alpha_1 = 15,07 V + 22,19 = 15,07 \cdot 4 + 22,19 = 82,47 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град},$$

где $V = 4 \text{ м/с}$ – скорость воздуха у стенки машины.

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 t_{\text{ст.}} = 33,5 + 0,21 \cdot 40 = 41,9 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град},$$

где $t_{\text{ст.}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{С}$ - температура наружной стенки (по санитарным нормам).

$$k = \frac{1}{\frac{1}{82,47} + \frac{0,0015}{167,48} + \frac{0,06}{0,293} + \frac{0,0015}{167,48} + \frac{1}{41,9}} = 4,15 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_5 = 4,15 \cdot 150 \cdot 115 = 71587,5 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Средняя температура изоляции: } t_{\text{из}}' = \frac{t_{\text{из.внутр.слоев}} + t_{\text{из нар.слоев}}}{2}$$

$t_{\text{из внутр.сл.}}$ – температура внутренних слоев изоляции.

$t_{\text{из нар.сл.}}$ – температура наружных слоев изоляции.

$$t_{\text{из внутр.сл.}} = t_c - \frac{k \Delta t}{\alpha_1} = 140 - \frac{4,15 \cdot 115}{82,47} = 134,2 \text{ }^{\circ}\text{С}$$

$$t_{\text{из.нар.слоев}} = t_{\text{возд}} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2} = 25 + \frac{4,15 \cdot 115}{41,9} = 36,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из}}' = \frac{134,2 + 36,4}{2} = 85,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Подставим все значения в тепловой баланс разогрева 1-3 зон МШС:

$$27600 \cdot 0,502 \cdot 25 + 2700 \cdot 0,837 \cdot 25 + 141 \cdot 1 \cdot 25 + G_{\text{п}} \cdot 2806,14 = 27600 \cdot 0,502 \cdot 140 + 2700 \cdot 0,837 \cdot 85,3 + 141 \cdot 1 \cdot 140 + G_{\text{п}} \cdot 794,16 + 71587,5 \cdot 0,85$$

Количество пара, расходуемого при разогреве 1-3 зон: $G_{\text{п}} = 898 \text{ кг}$.

Устойчивая работа 1-3 зон машины

Расчет затрат пара ведем по отдельным статьям:

q_1 - затраты тепла на испарение с ткани 1 кг влаги.

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 \cdot c_{\text{в}} t_{\text{исп}} - c_{\text{в}} t_{\text{тк}}$$

$$t_{\text{исп.}} = t_{\text{сушки}} = 140 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 \cdot 4,187 \cdot 140 - 4,187 \cdot 25 = 2662,3 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

q_2 - затраты тепла на нагрев воздуха, который уносит с собой 1 кг испаренной влаги.

$$q_2 = \frac{1}{d_2 - d_1} (0,24 + 0,47 d_1) (t_{\text{ух.возд.}} - t_{\text{вх.возд.}}) c_{\text{в}}$$

d_1 - влажность воздуха в помещении. $d_1 = 0,01 \text{ кг воды/кг сух.возд.}$

d_2 - влажность паровоздушной среды, уходящей из сушилки.

$$d_2 = 0,11 \text{ кг воды/кг сух.возд}$$

$$q_2 = \frac{1}{0,11 - 0,01} (0,24 + 0,47 \cdot 0,01) (140 - 25) \cdot 4,187 = 1178,2 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

q_3 - затраты тепла на нагрев ткани, вносящей в сушильные зоны 1 кг влаги:

$$q_3 = \frac{G_{\text{тк}} c_{\text{тк}}}{W} (t_{\text{ух.тк.}} - t_{\text{вх.тк.}})$$

$G_{\text{тк}}$ - масса абсолютно сухой ткани, проходящей через сушилку за 1 час.

$$G_{\text{тк}} = 60 \text{ V } b_{\text{ср}} g_{\text{ср}} \frac{100 - W_{\text{гигр}}}{100} = 60 \cdot 27 \cdot 1,4 \cdot 0,179 \frac{100 - 5}{100} = 385,6 \text{ кг/ч}$$

$$c_{\text{тк}} - \text{теплоемкость подсушенной ткани. } c_{\text{тк}} = \frac{c_{\text{сух}}(100 - W_2) + W_2 c_{\text{в}}}{100}$$

$$c_{\text{сух}} = c_{\text{цел}} = 1,298 \text{ кДж/кг град}$$

$W_2 = 4\%$ - влажность ткани после 1-3 зон сушки.

$$c_{\text{тк}} = \frac{1,298(100 - 4) + 4,187 \cdot 4}{100} = 1,41 \text{ кДж/кг град}$$

W – количество испаряемой с ткани влаги за 1 час.

$$W = 385,6 \frac{90 - 4}{100} = 331,6 \text{ кг влаги/ч}$$

$$q_3 = \frac{385,6 \cdot 1,41}{331,6} (140 - 25) = 188,5 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

q_5 - потери тепла в окружающую среду.

$$q_5 = \frac{Q_5}{W} = \frac{71587,5}{331,6} = 215,9 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

Общий расход тепла в 1-3 зонах на сушку ткани:

$$\Sigma q = q_1 + q_2 + q_3 + q_5 = 2662,3 + 1178,2 + 188,5 + 215,9 = 4244,9 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

Удельный расход пара на испарение с ткани 1 кг влаги:

$$q_{\text{п}} = \frac{\Sigma q}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{4244,9}{2806,14 - 794,16} = 2,1 \text{ кг пара/кг исп.вл.}$$

Расход пара за 1 час устойчивой работы в 1-3 зонах:

$$G_{\text{п.уст.}} = q_{\text{п}} W = 2,1 \cdot 331,6 = 696,3 \text{ кг пара/ч.}$$

Простои в горячем состоянии

$$G_{\text{п.прост.}} = \frac{q_2 W + Q_5}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{1178,2 \cdot 331,6 + 71587,5}{2806,14 - 794,16} = 229,8 \text{ кг пара/сутки}$$

Суточный расход пара

$$G_{\text{сут.}} = G_{\text{раз.}} + G_{\text{п.уст.}} \tau_{\text{маш}} + G_{\text{п.прост.}} \tau_{\text{прост.в гор.сост.}}$$

$$G_{\text{сут.}} = 898 + 696,3 \cdot 11,5 + 229,8 \cdot 2 = 9365 \text{ кг пара/ч}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{сут.н.п.}} = 9365 \frac{2806,14}{2674,2} = 9827 \text{ кг н.п./сутки}$$

Расчет расхода электроэнергии на обогрев четвертой зоны машины

Тепловой баланс

$$G_M c_M t_M + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}} + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}} + Q_{\text{эл.калориф.}} =$$

$$G_M c_M t'_M + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t'_{\text{из}} + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t'_{\text{возд}} + Q_5 \tau_{\text{разогр.}}$$

$$G_M = 9200 \text{ кг}$$

$$c_M = 0,502 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$$

$$t_M = t_{\text{из}} = t_{\text{возд}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$G_{\text{из}} = 900 \text{ кг}$$

$$c_{\text{из}} = 0,837 \text{ кДж/кг}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Объем четвертой зоны 20 м^3 . Воздуха при разогреве уходит 2 объема из-за неплотностей, т.е. $V_{\text{возд}} = 2 \cdot 20 = 40 \text{ м}^3$.

$$\text{Масса воздуха: } G_{\text{возд}} = V_{\text{возд}} \rho_{\text{возд}} = 40 \cdot 1,177 = 47,1 \text{ кг}$$

$$\text{Температура внутри 4-ой зоны } t_{\text{вн}} = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$Q_5 = k F \Delta t = 4,15 \cdot 50 \cdot 155 = 32162,5 \text{ кДж/ч}$$

$$F = 200 - 150 = 50 \text{ м}^2$$

$$\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{нар.возд}} = 180 - 25 = 155 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\alpha_1 = 82,47 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{ч град}$$

$$\alpha_2 = 41,9 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{ч град}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{82,47} + \frac{0,0015}{167,48} + \frac{0,06}{0,293} + \frac{0,0015}{167,48} + \frac{1}{41,9}} = 4,15 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{ч град}$$

