

Кузьмин Сергей Иванович,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: sergey.kuzmin@mail.ru

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО КЛИМАТА

Kuzmin S.I.

MODEL OF DISTRIBUTION OF OUTDOOR CLIMATE PARAMETERS

Аннотация. В работе рассмотрен метод составления модели распределения продолжительности стояния параметров наружного климата в течение среднестатистического года.

Ключевые слова: наружный климат, параметр климата, климатическое районирование, продолжительность стояния параметров, моделирование системы.

Abstract. The paper considers a method for compiling a model of the distribution of the duration of standing of the parameters of the outdoor climate during the average statistical year.

Keywords: outdoor climate, climate parameter, climatic zoning, duration of standing parameters, system modeling.

Режимы работы системы создания микроклимата (вентиляции, кондиционирования воздуха) с соответствующим потреблением энергии и ресурсов зависят от состояния наружного воздуха. Метод выбора рациональной технологической схемы системы создания микроклимата и оптимального режима ее эксплуатации в течение годового периода основан на выделении в области, характеризующей состояние наружного климата, таких зон, в границах которых режим работы системы соответствует желаемому значению критерия оптимизации [1-8]. При этом в каждой зоне предполагается свой режим эксплуатации, что определяет технологическую схему системы. Очевидно, что для реализации всех оптимальных режимов в течение расчетного периода техническая система должна содержать все необходимые для этого элементы, что значительно удорожает ее стоимость. Период использования того или иного оборудования зависит от продолжительности времени сочетания параметров наружного воздуха, находящихся в границах соответствующей зоны. Но продолжительность часов стояния параметров в каждой зоне разное и естественно, что зоны (а соответственно и режимы работы системы), имеющие малые по продолжительности периоды, можно исключить из вариантов технологического содержания систем, что, соответственно, может быть основанием для включения в качестве параметра оптимизации и экономического показатель.

Поэтому представляется важным разработка способа представления продолжительности стояния параметров наружного климата в произвольных границах термодинамических параметров.

Продолжительность стояния параметров наружного климата является статистической характеристикой географического пункта и приводится для характерных районов в виде массива часов продолжительности сочетания тем-

пературы t_H ($^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности ϕ_H воздуха за год в границах интервалов через 5 ($^{\circ}\text{C}$) и 5 % [9].

Распределения продолжительности часов сочетания климатических показателей $\Delta\tau_{t\phi,j}$ представляется весьма сложной поверхностью, что не позволяет выразить ее через математическую функцию с приемлемой точностью. Кроме того, достаточно большой шаг интервалов аргументов, в которых представлены данные, не удовлетворяет условию определения искомого параметра в произвольных границах Δt_H и $\Delta\phi_H$.

Дискретное изменение часов стояния параметров по интервалам можно заменить интегральным распределением, которое в пределах каждого интервала по температуре воздуха представится следующим образом (1):

$$\tau(\Delta t_i; \widetilde{\phi}_{j=n}) = \sum_{j=1}^{j=n} \Delta\tau_{i,j}, \quad (1)$$

где $\tau(\Delta t_i; \widetilde{\phi}_{j=n})$ – сумма часов стояния параметров воздуха в пределах i -го интервала температур от начального $\phi_{j=1}$ до текущего $\phi_{j=n}$ значения относительной влажности воздуха, час; j – индекс номера интервала относительной влажности воздуха.

Тогда зависимость изменения часов стояния относительной влажности воздуха $\tau(\Delta t_i; \widetilde{\phi}_{j=k})$ в пределах назначенных интервалов температур приобретает вид монотонно возрастающей линии (рис. 1).

