

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПРЯДИЛЬНЫХ ЦЕХОВ ДЛЯ ШИРОКОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ДИАПАЗОНА\*

*А.В. КОВАЛЕВСКИЙ, И.Ф. МОЛОДКИН, Г.Н. ГОРЬКОВ, А.Г. ГОРЬКОВА, С.Л. ХАЛЕЗОВ*

(Ивановская государственная текстильная академия)

Известно, что предприятия текстильной промышленности относятся к группе энергоемких производств. Расходы на топливо и электроэнергию составляют около 20% всех расходов, что делает проблему энергосбережения одной из основных. Затраты на энергоресурсы и воду в целом по текстильной промышленности в 2009 г. по сравнению с 1998 г. увеличились на 60%.

Прядильные цеха – это энергоемкие и теплоуплотненные (до 150 кДж/ч·м<sup>3</sup> и выше) обширные помещения текстильных предприятий. В недалеком прошлом прядильный цех с сотней прядильных машин типа БД-200 считался нормой. Но БД-200 – это 3600 м<sup>3</sup>/ч отработанного воздуха от одной машины, который нужно было заменять кондиционным воздухом, только на перемещение которого в сети по трубопроводам вентиляции требовалось 3600 м<sup>3</sup>/ч·100 п.м.·0,02 руб./м<sup>3</sup> = 7200 руб. в ч в ценах до 1993 г. Очевидно, что в настоящее время прядильные производства в том виде, в котором они существовали до 1993 г., стали убыточными. Нужны прядильные цеха - автоматы без или с малым количеством работающего персонала. Необходимы технологические условия для устойчивого процесса прядения с минимальным уровнем обрывности пряжи. Так, если установлено, что наименьшая обрывность пряжи в прядении имеет место при температуре +24°C и относительной влажности 88%, – то именно эти технологические условия безобрывного прядения необходимо соблюдать. Но санитарные нормы [1] допускают относительную влаж-

ность в прядильных цехах не более 75% – для сохранения чувства комфортности обслуживающего персонала.

Целью данной работы является обоснованный выбор формул для расчета параметров тепловлажностного состояния воздуха систем кондиционирования прядильных цехов в широком температурном интервале: от -30°C до +100°C, то есть близко к параметрам Б холодного периода средней полосы Российской Федерации [2].

В работе А.В.Нестеренко [3] имеется замечание, что в интервале температур от 0°C до +100°C наиболее точное совпадение с табличными данными парциальных давлений водяного пара в насыщенном состоянии в зависимости от температуры определяется по формуле, которая имеет базовый вид (мм рт.ст.):

$$\ln p = 156 + \frac{8,12t}{236 + t} \quad (1)$$

В [4] для определения парциальных давлений водяного пара в насыщенном состоянии в зависимости от температуры приведены формулы для трех температурных диапазонов (в системе СИ, Па): при 20°C ≤ t ≤ 45°C:

$$p = 1765,88 + (2,55t - 27,09)^2, \quad (2)$$

$$t = \frac{(p - 1765,88)^{0,5} + 27,09}{2,55}, \quad (3)$$

\*Работа выполнена при поддержке гранта ИГТА для молодых исследователей.

при  $0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 20^{\circ}\text{C}$  :

$$p = 406,7 + (14,5 + 1,45t)^2, \quad (4)$$

$$t = \frac{(p - 406,7)^{0,5} - 14,5}{1,45}, \quad (5)$$

при  $-10^{\circ}\text{C} \leq t \leq 0^{\circ}\text{C}$  :

$$p = 192 + (20,46 + 1,2t)^2, \quad (6)$$

$$t = \frac{(p - 192)^{0,5} - 20,46}{1,2}. \quad (7)$$

Однако для практических расчетов рекомендованный диапазон температур по формулам (1)...(7) недостаточен. Поэтому посчитали целесообразным проверить расчеты по формулам (1)...(7) в более широком температурном диапазоне, а именно в интервале температур от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

Расчет и вычисление погрешности путем сравнения с табличными данными был проведен через каждые  $5^{\circ}\text{C}$  указанного выше температурного интервала по формулам (1)...(7).