Средняя температура изоляции $t'_{из} = \frac{t_{из.внутр.слоев} + t_{из.нар.слоев}}{2}$

$$t_{из.внутр.сл.} = t_{вн} - \frac{k \Delta t}{\alpha_1} = 180 - \frac{4,15 \cdot 155}{82,47} = 172,2^{\circ}C$$

$$t_{из.нар.сл.} = t_{возд} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2} = 25 + \frac{4,15 \cdot 155}{41,9} = 40,4^{\circ}C$$

$$t'_{из} = \frac{172,2 + 40,4}{2} = 106,3^{\circ}C$$

Подставим полученные значения в тепловой баланс разогрева 4-ой зоны:

$$9200 \cdot 0,502 \cdot 25 + 900 \cdot 0,837 \cdot 25 + 47,1 \cdot 1 \cdot 25 + Q_{эл.кал.} = 9200 \cdot 0,502 \cdot 180 +$$

$$+ 900 \cdot 0,837 \cdot 106,3 + 47,1 \cdot 1 \cdot 180 + 32162,5 \cdot 0,85$$

$$Q_{эл.кал.} = 811733,9 \text{ кДж}$$

$$\text{Расход электроэнергии: } N_{разогр} = \frac{Q_{эл.кал.}}{3600} = \frac{811733,9}{3600} = 225,4 \text{ квт.ч}$$

Затраты электроэнергии на устойчивую работу 4-ой зоны

$$G_{тк} c_{тк} t'_{тк} + G_{тк} \frac{W_2}{100} c_v t'_{тк} + G_{возд} c_{возд} t_{возд} + Q_{эл.кал.} =$$

$$G_{тк} c_{тк} t_{4зоны} + G_{тк} \frac{W_2}{100} c_v (595 + 0,47 \cdot t_{4зоны}) + G_{возд} c_{возд} t'_{возд} + Q_5$$

$G_{тк} = 385,6 \text{ кг/ч}$ – масса абсолютно сухой ткани, проходящей через машину за 1 час.

$$c_{тк} = 1,298 \text{ кДж/кг град}$$

$t'_{тк} = 140^{\circ}$ – температура ткани на входе в 4-ую зону.

$W_2 = 4\%$ – влажность ткани, входящей в 4-ую зону.

$$G_{возд} = V_{возд} \rho_{возд}$$

$V_{возд} = 150 \text{ м}^3$ – объем воздуха, удаляемого из 4-ой зоны за 1 час.

$$G_{возд} = 150 \cdot 1,177 = 176,5 \text{ кг}$$

Решим уравнение теплового баланса:

$$385,6 \cdot 1,298 \cdot 140 + 385,6 \cdot \frac{4}{100} \cdot 4,187 \cdot 140 + 176,5 \cdot 1 \cdot 25 + Q_{эл.кал.} =$$

$$= 385,6 \cdot 1,298 \cdot 180 + 385,6 \cdot \frac{4}{100} \cdot 4,187 \cdot (595 + 0,47 \cdot 180) + 176,5 \cdot 1 \cdot 180 +$$

$$+ 32162,5$$

$$Q_{\text{эл.кал.}} = 123429,1 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Затраты электроэнергии: } N_{\text{эл.кал.}} = \frac{Q_{\text{эл.кал.}}}{3600} = \frac{123429,1}{3600} = 34,3 \text{ квт ч/ч}$$

Суточная потребность в электроэнергии на устойчивую работу:

$$N_{\text{сут.уст.}} = N_{\text{эл.кал.}} \tau_{\text{маш}} = 34,3 \cdot 11,5 = 394,45 \text{ квт ч}$$

Затраты электроэнергии при простоях в горячем состоянии

$$Q_{\text{эл.кал.}} + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}} = G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_4 \text{ зоны} + Q_5$$

$$Q_{\text{эл.кал.}} = G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} (t_4 \text{ зоны} - t_{\text{возд}}) + Q_5 = 176,5 \cdot 1 \cdot (180 - 25) + 32162,5 = 59520 \text{ кДж/ч}$$

$$N_{\text{эл.кал.}} = \frac{59520}{3600} = 16,5 \text{ квт ч/ч}$$

Затраты электроэнергии при простоях:

$$N_{\text{прост в гор.сост.}} = N_{\text{эл.кал.}} \tau_{\text{прост в гор.сост.}} = 16,5 \cdot 2 = 33 \text{ квт ч}$$

Затраты электроэнергии на работу 4-ой зоны СШМС в сутки

$$N_{\text{сут.}} = N_{\text{разогр.}} + N_{\text{уст.}} + N_{\text{прост}} = 225,4 + 394,45 + 33 = 652,85 \text{ квт ч}$$

Удельные затраты пара и электроэнергии

- электроэнергия:

$$n' = \frac{N_{\text{сут.}} n}{\Sigma G_{\text{тк}}} = \frac{652,85 \cdot 1}{4652} = 0,14 \text{ квт ч/кг ткани}$$

$$n'' = \frac{N_{\text{сут.}} n 1000}{\Sigma L} = \frac{652,85 \cdot 1 \cdot 1000}{18618} = 35 \text{ квт ч/1000 м тк}$$

- нормальный пар:

$$q' = \frac{n G_{\text{сут.н.п.}}}{\Sigma G} = \frac{1 \cdot 9827}{4652} = 2,1 \text{ кг н.п./кг тк.}$$

$$q'' = \frac{n G_{\text{сут.н.п.}} 1000}{\Sigma L} = \frac{1 \cdot 9827 \cdot 1000}{18618} = 527,8 \text{ кг н.п./1000 м тк.}$$

2.9 Теплотехнический расчет термокамеры из линии термозольного крашения фирмы «Вакаяма»

Краткая характеристика камеры

Ткань поступает в камеру из воздушной роликовой сушилки, имеющей смежную стенку с термокамерой. Термокамера обогревается с помощью электродиффузоров. Температура горячего воздуха в камере 200⁰С.

Габаритные размеры, мм

длина	- 7000
ширина	- 2600
высота	- 4050

Масса камеры, кг - 15500

Толщина металлических слоев $\delta_m = 0,001 \text{ м}$

Толщина слоя изоляции $\delta_{из} = 0,05 \text{ м}$

Толщина слоя изоляции смежной стенки $\delta_{из см} = 0,04 \text{ м}$

Теплопроводность металла $\lambda_m = 167,48 \text{ кДж/м ч град}$

Теплопроводность изоляции $\lambda_{из} = 0,293 \text{ кДж/м ч град}$

Температура воздуха в предыдущей роликовой сушилке $t_c = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Скорость движения ткани, $V = 45 \text{ м/мин}$

Сведения об обрабатываемых тканях

Обработке подвергаются 3 артикула полиэфирных тканей (табл. 7).

Таблица 7

№ арт.ткани	Кол-во обраб. ткани, L, м	Ширина ткани, b, м	Площадь ткани, F, м ²	Масса 1 м ² , g, кг/ м ²	Масса ткани, G, кг
82111	18250	0,95	17337,5	0,126	2184,5
82196	18250	0,95	17337,5	0,099	1716,4
82202	36500	0,95	34675,0	0,129	4473,1
Итого:	$\Sigma L = 73000 \text{ м}$	$b_{ср} = 0,95 \text{ м}$	$\Sigma F = 69350 \text{ м}^2$		$\Sigma G = 8374 \text{ кг}$

$$g_{ср} = \frac{\Sigma G}{\Sigma F} = \frac{8374}{69350} = 0,121 \text{ кг/м}^2$$

Баланс рабочего времени

Продолжительность рабочего дня при 2-х сменном режиме работы: $\tau_{\text{раб}} = 16$ ч.

Время разогрева машины: $\tau_{\text{раз}} = 0,5$ ч.

$$\text{Машинное время } \tau_{\text{маш}} = \frac{\Sigma L}{60 V m n}$$

$V = 45$ м/мин ; $m = 1$ полотно.

$$n = \frac{\Sigma L}{L_{\text{расч}}} , \quad L_{\text{расч}} = 60 V \tau_{\text{раб}} k_{\text{пв}} k_{\text{пл}} m$$

$$L_{\text{расч}} = 60 \cdot 45 \cdot 16 \cdot 0,92 \cdot 0,93 \cdot 1 = 36962 \text{ м/сутки}$$

$$n = \frac{73000}{36962} = 1,975 , \text{ в цехе установлены 2 линии крашения.}$$

$$\tau_{\text{маш}} = \frac{73000}{60 \cdot 45 \cdot 1 \cdot 2} = 13,5 \text{ ч}$$

Простои оборудования $\tau_{\text{прост}} = 16 - 13,5 - 0,5 = 2$ ч.

Простои в холодном состоянии: $\tau_{\text{прост в хол}} = \tau_{\text{раб}} (2 - k_{\text{и.о}} - k_{\text{пл}})$.

