

## **ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ВЫСОТЕ ГЕЛИОТЕПЛИЦЫ-СУШИЛКИ**

**А. З. Киямов, С. И. Хамраев, З. Э. Пардаев, Ю. З. Насруллаев,  
Э. Э. Турдиев, Ф. Ф. Шарипов**

*Каршинский инженерно-экономический институт,  
Республика Узбекистан*

Научные руководители: Ж. Д. Садыков; А. С. Дусяров, канд. техн. наук

Известно, что любая система снабжения энергией состоит из источника первичной энергии, подсистемы преобразования энергии и потребителей преобразованной энергии. В системе могут возникнуть несоответствия как во времени, так и в пространстве между подачей энергии и потребностями. Преодоление этих несоответствий является основной целью аккумуляирования энергии [1].

В теплоэнергетических и энергосберегающих процессах аккумуляирования тепла аккумуляирование энергии – наиболее важная форма. Теплоаккумулялирующие системы являются неотъемлемыми составными частями в низкотемпературных солнечных установках, в частности, в солнечных системах теплоснабжения, солнечных теплицах [2].

В низкотемпературных солнечных установках (теплицах, сушилках, опреснителях) практически всегда существует изменение температуры по высоте [3].

В дневное время в период инсоляции солнечная радиация прогревает внутренние поверхности установки. Естественной конвекцией тепло передается воздушной среде. Эти процессы в замкнутом объеме конструкции приводят к температурным изменениям воздуха по высоте конструкции.

Естественная конвекция ведет к стабилизации изменений температуры, которая определяется убыванием плотности среды по вертикали:

$$\frac{\partial \rho}{\partial h} < 0. \quad (1)$$

Влажный воздух рассматривается как смесь идеальных газов, состоящая из сухого воздуха и перегретого пара (при ненасыщенном воздухе) или насыщенного пара (при насыщенном воздухе). В общем виде плотность влажного воздуха среды является функцией температуры  $t$ , давления  $p$  и концентрации пара  $C$ :

$$\rho = \rho(t, p, C). \quad (1a)$$

В условиях солнечных установок барометрическое давление принимается постоянным  $p = \text{const}$ . Тогда зависимость разности плотностей, определяющих Архимедову выталкивающую силу, от совместного действия переноса тепла и концентрации можно представить в следующем виде:

$$\Delta \rho_t + \Delta \rho_c = \rho_0 \beta_t (t - t_n) + \rho_0 \beta_c (C - C_n), \quad (2)$$

где  $\rho_0 = \rho(t, C)$  – выбранная плотность среды, относительно которой определяется выталкивающая сила;  $\rho_n = \rho(t_n, C_n)$  – рассматриваемая плотность.

В низкотемпературных солнечных установках в процессах переноса изменение плотности в зависимости от  $t$  и  $C$  можно принять линейным. Тогда коэффициенты температурного  $\beta_t$  и концентрационного  $\beta_c$  расширения среды определяются следующими выражениями:

$$\beta_t = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_{p,c}; \quad \beta_c = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial C} \right)_{p,t}. \quad (3)$$

Для идеальных газов:

$$\beta_t = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{273,15}. \quad (3a)$$

Из выражений (4) и (3a) получим:

$$\beta_c = \frac{1}{C - C_y} \left( \frac{\rho_0 - \rho_y}{\rho_0} - \frac{t - t_y}{273,15} \right) \quad (3b)$$

Если известны температура, давление и относительная влажность воздуха, плотность воздуха определяется следующими выражениями [4]:

$$\rho = \frac{p\mu}{RT}; T = 273,15 + t; \mu = 28,95 - 10,93 \frac{\varphi p_n}{p}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – барометрическое давление, Па;  $\mu$  – молекулярная масса влажного воздуха, кг/кмоль;  $R = 8314$  Дж/(кмоль · К) – универсальная газовая постоянная;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха;  $p_n$  – давление насыщения пара, Па.

