

Индустрии 4.0, аддитивные технологии, машинное обучение, цифровые производства и кибербезопасность. Проведение интеллектуальной трансформации должно способствовать улучшению качества продукции, снижению затрат ресурсов, оптимизации производственных процессов и созданию устойчивой экономики нового типа. Беларусь активно работает над применением новейших технологий и инноваций для достижения этих целей.

*Данная работа подготовлена в рамках исследований, выполняемых в СНИЛ «Поиск» БГЭУ.*

#### Литература

1. Национальная академия наук Беларуси. – Режим доступа: <https://nasb.gov.by/rus/about/glavnaya/>. – Дата доступа: 28.04.2024.
2. Головенчик, Г. Г. Цифровая мировая экономика / Г. Г. Головенчик. – Минск : БГУ, 2021. – 175 с.
3. Данильченко, А. В. Цифровая трансформация обрабатывающей промышленности Республики Беларусь: тенденции и перспективы развития / А. В. Данильченко, И. А. Зубрицкая, К. В. Якушенко ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : Право и экономика, 2019. – 246 с.

УДК 662.997

### ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ВЫСОТЕ СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ

Ж. М. Шохимардонов, А. М. Салайдинов

*Каршинский инженерно-экономический институт,  
Республика Узбекистан*

Научные руководители: К. Ш. Турсунов, Ж. Д. Садыков

*Для возникновения изменений температуры достаточно условия  $\partial t/\partial h > 0$ , приведена корреляционная зависимость  $t_h = t_o \exp(b' h)$  изменения температуры воздуха по высоте солнечной установки.*

**Ключевые слова:** солнечная энергия, солнечная установка, конвекция, температура, влажность,

### CHANGE IN AIR TEMPERATURE BY HEIGHT SOLAR INSTALLATION

J. M. Shokhimardonov, A. M. Salaidinov

*Karshi Institute of Engineering and Economics, Republic of Uzbekistan*

Science supervisors: K. Sh. Tursunov, J. D. Sadikov

*For the occurrence of temperature changes, the following condition is sufficient  $\partial t/\partial h > 0$ , the correlation dependence  $t_h = t_o \exp(b' h)$  of the change in air temperature along the height of the solar installation is given.*

**Keywords:** solar energy, solar installation, convection, temperature, humidity.

В дневное время в период инсоляции солнечная радиация прогревает внутренние поверхности установки. Естественной конвекцией тепло передается воздушной среде. Эти процессы в замкнутом объеме низкотемпературных солнечных установок (теплицах, сушилках) приводят к температурным изменениям воздуха по высоте конструкции [1, 2].

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

$$\partial\rho/\partial h < 0. \quad (1)$$

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  $\rho = \rho(t, p, C)$  температуры  $t$ , давления  $p$  и концентрации пара  $C$ .

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:

$$\Delta\rho = \Delta\rho_t + \Delta\rho_c = \rho_o\beta_t(t - t_h) + \rho_o\beta_c(C - C_h), \quad (2)$$

где  $\rho_o = \rho(t, C)$  – выбранная плотность среды, относительно которой определяется выталкивающая сила;  $\rho_h = \rho(t_h, C_h)$  – 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:

$$\beta_t = 1/T_o = 1/273,15. \quad (3a)$$

Из выражений (3) и (3a) получим

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

Если известны температура, давление и относительная влажность воздуха, плотность воздуха определяется следующими выражениями [3, 4]:

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

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

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

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

Влагосодержание воздуха  $x$  (г/кг) и концентрация пара  $C$  (кг/кг) [3, 5]:

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

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

Таким образом

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

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

При равных условиях  $t$  и  $p$  плотность сухого воздуха больше плотности водяного пара. Аналогично (7) можно записать:

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

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

Температурный градиент плотности сухого воздуха в интервале  $t = 20\text{--}70^\circ\text{C}$  составляет:

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

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

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

Как видно из (8) и (8a), 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

$$\partial t / \partial h > 0. \quad (9)$$

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:

$$t_o = t_m(t'_m a); \quad t_h = t_o \exp(b'h), \quad (10)$$

где  $t_o$  – температура воздуха при  $h = 0$  м;  $t_m$  – среднемассовая температура воздуха, измеряемая на высоте  $h = 1,5\text{--}1,7$  м;  $a, b$  – коэффициенты, определяемые экспериментально.

Л и т е р а т у р а

1. Байрамов, Р. Б. Микроклимат теплиц на солнечном обогреве / Р. Б. Байрамов, Л. Е. Рыбакова. – Ашхабад : Ылым. 1983. – 84 с.
2. Джалурия, И. Естественная конвекция / И. Джалурия. – М. : Мир. 1983. – 399 с.
3. Исаев, С. М. Моделирование и управление температурно-влажностными режимами гелиотеплиц-сушилок : дис. ... канд. техн. наук / С. М. Исаев. – Т. : ТГТУ, 1997. – 126 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.