Коэффициент использования оборудования:

$$k_{\text{и.о}} = \frac{\Sigma L}{n L_{\text{расч}}} = \frac{73000}{2 \cdot 36962} = 0,99$$

$$\tau_{\text{прост. в хол. сост.}} = 16 \cdot (2 - 0,99 - 0,93) = 1,28 \text{ ч}$$

$$\tau_{\text{прост. в гор. сост.}} = 2 - 1,28 = 0,72 \text{ ч}$$

Теплотехнический расчет

Баланс разогрева термической камеры

$$G_M c_M t_M + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}} + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}} + Q_{\text{эл. кал.}} = G_M c_M t_M' + G_{\text{из}} c_{\text{из}} t_{\text{из}}' + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}}' + Q_5 \tau_{\text{раз.}} + Q_{\text{см. ст.}}$$

Масса разогреваемых металлических частей $G_M = 70\%$ от $M_{\text{машины}}$.

$$G_M = 0,7 \cdot 15500 = 10850 \text{ кг}$$

$c_M = 0,502$ кДж/кг град – теплоемкость металла.

$$t_M = t_{\text{из}} = t_{\text{возд}} = 25^{\circ} \text{C}$$

$G_{из}$ – масса изоляции, $G_{из} = F_{из} \cdot \delta_{из} \cdot \rho_{из}$

$F_{из}$ – площадь несмежных с предшествующей сушилкой стенок.

$$F_{из} = 2 h l + b h + b l = 2 \cdot 4,05 \cdot 7 + 4,05 \cdot 2,6 + 2,6 \cdot 7 = 85,4 \text{ м}^2$$

$$G_{из} = 85,4 \cdot 0,05 \cdot 300 = 1281 \text{ кг}$$

$$c_{из} = 0,837 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$$

Объем термокамеры 80 м^3 . С учетом частичного выброса воздуха через щели при закрытом шибере, примем массу воздуха для разогрева $G_{возд} = 1,5 V_k \rho_{возд}$.

$$G_{возд} = 1,5 \cdot 80 \cdot 1,177 = 141,2 \text{ кг}$$

$$c_{возд} = 1 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{С}$$

Q_5 – общие потери тепла. $Q_5 = Q_5' + Q_5''$

Q_5' - потери тепла через стенки в помещение цеха.

Q_5'' - тепло, проходящее через смежную стенку в кожух воздушной сушилки, предшествующей термокамере.

$$Q_5' = k F \Delta t$$

$$F = 85,4 \text{ м}^2$$

$$\Delta t = 200 - 25 = 175 \text{ }^{\circ}\text{С}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от горячего воздуха внутри камеры к стенке камеры. $\alpha_1 = 15,07V + 22,19$, где $V = 0,75 \text{ м/с}$ – скорость воздуха у стенки теплового ограждения. $\alpha_1 = 15,07 \cdot 0,75 + 22,19 = 33,5 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от наружной стенки камеры к воздуху цеха:

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 t_{ст} = 33,5 + 0,21 \cdot 40 = 41,9 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$t_{ст} = 40^{\circ}\text{С}$ по санитарным нормам.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{33,5} + \frac{0,001}{167,48} + \frac{0,05}{0,293} + \frac{0,001}{167,48} + \frac{1}{41,9}} = 4,46 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_5' = 4,46 \cdot 85,4 \cdot 175 = 66654,7 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Средняя температура изоляции } t_{\text{из}}' = \frac{t_{\text{из.внутр.сл.}} + t_{\text{из.нар.сл.}}}{2}$$

$$t_{\text{из.внутр.сл.}} = t_{\text{кам}} - \frac{k \Delta t}{\alpha_1} = 200 - \frac{4,46 \cdot 175}{33,5} = 176,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из.нар.сл.}} = t_{\text{возд}} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2} = 25 + \frac{4,46 \cdot 175}{41,9} = 43,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{из}}' = \frac{176,7 + 43,6}{2} = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_5'' = k_1 F_1 \Delta t_1$$

$$F_1 - \text{площадь смежной стенки. } F_1 = b h = 2,6 \cdot 4,05 = 10,5 \text{ м}^2$$

$$\Delta t_1 = t_{\text{кам}} - t_c = 200 - 80 = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$\alpha_1 = 15,07 \cdot 0,75 + 22,19 = 33,5 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

$$\alpha_2 = 15,07V + 22,19 = 15,07 \cdot 1,3 + 22,19 = 41,8 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

α_2 – коэффициент теплоотдачи от смежной стенки к окружающему ее воздуху сушилки.

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{33,5} + \frac{0,001}{167,48} + \frac{0,04}{0,293} + \frac{0,001}{167,48} + \frac{1}{41,8}} = 5,25 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

$$Q_5'' = 5,25 \cdot 10,5 \cdot 120 = 6615 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_5 = 66654,7 + 6615 = 73269,7 \text{ кДж/ч}$$

$Q_{\text{см.ст}}$ – тепло, потребное на нагревание смежной стенки.

$$Q_{\text{см.ст}} = G_{\text{ст}} c_{\text{из}} \Delta t_{\text{ст}}$$

$$G_{\text{ст}} = F_{\text{ст}} \cdot \delta_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 10,5 \cdot 0,04 \cdot 300 = 126 \text{ кг}$$

$$c_{\text{из}} = 0,837 \text{ кДж/кг град}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = t_{\text{кам}} - t_{\text{см.ст.}}$$

$$t_{\text{см.ст.}} = \frac{t_{\text{кам}} + t_{\text{суш}}}{2} = \frac{200 + 80}{2} = 140 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 200 - 140 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{см.ст.}} = 126 \cdot 0,837 \cdot 60 = 6328 \text{ кДж/ч}$$

Из баланса разогрева термокамеры определим сколько тепла должен дать электрокалорифер.

$$Q_{\text{эл.кал.}} = G_{\text{м}} c_{\text{м}} (t_{\text{м}}' - t_{\text{м}}) + G_{\text{из}} c_{\text{из}} (t_{\text{из}}' - t_{\text{из}}) + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} (t_{\text{возд}}' - t_{\text{возд}}) + Q_5 \tau_{\text{раз.}} + Q_{\text{см.ст.}}$$

$$Q_{\text{эл.кал.}} = 10850 \cdot 0,502 \cdot (176,7 - 25) + 1281 \cdot 0,837 \cdot (110 - 25) + 141,2 \cdot 1 \cdot (200 - 25) + 73269,7 \cdot 0,5 + 6328 = 985127,9 \text{ кДж}$$

Работа электрокалорифера:

$$N_{\text{разогр}} = \frac{Q_{\text{эл.кал.}}}{3600} = \frac{985127,9}{3600} = 273,6 \text{ кВт ч}$$

Баланс устойчивой работы термокамеры

Тепловой баланс:

$$G_{\text{тк}} c_{\text{тк}} t_{\text{тк}} + G_{\text{тк}} \frac{W}{100} c_{\text{в}} t_{\text{тк}} + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}} + Q_{\text{эл.кал.}} = G_{\text{тк}} c_{\text{тк}} t_{\text{тк}}' + G_{\text{тк}} \frac{W}{100} c_{\text{в}} (595 + 0,47 t_{\text{кам}}) + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} t_{\text{возд}}' + Q_5$$

$G_{\text{тк}}$ – масса ткани, проходящей через термокамеру за 1 час работы.

$$G_{\text{тк}} = 60 \text{ V } b_{\text{ср}} g_{\text{ср}} = 60 \cdot 45 \cdot 0,95 \cdot 0,121 = 310 \text{ кг/ч}$$

$$c_{\text{тк}} = 1,3 \text{ кДж/кг град}$$

$t_{\text{тк}} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура, с которой ткань выходит из сушилки, предшествующей термокамере.