С учетом расчетного минимума среднестатистической относительной погрешности, составившей менее 5% , выбрана формула (1), которая в системе СИ (МПа) имеет вид:

при  $-30^{\circ}\text{C} \leq t \leq +100^{\circ}\text{C}$  :

$$p = e^{\frac{-3,49501 \cdot 10^8 + 1,95313 \cdot 10^{6t}}{4,7179 \cdot 10^7 + 1,99911 \cdot 10^{5t}}}, \quad (8)$$

$$t = \frac{-3,49501 \cdot 10^8 - 4,7179 \cdot 10^{7 \ln p}}{-1,95313 \cdot 10^6 + 1,99911 \cdot 10^{5 \ln p}}. \quad (9)$$

На основании анализа формул (1)...(9) считаем более обоснованным вести расчет параметров оптимального микроклимата технологической и рабочей зон прядильных отделов текстильных предприятий, используя систему из четырех уравнений с семью переменными [b, f, t, p, d, v, i] :

$$\begin{cases} e^{\frac{-3,49501 \cdot 10^8 + 1,95313 \cdot 10^{6t}}{4,7179 \cdot 10^7 + 1,99911 \cdot 10^{5t}}} - p = 0, \\ \frac{bd}{d + 623} - v = 0, \\ \frac{v}{p} - f = 0, \\ 1,005t + (2,5 + 1,807 \cdot 10^{-3t})d - i = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Система (10) содержит уравнение (8) для диапазона температур от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . В системе (10): t – температура влажного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ; p – парциальное давление водяного пара в насыщенном состоянии при той же температуре, МПа; b – барометрическое давление, МПа; d – влагосодержание влажного воздуха, г/кг сухого воздуха; v – парциальное давление водяного пара в ненасыщенном (действительном) состоянии влажного воздуха при той же температуре, МПа; f – относительная влажность воздуха, в долях единицы; i – энтальпия влажного воздуха, кДж/кг сухого воздуха.

Система уравнений (10) решается, если известно барометрическое давление (b) и любые два из указанных выше в квадратных скобках параметра влажного воздуха.

При расчете рекомендуем использовать вспомогательный аппарат любой из универсальных компьютерных систем (MathCAD, MathLAB, Maple и др.).

Таким образом, предложен математический аппарат (система уравнений (10)) для практических расчетов параметров оптимального микроклимата технологической и рабочей зон прядильных отделов текстильных предприятий в широком температурном диапазоне (от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ ) с учетом расчетного минимума среднестатистической относительной погрешности, которая составила менее 5%. Причем, используя систему уравнений (10), можно определять контрольные параметры воздушной среды кондиционного воздуха для поддержания равновесной влажности волокна ленты-полуфабриката внутри тазиков (t2, d2, i2), параметры притока (t1, d1, i1), а также параметры технологической зоны прядения (t3, d3, i3), ко-

торые уточняются решением системы уравнений:

$$\begin{aligned} i_3 - i_1 - n(i_2 - i_3) &= 0, \\ d_3 - d_1 - n(d_2 - d_3) &= 0, \\ d_1(2,5 + 0,0018068t_1) + 1,005t_1 - i_1 &= 0, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} d_2(2,5 + 0,0018068t_2) + 1,005t_2 - i_2 &= 0, \\ d_3(2,5 + 0,0018068t_3) + 1,005t_3 - i_3 &= 0. \end{aligned}$$

В системе (11):  $t_1, t_2, t_3$  – температура влажного воздуха, °С, соответственно притока, кондиционного и после смешения;  $d_1, d_2, d_3$  – влагосодержание влажного воздуха, г/кг сухого воздуха, соответственно притока, кондиционного и после смешения;  $i_1, i_2, i_3$  – энтальпия влажного воздуха, кДж/кг сухого воздуха соответственно притока, кондиционного и после смешения;  $n$  – отношение ( $G_2/G_1 = n$ ), показывающее, какое количество кондиционного воздуха ( $G_2$ ), проходящего через волокно в тазаках в технологическую зону, приходится на 1кг воздуха притока ( $G_1$ ) (рис.1 – схема оснащения прядильной машины типа БД-200 системой кондиционного воздуха и притока).