В интервале температур  $T = 303$ – $343$  К давление насыщения [5]:

$$p_n = 4245,29 \cdot \exp \left[ 5201,3 \left( \frac{1}{303} - \frac{1}{T} \right) \right]. \quad (5)$$

Влагосодержание воздуха  $x$ , г/кг, и концентрация пара  $C$ , кг/кг [3]:

$$x = 0,622 \frac{p_n}{p - p_n}; C = \frac{x}{1000}. \quad (6)$$

В соответствии с формулами (4) и (5) с увеличением температуры при  $\varphi = \text{const}$  плотность воздуха падает практически линейно.

Таким образом

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\text{grad} \rho \quad (7)$$

и Архимедова сила при  $\frac{\partial t}{\partial h} = \text{grad} t$  – направлена вверх; при  $\frac{\partial t}{\partial h} = -\text{grad} t$  – направлена вниз.

При равных условиях  $t$  и  $p$  плотность сухого воздуха больше плотности водяного пара.

Аналогично (7) можно записать:

$$\frac{\partial \rho}{\partial C} = -\text{grad} \rho \quad (7a)$$

и Архимедова сила при  $\frac{\partial C}{\partial h} = \text{grad} C$  – направлена вверх; при  $\frac{\partial C}{\partial h} = -\text{grad} C$  – направлена вниз.

Температурный градиент плотности сухого воздуха в интервале  $t = 20$ – $70$  °С составляет:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -0,0034 - 0,00494 \text{ кг/м}^3/\text{К}. \quad (8)$$

Концентрационный градиент плотности влажного воздуха в интервале  $C = (10$ – $110)/10^3$  кг/кг ( $x = 10$ – $110$  г/кг) составляет:

$$\frac{\partial \rho}{\partial C} = \frac{-(0,00047 - 0,01)}{10^3} \text{ (кг/м}^3\text{)/(кг/кг)}. \quad (8a)$$

Как видно из (8) и (8а), температурный градиент плотности превышает концентрационный в  $\approx 10^3$  раз. Поэтому можно принять, что основное изменение плотности влажного воздуха определяется изменением температуры  $\rho_h = \rho(t)$ .

В практических расчетах в формуле (2) можно не учитывать  $\Delta\rho_c$ .

Таким образом, для возникновения изменений температуры достаточно условия

$$\frac{\partial t}{\partial h} > 0. \quad (9)$$

Соотношения (1) и (9) являются условиями устойчивости изменений температуры, в процессах тепло- и массопереноса в низкотемпературных солнечных установках достаточно учитывать только температурную разность.

Изменение температуры воздуха по высоте можно представить следующей корреляционной зависимостью:

$$t_0 = t_m - (t_m a); \quad t_h = t_0 \exp(bh), \quad (10)$$

где  $t_0$  – температура воздуха при  $h = 0$  м;  $t_m$  – среднемассовая температура воздуха, измеряемая на высоте  $h = 1,5$ – $1,7$  м;  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, определяемые экспериментально.

#### Литература

1. Байрамов, Р. Б. Микроклимат теплиц на солнечном обогреве / Р. Б. Байрамов, Л. Б. Рыбакова. – Ашхабад, 1983. – 85 с.
2. Хайриддинов, Б. Э. Математическая модель блочной гелиотеплицы-сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла / Б. Э. Хайриддинов, С. М. Исаев, М. У. Аширбаев // Гелиотехника. – 1990. – № 5. – С. 80–83.
3. Джалурия, И. Естественная конвекция / И. Джалурия. – М. : Мир, 1983. – 399 с.
4. Крум, Д. Кондиционирование воздуха и вентиляция зданий / Д. Крум. – М. : Стройиздат, 1980. – 395 с.
5. Богословский, В. Н. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / В. Н. Богословский, М. Я. Поз. – М. : Стройиздат, 1983. – 317 с.