$W = 0,5\%$ - влажность полиэфирных тканей, входящих в термокамеру.

$$t_{\text{тк}}' = t_{\text{кам}} = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

За 1 час работы из камеры через шибер выводится наружу 300 м^3 воздуха.

$$\text{Масса воздуха } G_{\text{возд}} = V_{\text{возд}} \rho_{\text{возд}} = 300 \cdot 1,177 = 353 \text{ кг/ч}$$

$$c_{\text{возд}} = 1 \text{ кДж/кг град}$$

$$t_{\text{возд}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{\text{возд}}' = t_{\text{кам}} = 200 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Из баланса определим количество тепла, которое должен дать электрокалорифер за 1 час устойчивой работы:

$$Q_{\text{эл.кал.}} = G_{\text{ТК}} c_{\text{ТК}} (t_{\text{ТК}}' - t_{\text{ТК}}) + G_{\text{ТК}} \frac{W}{100} c_{\text{В}} (595 + 0,47t_{\text{кам}} - t_{\text{ТК}}) + \\ + G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} (t_{\text{возд}}' - t_{\text{возд}}) + Q_5$$

$$Q_{\text{эл.кал.}} = 310 \cdot 1,3 \cdot (200 - 80) + 310 \cdot \frac{0,5}{100} \cdot 4,187 \cdot (595 + 0,47 \cdot 200 - 80) +$$

$$353 \cdot 1 \cdot (200 - 25) + 73269,7 = 187282,6 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Мощность электрокалорифера: } N = \frac{Q_{\text{эл.кал.}}}{3600} = \frac{187282,6}{3600} = 52 \text{ кВт}$$

Затраты электроэнергии на устойчивую работу:

$$N_{\text{уст}} = N \tau_{\text{маш}} = 52 \cdot 13,5 = 702 \text{ кВт ч.}$$

Затраты тепла при простоях в горячем состоянии

$$Q_{\text{эл.кал.}} = G_{\text{возд}} c_{\text{возд}} (t_{\text{кам}} - t_{\text{возд}}) + Q_5$$

$$Q_{\text{эл.кал.}} = 353 \cdot 1(200 - 25) + 73269,7 = 135919,7 \text{ кДж/ч}$$

Мощность электрокалорифера

$$N = \frac{Q_{\text{эл.кал.}}}{3600}$$

$$N = \frac{135919,7}{3600} = 37,7 \text{ кВт}$$

Затраты при простоях: $N_{\text{прост}} = N \tau_{\text{прост в гор.сост.}}$

$$N_{\text{прост}} = 37,7 \cdot 0,72 = 27,2 \text{ кВт ч}$$

Общие затраты электроэнергии в сутки:

$$N_{\text{сут}} = 273,6 + 702 + 27,2 = 1002,8 \text{ кВт ч}$$

Удельный расход электроэнергии:

$$n' = \frac{N_{\text{сут}} n}{\Sigma G} = \frac{1002,8 \cdot 2}{8374} = 0,24 \text{ кВт ч/кг тк}$$

$$n'' = \frac{N_{\text{сут}} n \cdot 1000}{\Sigma L} = \frac{1002,8 \cdot 2 \cdot 1000}{73000} = 27,5 \text{ квт ч/1000м тк.}$$

2.10 Теплотехнический расчет сушилки печатной из тканепечатного агрегата ф. «Шторк»

Краткая техническая характеристика сушилки

Число секций, шт	- 3
Температура сушки, °C	- 140
Скорость сушки, м/мин	- 40
(зависит от рисунка)	
Сушилка закрыта шатром:	$\delta_{\text{м}} = 0,0015 \text{ м}$
	$\delta_{\text{из}} = 0,04 \text{ м}$
Габаритные размеры, мм	
длина	- 9000
ширина	- 4500
высота	- 2500

Машина работает на перегретом паре.

Давление пара $p_{\text{п}} = 6 \text{ ата (5884 гПа)}$

Температура пара $t_{\text{п}} = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Энтальпия пара $i_{\text{п}} = 2806,1 \text{ кДж/кг}$

Энтальпия конденсата $i_{\text{к}} = 0,01 i_{\text{п}} + 0,99 \cdot 4,187 t_{\text{п}}$

$i_{\text{к}} = 0,01 \cdot 2806,1 + 0,99 \cdot 4,187 \cdot 180 = 774,2 \text{ кДж/кг}$

Влажность ткани на выходе из сушилки $W_2 = 5\%$.

Гигроскопическая влажность ткани до печатания $W_{\text{гигр}} = 8\%$.

Сведения об обрабатываемых тканях

На тканепечатном агрегате ф.Шторк печатается ткань «Сонет» из хлопкового волокна.

Количество напечатанной ткани $L = 27000$ м.

Ширина ткани $b = 1,5$ м.

Масса 1 м^2 ткани $g = 0,174$ кг/м².

Скорость печатания и сушки $V = 40$ м/мин.

Площадь напечатанной ткани $F = L b = 27000 \cdot 1,5 = 40500$ м².

Масса ткани $G = L b g = 27000 \cdot 1,5 \cdot 0,174 = 7047$ кг

Определение влажности ткани после печатания при входе в сушилку – W_1 , т.е. влажность ткани в местах, покрытых краской.

Масса абсолютно сухой ткани до печатания:

$$g_{\text{сух.}} = g \frac{100 - W_{\text{гигр}}}{100} = 0,174 \frac{100 - 8}{100} = 0,16 \text{ кг/м}^2$$

Масса ткани, проходящей через машину за 1 час работы:

$$G_{\text{сух.тк.}} = g_{\text{сух.}} b V 60 = 0,16 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 60 = 576 \text{ кг/ч}$$

По характеру конкретного рисунка на ткань наносится

$g_{\text{кр.}} = 0,331$ кг краски/кг ткани, причем сухих веществ в краске $\sim 20\%$, остальное вода.

Количество краски на всей ткани $G_{\text{кр.}} = g_{\text{кр.}} G_{\text{тк}}$

$$G_{\text{кр.}} = 0,331 \cdot 7047 = 2332,5 \text{ кг}$$

Количество сухих веществ краски $G_{\text{сух.в-в}} = 0,2 G_{\text{кр.}}$

$$G_{\text{сух.в-в}} = 0,2 \cdot 2332,5 = 466 \text{ кг}$$

$$G_{\text{влаги}} = G_{\text{кр.}} - G_{\text{сух.в-в}} = 2332,5 - 466 = 1866,5 \text{ кг}$$

Количество сухих веществ, приходящихся на 1 м^2 ткани:

$$q' = \frac{G_{\text{сух.в-в}}}{F} = \frac{466}{40500} = 0,01 \text{ кг сух.в-в/м}^2$$

Масса сухих веществ, уносимых тканью за 1 час работы:

$$G_{\text{сух.тк.}}' = q' b V 60 = 0,01 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 60 = 36 \text{ кг сух.в-в/ч}$$

Количество гигроскопической влаги, поступающей в сушилку вместе с тканью:

$$W_{\text{гигр}} = G_{\text{сух.тк.}}' \frac{W_{\text{г}}}{100} = 36 \frac{8}{100} = 2,88 \text{ кг вл/ч}$$

Количество влаги в печатной краске, наносимой на ткань за 1 час работы:

$$W_{кр} = 0,8 \text{ г}_{кр} G_{сух.тк} = 0,8 \cdot 0,331 \cdot 576 = 152,5 \text{ кг вл/ч}$$

Средняя влажность ткани после печатной машины:

$$W_{ср} = \frac{(W_{кр} + W_{гигр}) 100}{G_{сух.тк} + G'_{сух.в-в}} = \frac{(152,5 + 46,08) \cdot 100}{576 + 36}$$

$$W_{ср} = 32,4\%$$

Влажность ткани в местах, покрытых печатной краской W_1 . Примем площадь покрытия ткани краской $A = 0,7$.

$$W_1 = \frac{W_{кр} + AW_{гигр}}{A(G_{сух.тк} + G'_{сух.в-в})} \cdot 100 = \frac{152,5 + 0,7 \cdot 46,08}{0,7(576 + 36)} \cdot 100$$

$$W_1 = 43,1\%$$

Баланс рабочего времени

Длительность работы оборудования печатных цехов при 2-х сменном режиме

$$\tau_{раб} = 16 \text{ ч.} \text{ Время разогрева: } \tau_{разогр} = 0,5 \text{ ч.}$$

$$\text{Время машинной работы } \tau_{маш} = \frac{L}{60 V m n}$$

$m = 1$ полотно; $n = 1$ машина.

$$\tau_{маш} = \frac{27000}{60 \cdot 40 \cdot 1 \cdot 1} = 11,25 \text{ ч}$$

$$\tau_{прост} = 16 - 11,25 - 0,5 = 4,25 \text{ ч}$$

$$\tau_{прост \text{ в хол.сост.}} = \tau_{раб} (2 - k_{и.о} - k_{пл})$$

$$k_{и.о} = \frac{\sum L}{n L_{расч}} = \frac{L}{n 60 V \tau_{раб} k_{пв} k_{пл} m}$$

$$k_{и.о} = \frac{27000}{1 \cdot 60 \cdot 40 \cdot 16 \cdot 0,78 \cdot 0,92 \cdot 1} = 0,98$$

$$\tau_{прост \text{ в хол.сост.}} = 16 (2 - 0,98 - 0,92) = 1,6 \text{ ч}$$

$$\tau_{прост \text{ в гор.сост.}} = 4,25 - 1,6 = 2,65 \text{ ч}$$

Теплотехнический расчет сушилки печатной

Баланс разогрева сушилки

$$G_M c_M t_M + G_{из} c_{из} t_{из} + G_{возд} c_{возд} t_{возд} + G_{п} i_{п} =$$

$$G_M c_M t_M' + G_{из} c_{из} t_{из}' + G_{возд} c_{возд} t_{возд}' + G_{п} i_{к} + Q_5 \tau_{разогр.}$$

Количеством тепла, расходуемого на нагрев воздуха пренебрегаем из-за малого объема сушилки.

