

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ВЫСОТЕ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГЕЛИОУСТАНОВКАХ

К. К. Рахимова, С. У. Умарова, К. Т. Абдуллаева,
Ш. А. Ганиева, Л. Ш. Абдуллаева

Каршинский государственный университет, Республика Узбекистан

Научные руководители: Ж. Д. Садыков, Н. С. Холмирзаев

В низкотемпературных гелиоустановках (теплицах, сушилках, опреснителях) практически всегда существует изменение температуры по высоте [1].

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 приводит 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 :

$$\rho = \rho(t, p, C). \quad (2)$$

В условиях гелиоустановок 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:

$$\Delta \rho = \Delta \rho_t + \Delta \rho_c = \rho_0 \beta_t (t - t_h) + \rho_0 \beta_c (C - C_h), \quad (3)$$

где $\rho_0 = \rho(t, C)$ – выбранная плотность среды, относительно которой определяется выталкивающая сила, $\rho_h = \rho(t_h, C_h)$ – рассматриваемая плотность.

В низкотемпературных гелиоустановках в процессах переноса изменение плотности в зависимости от t и C можно принять линейным. Тогда коэффициенты температурного β_t и концентрационного β_c расширения среды определяются следующими выражениями:

$$\beta_t = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_{p,C}; \quad \beta_c = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial C} \right)_{p,t}. \quad (4)$$

Для идеальных газов

$$\beta_t = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{273,15}. \quad (5)$$

Из выражений (4) и (5) получим:

$$\beta_c = \frac{1}{C - C_y} \left(\frac{\rho_0 - \rho_y}{\rho_0} - \frac{t - t_y}{273,15} \right). \quad (6)$$

Если известны температура, давление и относительная влажность воздуха, плотность воздуха определяется следующими выражениями [2]:

$$\rho = \frac{p\mu}{RT}; \quad T = 273,15 + t; \quad \mu = 28,95 - 10,93 \frac{\varphi p_n}{p}, \quad (7)$$

где p – барометрическое давление, Па; μ – молекулярная масса влажного воздуха, кг/кмоль; $R = 8314$ Дж/(кмоль К) – универсальная газовая постоянная; φ – относительная влажность воздуха; p_n – давление насыщения пара, Па.

В интервале температур $T = 303\text{--}343$ К давление насыщения [3]:

$$p_n = 4245,29 \exp \left[5201,3 \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{T} \right) \right]. \quad (8)$$

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

$$x = 0,622 \frac{p_n}{p - p_n}; \quad C = \frac{x}{1000}. \quad (9)$$

В соответствии с формулами (7) и (8), с увеличением температуры при $\varphi = \text{const}$ плотность воздуха падает практически линейно.

Таким образом

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\text{grad } \rho \quad (10)$$

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 (10) можно записать

$$\frac{\partial \rho}{\partial C} = -\text{grad } \rho \quad (11)$$

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 $t = 20\text{--}70$ °С составляет:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -0,0034\text{--}0,00494 \text{ (кг/м}^3\text{)/К}. \quad (12)$$

242 Энергообеспечение, энергосбережение и эффективное использование энергии

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

$$\frac{\partial \rho}{\partial C} = \frac{-(0,00047 - 0,01)}{10^3} \text{ (кг/м}^3\text{)/(кг/кг)}. \quad (13)$$

Как видно из (12) и (13), 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 (3) можно не учитывать $\Delta \rho_c$.

Таким образом, для возникновения изменений температуры достаточно условие

$$\frac{\partial t}{\partial h} > 0. \quad (14)$$

Соотношения (1) и (14) являются условиями устойчивости изменений температуры, в процессах тепло- и массопереноса в низкотемпературных солнечных установках учитывается только температурная разность.

Изменение температуры воздуха по высоте можно представить следующей корреляционной зависимостью:

$$t_0 = t_m - (t_m a); \quad t_h = t_0 \exp(bh), \quad (15)$$

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.

Л и т е р а т у р а

1. Джалурия, И. Естественная конвекция / И. Джалурия. – М. : Мир, 1983. – 399 с.
2. Крум, Д. Кондиционирование воздуха и вентиляция зданий / Д. Крум. – М. : Стройиздат, 1980. – 395 с.
3. Богословский, В. Н. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / В. Н. Богословский, М. Я. Поз. – М. : Стройиздат, 1983. – 317 с.