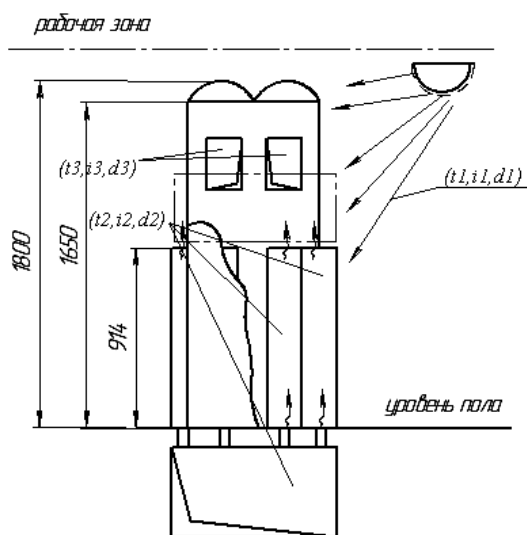


Рис. 1

Как видно из рис. 2 (процесс смешения (3) кондиционного воздуха (2) с воздухом притока (1) в  $i, d$ -диаграмме), приточный воздух (1) поступает непосредственно в рабочую зону. Процесс смешения конди-

ционного воздуха (2) и притока (1) происходит в технологической зоне процесса прядения (3).

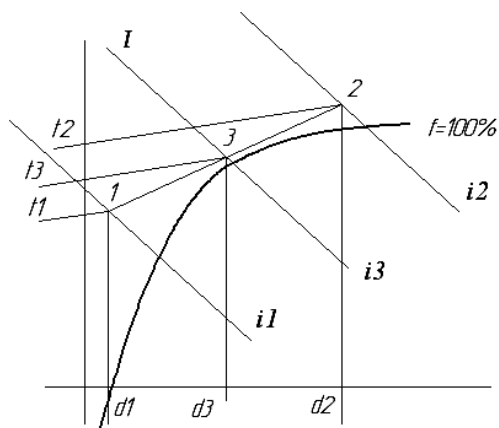


Рис. 2

Пример расчета.

Установлено, например, что наименьшая обрывность нитей при прядении волокон данной сортировки соответствует параметрам  $t_3 = 24^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $f_3 = 88\%$ , а параметры воздушной среды зрельника для волокна данной сортировки  $t_2 = 32^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $f_2 = 95\%$ . Решая систему (10) при известных ( $b, f, t$ ), получаем:  $(i_2, i_3, d_2, d_3) \Rightarrow (69,3614, 65,9399, 28,813, 16,4427)$ . Затем, решая систему (11) при известных ( $i_2, i_3, t_2, t_3, n$ ), получаем  $(i_1, d_1, t_1) \Rightarrow (26,0058, 4,06641, 15,65)$ .

## ВЫВОДЫ

Предложен математический аппарат (система уравнений (10)) для практических расчетов параметров оптимального микроклимата технологической и рабочей зон прядильных отделов текстильных предприятий в широком температурном диапазоне с учетом расчетного минимума среднестатистической относительной погрешности, которая составила менее 5% и позволит более эффективно решать вопросы, связанные с увлажнением и замасливанием сырья.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СН 245. – М.: Стройиздат, 1972.

2. Строительные нормы и правила. СН и П П-33 – 75. – М.: Стройиздат, 1976.

3. *Нестеренко А.В.* Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Высшая школа, 1971.

4. Справочник проектировщика. Отопление, водоснабжение, канализация. – Ч. I. – М.: Стройиздат, 1964.

Рекомендована кафедрой маркетинга. Поступила 23.01.09.

---