Масса металлических частей, подвергаемых нагреву:

$$G_M = 0,7 M_{м-ны} = 0,7 \cdot 13200 = 9240 \text{ кг}$$

$$c_M = 0,502 \text{ кДж/кг}\cdot\text{град}$$

$$t_M = t_{из} = t_{возд} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_M' = t_c = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Масса изоляции } G_{из} = F_{из} \delta_{из} \rho_{из}$$

$$F_{из} = 2 h (b+1) + b l = 2 \cdot 2,5 (9 + 4,5) + 9 \cdot 4,5 = 108 \text{ м}^2$$

$$\delta_{из} = 0,04 \text{ м} ; \quad \rho_{из} = 300 \text{ кг/м}^3.$$

$$G_{из} = 108 \cdot 0,04 \cdot 300 = 1296 \text{ кг}$$

$$c_{из} = 0,837 \text{ кДж/кг}\cdot\text{}^{\circ}\text{C}$$

Потери тепла в окружающую среду $Q_5 = k F \Delta t$

$$F = 108 \text{ м}^2 ; \quad \Delta t = t_c - t_{возд} = 140 - 25 = 115 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

α_1 - коэффициент теплоотдачи от нагретого воздуха внутри камеры к внутренней стенке камеры. $\alpha_1 = 15,07 V + 22,19 = 15,07 \cdot 3 + 22,19 = 67,4 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$, где скорость воздуха у стенки сушилки $V = 3 \text{ м/с}$.

α_2 - коэффициент теплоотдачи от наружной стенки камеры к воздуху цеха.

$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 t_{ст.}$ Температура стенки $t_{ст.} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (по санитарным нормам).

$$\alpha_2 = 33,5 + 0,21 \cdot 40 = 41,9 \text{ кДж/м}^2\text{ч град}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{67,4} + \frac{0,0015}{167,48} + \frac{0,04}{0,293} + \frac{0,0015}{167,48} + \frac{1}{41,9}} = 5,69 \text{ кДж/м}^2 \text{ ч град}$$

$$Q_5 = 5,69 \cdot 108 \cdot 115 = 70670 \text{ кДж/ч}$$

Средняя температура изоляции $t_{из}'$

$$t_{из}' = \frac{t_{из.внутр.слоев} + t_{из.нар.слоев}}{2} = \frac{130 + 40}{2} = 85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{из.внутр.сл.} = t_{вн.} - \frac{k \Delta t}{\alpha_1} = 140 - \frac{5,69 \cdot 115}{67,4} = 130 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{из.нар.сл.} = t_{возд} + \frac{k \Delta t}{\alpha_2} = 25 + \frac{5,69 \cdot 115}{41,9} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Подставим полученные значения в уравнение баланса разогрева сушилки:

$$9240 \cdot 0,502 \cdot 25 + 1296 \cdot 0,837 \cdot 25 + G_{п} \cdot 2806 =$$

$$9240 \cdot 0,502 \cdot 140 + 1296 \cdot 0,837 \cdot 85 + G_{п} \cdot 774,2 + 70670 \cdot 0,5$$

Количество пара, расходуемого на разогрев: $G_{п} = 312 \text{ кг}$

Устойчивая работа сушилки печатной

Расчет ведем по отдельным статьям затрат:

- q_1 - количество тепла на испарение с ткани 1 кг влаги.

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 c_{в} t_{исп} - c_{в} t_{тк}$$

$$t_{исп} = t_c = 140 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q_1 = 2491,27 + 0,47 \cdot 4,187 \cdot 140 - 4,187 \cdot 25 = 2662,4 \text{ кДж/кг вл.}$$

- q_2 – тепло, потребное на нагрев воздуха, уносящего с собой 1кг испаренной влаги:

$$q_2 = \frac{1}{d_2 - d_1} (0,24 + 0,47 d_1) c_{в} (t_{ух.возд.} - t_{вх.возд.})$$

d_1 - влагосодержание воздуха в цехе, $d_1 = 0,01 \text{ кг вл/кг сух.возд.}$

d_2 - влагосодержание удаляемой из сушилки паровоздушной смеси,

$$d_2 = 0,12 \text{ кг вл/кг сух. возд.}$$

$$q_2 = \frac{1}{0,12 - 0,01} (0,24 + 0,47 \cdot 0,01) \cdot 4,187 (140 - 25) = 1071,1 \text{ кДж/кг исп.вл}$$

- q_3 - затраты тепла, на нагрев ткани с печатной краской:

$$q_3 = \frac{G_{\text{сух.тк}} c_{\text{тк}} + G'_{\text{сух.в-в}} \cdot c_{\text{сух.в-в}}}{W_{\text{исп}}} (t_c - t_{\text{тк}})$$

$c_{\text{тк}}$ – теплоемкость ткани, выходящей из сушилки .

$$c_{\text{тк}} = \frac{(c_{\text{сух.тк}} + 0,01 \cdot W_2 c_v) \cdot 100}{100 + W_2} = \frac{(1,298 + 0,01 \cdot 5 \cdot 4,187)}{100 + 5} = 1,43 \text{ кДж/кг град}$$

$c_{\text{сух.в-в}}$ – теплоемкость сухих веществ краски, примем $0,837 \text{ кДж/кг град}$.

$W_{\text{исп}}$ – общее количество влаги, испаряемой с ткани за 1 час устойчивой работы.

$$W_{\text{исп}} = W' + W''$$

W' - количество влаги, удаляемой с мест, покрытых печатной краской.

W'' - количество влаги, удаляемой с мест, непокрытых краской.

При влажности ткани после сушки $W_2 = 5\%$ и до сушки $W_1 = 43,1\%$ будем иметь:

$$W' = \frac{(A \cdot G_{\text{сух.тк}} + G'_{\text{сух.в-в}})(W_1 - W_2)}{100} = \frac{(0,7 \cdot 576 + 36)(43,1 - 5)}{100} = 167 \text{ кг вл/ч}$$

$$W'' = (1-A) G_{\text{сух.тк}} \frac{W_{\text{гигр}} - W_2}{100} = (1 - 0,7) 576 \frac{8 - 5}{100} = 5,2 \text{ кг вл/ч}$$

$$W_{\text{исп}} = 167 + 5,2 = 172,2 \text{ кг вл/ч}$$

$$q_3 = \frac{576 \cdot 1,43 + 36 \cdot 0,837}{172,2} (140 - 25) = 570,2 \text{ кДж/кг исп.вл.}$$

- q_5 - потери тепла в окружающую среду за время испарения с ткани 1 кг влаги:

$$q_5 = \frac{Q_5}{W} = \frac{70670}{172,2} = 410,4 \text{ кДж/кг вл.}$$

- Общие затраты тепла при устойчивой работе:

$$\Sigma q = q_1 + q_2 + q_3 + q_5 = 2662,4 + 1071,1 + 570,2 + 410,4 = 4714,1 \text{ кДж/кг исп.вл}$$

Удельный расход пара на сушку при устойчивой работе машины:

$$q_{\text{п}} = \frac{\Sigma q}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{4714,1}{2806,1 - 774,2} = 2,32 \text{ кг пара/кг исп.вл}$$

Общий расход пара на сушку ткани:

$$G_{\text{уст}} = q_{\text{п}} W_{\text{исп}} \tau_{\text{маш}} = 2,32 \cdot 172,2 \cdot 11,25 = 4494,4 \text{ кг пара/сутки}$$

Простои в горячем состоянии

Баланс простоев: $G_{\text{п}} i_{\text{п}} = G_{\text{п}} i_{\text{к}} + (q_2 + q_5) W_{\text{исп}}$

$$G_{\text{п}} = \frac{(q_2 + q_5) W_{\text{исп}}}{i_{\text{п}} - i_{\text{к}}} = \frac{(1071,1 + 410,4) \cdot 172,2}{2806,1 - 774,2} = 125,5 \text{ кг п/ч.}$$

Суточный расход пара на простои оборудования в горячем состоянии:

$$G_{\text{сут. прост.}} = 125,5 \cdot 2,65 = 332,7 \text{ кг п/сутки}$$

Общие затраты пара на одну машину в сутки:

$$G_{\text{общ.}} = G_{\text{раз}} + G_{\text{сут. уст}} + G_{\text{сут. прост. в гор. сост.}} = 312 + 4494,4 + 332,7 = 5139,1 \text{ кг п/сутки}$$

В пересчете на нормальный пар:

$$G_{\text{сут. н.п.}} = 5139,1 \frac{2806,1}{2674,2} = 5392,6 \text{ кг н.п./сутки}$$

Удельный расход нормального пара:

$$q' = \frac{n G_{\text{сут. н.п.}}}{G_{\text{тк}}} = \frac{1 \cdot 5392,6}{7047} = 0,76 \text{ кг н.п./кг тк}$$

$$q'' = \frac{n G_{\text{сут. н.п.}} 1000}{L} = \frac{1 \cdot 5392,6 \cdot 1000}{27000} = 199,7 \text{ кг н.п./1000 м тк}$$

Плотность воздуха

а) Плотность сухого воздуха

$$\rho = \frac{1,293B}{(1 + 0,00367 t) 1013} \quad (\text{кг/м}^3),$$

где В – давление воздуха, гПа;

t – температура воздуха, °С.

Таблица 1

Значение ρ в интервале температур 0 - 35°С

Температура, °С	ρ , кг/м ³ , при давлении воздуха		
	986 гПа (740 мм рт.ст.)	1013 гПа (760 мм рт.ст.)	1026 гПа (770 мм рт.ст.)
0	1,259	1,293	1,310
2	1,250	1,284	1,301
4	1,241	1,275	1,291
6	1,232	1,266	1,282
8	1,223	1,257	1,272
10	1,215	1,247	1,264
12	1,206	1,239	1,255
14	1,198	1,230	1,246
16	1,189	1,221	1,238
18	1,181	1,213	1,229
20	1,173	1,205	1,221
22	1,166	1,197	1,212
24	1,157	1,189	1,204
26	1,149	1,181	1,196
28	1,142	1,173	1,188
30	1,134	1,165	1,180
32	1,127	1,157	1,173
35	1,116	1,146	1,161

б) Плотность влажного воздуха

$$\rho = 1,293 \frac{1}{t} \frac{(B - 0,3783 E)}{1013} \quad (\text{кг/м}^3)$$

где t - температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

B - барометрическое давление, гПа;

E – давление паров воды в воздухе, гПа.

Таблица 2

Значение 0,3783 E при разных температурах точки росы
($\varphi = 100\%$)

$t, ^{\circ}\text{C}$	0,3783 E	$t, ^{\circ}\text{C}$	0,3783 E	$t, ^{\circ}\text{C}$	0,3783 E
0	2,30	14	6,03	28	14,28
2	2,66	16	6,86	30	16,02
4	3,07	18	7,79	32	17,96
6	3,52	20	8,83	34	20,09
8	4,04	22	9,98	36	22,45
10	4,62	24	11,26	38	25,03
12	5,29	26	12,70	40	27,87

Для воздуха в пределах температур 0 - 35 $^{\circ}\text{C}$ значения можно взять из таблицы раздела «а», внося поправку в величину B на 0,3783 E .

Таблица 3

Плотность влажного воздуха, кг/м^3 , при $\varphi = 50\%$

Температура, $^{\circ}\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$, при давлении B , гПа				
	973 гПа (730 мм рт.ст.)	986 гПа (740 мм рт.ст.)	1000 гПа (750 мм рт.ст.)	1013 гПа (760 мм рт.ст.)	1026 гПа (770 мм рт.ст.)
10	1,196	1,212	1,229	1,245	1,262
15	1,173	1,190	1,206	1,222	1,238
20	1,152	1,168	1,184	1,199	1,215
25	1,131	1,146	1,162	1,177	1,193

Приложение II

Содержание водяных паров ($q \cdot 10^3$ кг/м³) в насыщенном ими воздухе

t, °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,84	5,18	5,54	5,92	6,33	6,76	7,22	7,70	8,22	8,76
10	9,38	9,94	10,57	11,25	11,96	12,71	13,51	14,34	15,22	16,14
20	17,12	18,14	19,22	20,36	21,52	22,80	24,11	25,49	26,93	28,45
30	30,04	31,70	33,45	35,28	37,19	39,19	41,28	43,47	45,75	48,14

Приложение III

Парциальное давление Н насыщенного водяного пара в воздухе
при различных температурах

t, °C	Н, гПа	t, °C	Н, гПа	t, °C	Н, гПа
0	6,090	40	73,58	80	472,28
5	8,702	45	95,60	85	576,69
10	12,250	50	123,04	90	699,31
15	17,010	55	156,94	95	843,09
20	23,32	60	198,70	100	1013
25	31,60	65	249,38	110	1428
30	42,35	70	310,82	120	1985
35	56,10	75	384,50	130	2705

Зависимость между давлением сухого насыщенного пара,
его температурой и энтальпией

Давление, P		Температура, °C	Энтальпия i, кДж/кг
гПа	кг/см ² (атм)		
588,4	0,6	84,45	2652,5
686,5	0,7	89,45	2659,2
784,5	0,8	92,99	2664,6
882,6	0,9	96,18	2669,6
980,7	1,0	99,09	2674,2
1176,8	1,2	104,25	2682,2
1372,9	1,4	108,74	2689,3
1569,1	1,6	112,73	2695,6
1765,2	1,8	116,33	2701,0
1961,3	2,0	119,62	2706,1
2157,5	2,2	122,65	2710,2
2353,6	2,4	125,46	2714,0
2549,7	2,6	128,08	2718,2
2745,9	2,8	130,55	2721,5
2942,0	3,0	132,88	2724,9
3432,3	3,5	138,19	2731,6
3922,6	4,0	142,92	2735,8
4413,0	4,5	147,20	2743,3
4903,3	5,0	151,11	2747,9
5884,0	6,0	158,08	2756,3
6864,6	7,0	164,17	2763,0
7845,3	8,0	169,61	2768,4
8825,9	9,0	174,53	2773,0
9806,6	10,0	179,04	2798,2

Приложение V

Зависимость коэффициента теплоотдачи α от температуры
граничного со стенкой слоя конденсата

t, °C	α , кДж/м ² ч °C	t, °C	α , кДж/м ² ч °C	t, °C	α , кДж/м ² ч °C
0	21185	70	38372	140	49614
10	26209	80	40151	150	50995
20	28512	90	42287	160	52263
30	30647	100	43626	170	53465
40	32741	110	45301	180	54512
50	34688	120	46850	190	55308
60	36572	130	48274	200	56003

Приложение VI

Зависимость значений коэффициента теплоотдачи α кДж/м² ч °C
от разности температур стенки и воды

Температура стенки, °C	Температура воды, °C					
	30	42	50	60	70	80
110	8457	8081	8625	9127	9881	15072
100	6155	5736	5275	3977	4396	4145
90	4438	4187	4145	3684	3140	2345
80	3643	3433	3350	2847	2219	
70	3098	2931	2680	2135		
60	2638	2512	2010			
50	2303	1842				
42	1926					

Приложение VII

Количество влаги, кг, испаряющейся за 1 час с 1 м² поверхности жидкости при умеренном движении воздуха

Температура жидкости,	W _{исп} , кг/ч			
	Условно при абсолютно сухом воздухе	При относительной влажности воздуха над жидкостью 70% и его температуре °С		
		20	27	35
95	27,3	26,9	26,5	26,0
90	22,6	22,1	21,7	21,4
80	15,3	14,7	14,5	14,0
70	10,0	9,5	9,3	8,8
60	6,4	5,8	5,7	5,2
50	3,7	3,5	3,4	2,7
40	2,4	1,9	1,6	1,1
30	1,4	0,8	0,6	-
20	0,8	0,2	-	-
10	0,4	-	-	-

Приложение VIII

Температура, объемная масса, влагосодержание при полном насыщении и другие данные о воздухе при давлении 1013 гПа

Температура, °С	Объемная масса (плотность сухого воздуха) ρ , кг/м ³	Упругость насыщающих водяных паров, H_0 , гПа	Количество насыщающих водяных паров в кг на 1 кг сухого воздуха, $d \cdot 10^3$ кг/кг сухого воздуха
0	1,293	6,09	3,90
5	1,270	8,69	5,40
10	1,264	12,25	7,63
15	1,226	17,01	10,6
20	1,205	23,31	14,7
25	1,185	31,60	20,0
30	1,165	42,32	26,2
35	1,146	56,10	35,5
40	1,128	73,57	48,8
45	1,110	95,60	65,0
50	1,098	123,04	86,2
55	1,076	156,9	114,0
60	1,060	198,7	152,0
65	1,044	249,4	204,0
70	1,029	276,0	276,0
75	1,014	384,5	382,0
80	1,000	472,3	545,0
85	0,986	576,6	828,0
90	0,973	699,3	1400,0
95	0,959	843,1	31,2
100	0,947	1013,0	-

Приложение IX

Воздухопроницаемость тканей

Ткань	Поверхностная плотность, кг/кв.м	Коэффициент воздухопроницаемости, л/кв.м с, не менее
1. Хлопчатобумажная		
- бельевая	0,13 – 0,15	50
	0,18 – 0,20	10
- костюмная и пальтовая	0,16 – 0,19	50
	0,22 – 0,31	20
2. Льно-лавсановая	-	45

Приложение X

Зависимость коэффициента динамической вязкости воды
(μ) от температуры

t, °C	$\mu \cdot 10^3$, Па с	t, °C	$\mu \cdot 10^3$, Па с	t, °C	$\mu \cdot 10^3$, Па с
-10	2,600	22	0,960	60	0,470
-5	2,120	25	0,894	65	0,436
0	1,789	28	0,836	70	0,406
+5	1,516	30	0,802	75	0,379
10	1,305	35	0,721	80	0,356
15	1,141	40	0,653	85	0,334
16	1,116	45	0,596	90	0,315
18	1,060	50	0,550	95	0,298
20	1,005	55	0,507	100	0,282

*) Па с = кг/м с = 10 пуаз

Насыщенный водяной пар

t, °C	Давление P, гПа	Объем, за- нимаемый 1 кг пара, V, м ³ /кг	Плотность пара, ρ кг/м ³	Энтальпия пара, i _п кДж/кг	Энтальпия конденсата, i _к , кДж/кг
0	6,08	206,3	0,00485	2500,9	0
5	8,72	147,2	0,00680	2510,1	20,94
10	12,24	107,4	0,00940	2519,3	41,87
15	17,06	78,0	0,0128	2528,9	62,80
20	23,33	57,8	0,0173	2537,3	83,74
25	31,66	43,4	0,0230	2545,7	104,67
30	42,45	32,9	0,0304	2554,1	125,61
35	56,17	25,2	0,0396	2566,6	146,48
40	73,72	19,6	0,0512	2575,0	167,48
45	95,78	15,3	0,0654	2583,4	188,41
50	123,4	12,0	0,0831	2591,8	209,35
55	157,8	9,58	0,104	2600,1	230,28
60	199,0	7,68	0,130	2608,5	251,22
65	250,0	6,20	0,161	2616,9	272,15
70	311,8	5,05	0,198	2625,2	293,09
75	385,3	4,13	0,242	2633,6	314,02
80	473,5	3,41	0,293	2642,0	334,96
85	578,4	2,83	0,354	2650,4	355,89
90	700,9	2,36	0,424	2658,7	376,83
95	844,1	1,98	0,505	2667,1	398,18
100	1013	1,67	0,598	2675,5	419,12
105	1205	1,42	0,705	2683,9	440,05
110	1431	1,21	0,826	2688,1	461,39
115	1690	1,04	0,965	2700,6	482,75
120	1990	0,892	1,121	2704,8	503,69
125	2323	0,770	1,30	2713,2	525,05
130	2696	0,668	1,50	2721,5	545,77
135	3127	0,582	1,72	2725,7	567,34
140	3618	0,509	1,97	2734,1	589,11
145	4157	0,446	2,24	2742,5	610,46

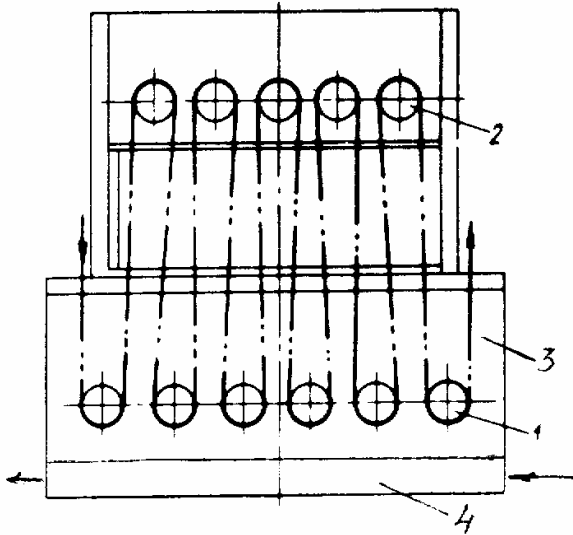
Продолжение таблицы приложения XI

1	2	3	4	5	6
150	4765	0,393	2,55	2746,7	632,24
160	6177	0,307	3,26	2759,2	675,36
170	7922	0,243	4,12	2767,6	719,33
180	10000	0,194	5,16	2780,2	763,29
190	12549	0,156	6,39	2788,5	807,67
200	15588	0,127	7,86	2792,7	852,47
220	23235	0,086	11,6	2801,1	943,75
240	33431	0,0597	16,8	2805,3	1037,5
260	46961	0,0422	23,7	2796,9	1134,7
280	64216	0,0301	33,2	2780,2	1235,2
300	85882	0,0216	46,2	2750,9	1344,0
320	112745	0,0155	65,0	2700,6	1461,3
340	146078	0,0108	93,0	2621,1	1595,3
360	186274	0,00694	144,0	2441,0	1762,7
374	220786	0,00347	288,0	2143,7	2030,7

Энтальпия перегретого водяного пара, i_p , кДж/кг

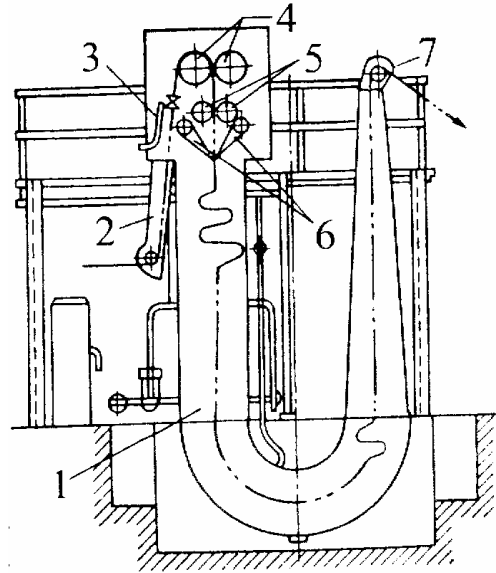
Р ата	$^{\circ}\text{C}$ гПа	100	120	140	160	180	200	220
1	980,7	2676,7	2716,1	2755,0	2795,7	2833,3	2872,3	-
2	1961,3	-	2712,0	2748,8	2788,1	2827,9	2868,1	-
3	2942,0	-	-	2740,4	2781,8	2822,9	2859,7	-
4	3922,6	-	-	-	2775,6	2817,4	2858,9	-
5	4903,3	-	-	-	2768,4	2811,6	2853,9	2895,7
6	5884,0	-	-	-	-	2806,1	2848,8	2891,5
8	7845,3	-	-	-	-	2793,6	2838,4	2883,2

Ванна пропиточная ВЦП



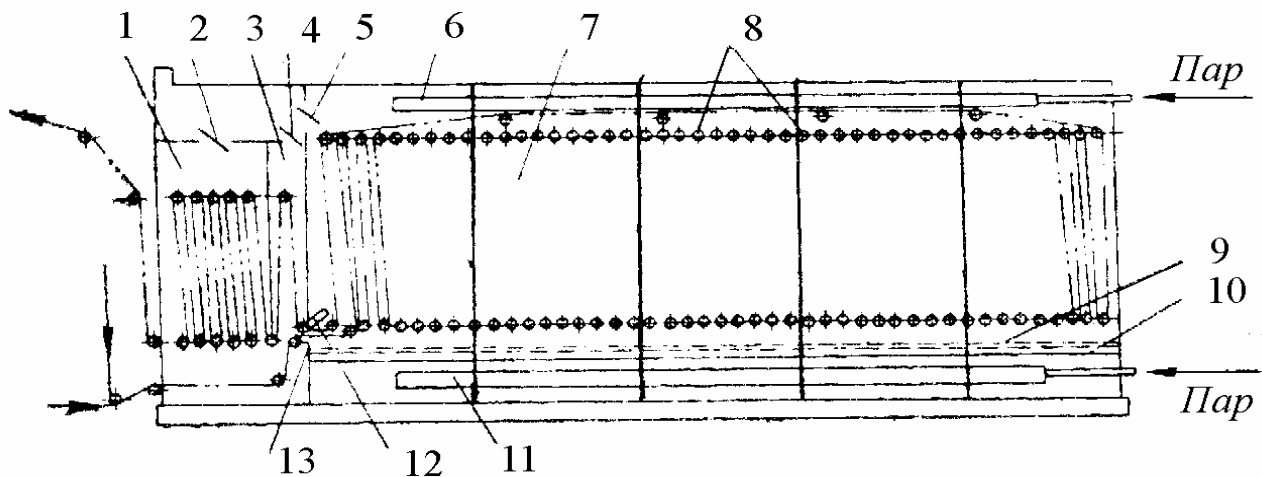
- 1 – перекатные ролики,
- 2 – полуприводные ролики,
- 3 – ванна,
- 4 – днище.

Запарная машина ЗВА-2-5



- 1 – шахта, 2 – тканепровод, 3 – подвижное кольцо, 4 – скелетные барабанчики,
- 5 – ролики-отбойники, 6 – качающиеся лопасти, 7 – направляющий ролик.

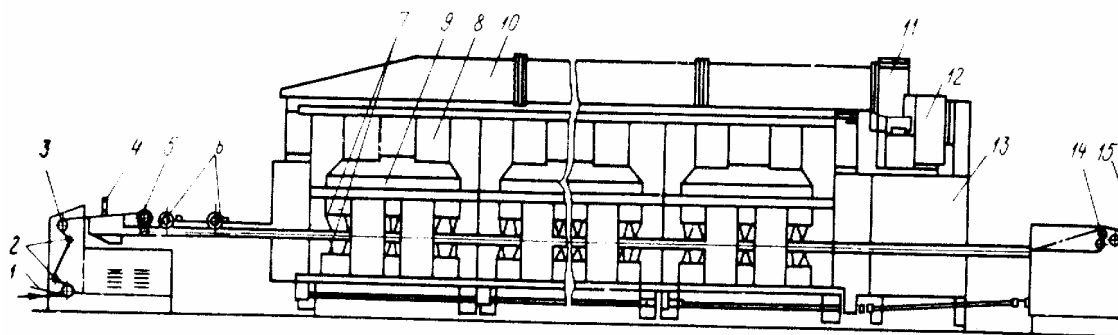
Зрельник восстановительный типа ЗВВ



- 1 – охлаждающая камера,
- 2, 4, 5 – шиберы,
- 3 – предкамера,
- 6 – обогреваемая потолочная плита,
- 7 – запарная камера,
- 8 – ролики,

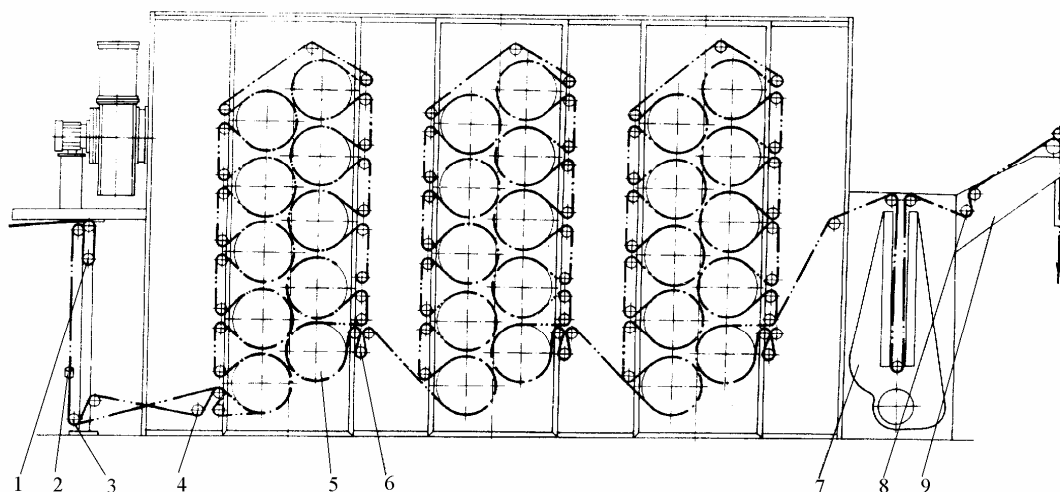
- 9 – перфорированная решетка,
- 10 – поддон с “водяным зеркалом”,
- 11 – калорифер-пароумформер,
- 12 – обогреваемая плита,
- 13 – щель заправочная.

Машина сушильно-ширильная МШС



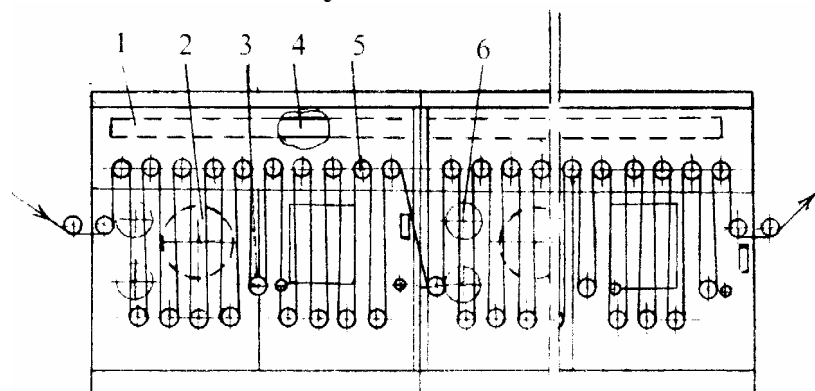
1 – нижний тянущий вал вводного поля, 2 – винтовые ширители, 3 – верхний тянущий вал, 4 – датчик кромкоуловителей, 5 – накалывающее устройство, 6 – докалывающие щетки, 7 – сопла, 8 – циркуляционный вентилятор, 9 – паровой калорифер, 10 – вытяжная вентиляция, 11 – вытяжной вентилятор, 12 – нагнетательный вентилятор, 13 – охлаждающая камера, 14 – тянущий вал, 15 – ткань

Машина сушильная барабанная МСБ



1 – роликовый компенсатор, 2 – тканенаправитель, 3 – перекатные ролики, 4 – дуговой тканерасправитель, 5 – сушильные цилиндры, 6 – компенсатор, 7 – охлаждающая камера, 8 – мерильный ролик, 9 – тканеукладчик.

Роликовая сушильная машина МСР



1 – остов, 2 – вентилятор, 3 – компенсатор, 4 – калорифер, 5 – ролик, 6 – электрооборудование.

Содержание

Введение	3
Список литературы	4
1. Основы проведения теплотехнических расчётов оборудования отделочного производства текстильной промышленности	5
1.1. Характеристика оборудования	5
1.2. Сведения об обрабатываемых тканях	5
1.3. Баланс рабочего времени оборудования	
1.4. Теплотехнический расчёт	7
1.4.1. Разогрев оборудования	14
1.4.2. Устойчивая работа оборудования	21
1.4.3. Простои оборудования в горячем состоянии	24
1.4.4. Суточный расход пара	25
2. Примеры теплотехнических расчётов базовых машин отделочного производства	27
2.1. Расчёт пропиточной ванны ВЦП-140 из линии ЛКС-140-12	27
2.2. Расчёт машины запарной роликовой МЗР-3/140	36
2.3. Расчёт запарного варочного аппарата ЗВА-2-5 из линии ЛЖО-2	48
2.4. Расчёт зрельника восстановительного ЗВВ-4/140	55
2.5. Расчёт сушильной барабанной машины МСБ-2-30/140 из линии ЛКС-140-12	67
2.6. Расчёт машины ширильной сушильной МШС-01-05/140 из линии ЛЗО-140-1	75
2.7. Расчёт машины сушильной роликовой МСР-2/140 из линии ЛЗО-140-2	82
2.8. Расчёт сушильно-ширильной стабилизационной машины фирмы «Вакаяма»	88

2.9. Расчёт термокамеры из линии термозольного крашения фирмы «Вакаяма»	97
2.10 Расчёт сушилки печатной из тканепечатного агрегата фирмы «Шторк»	103
Приложение	110
Содержание	123