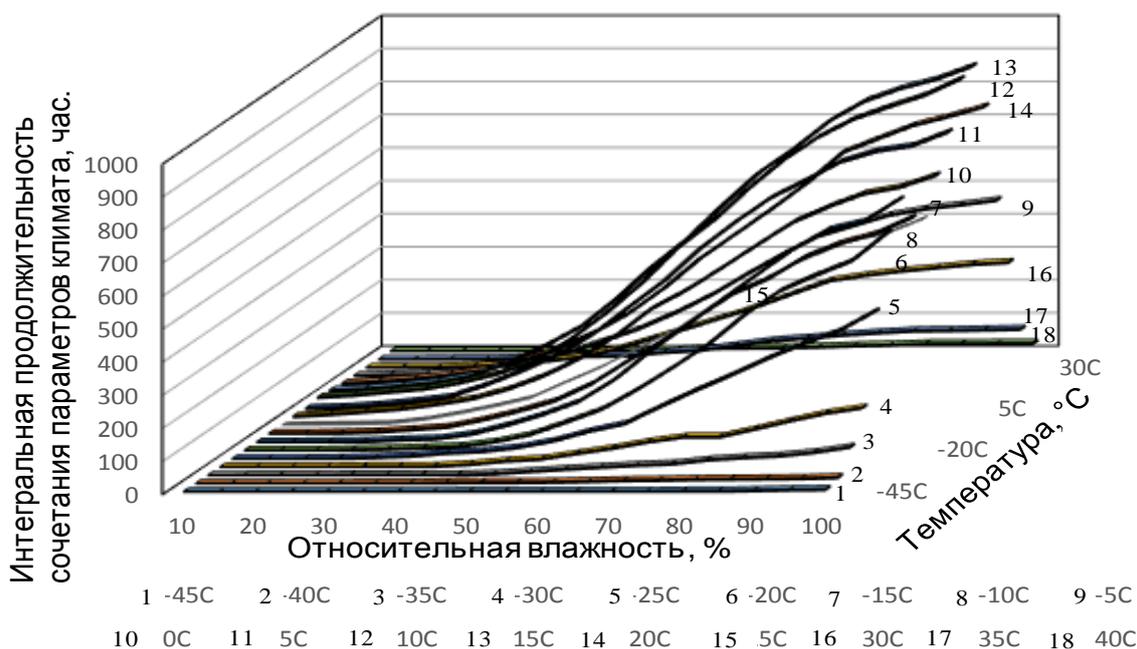


Рисунок 1 – Интегральное распределение продолжительности сочетания температуры и относительной влажности наружного воздуха по интервалам для г. Улан-Удэ

Для обеспечения одинаковых по верхнему пределу значений часов стояния в каждом интервале температур выразим их величину по отношению к полной сумме часов соответствующих сочетаний за каждый интервал температур $\tau(\Delta t_i; \bar{\phi}_{j=k})$:

$$\bar{\tau}(\bar{t}_i; \bar{\phi}_{j=k}) = \frac{\tau(\Delta t_i; \bar{\phi}_{j=n})}{\tau(\Delta t_i; \bar{\phi}_{j=k})} = \frac{\tau(\Delta t_i; \bar{\phi}_{j=n})}{T_{\phi}(\Delta t_i)} \leq 1 \quad (2)$$

Для каждого интервала температур эти распределения аппроксимируются уравнениями типа (3):

$$\bar{\tau}(\bar{t}_i; \bar{\phi}_{j=k}) = \exp - \left\{ \left(\frac{20-0,2 \cdot \bar{\phi}_j}{19} \right)^{K_t} : (C_t \cdot D_t^{Z_t}) \right\}, \quad (3)$$

где $\bar{\phi}_j$ – верхнее значение интервала относительной влажности, %;

$K_t; C_t; D_t; Z_t$ – коэффициенты и показатели степеней, изменяющиеся по интервалам температур.

Изменение значений коэффициентов $K_t; C_t; D_t; Z_t$ по интервалам температур так же можно выразить через соответствующие зависимости:

$$k = 10^{-3} \cdot \left(\begin{array}{l} 0,388 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^5 - 16,492 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^4 + \\ + 261,05 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^3 - 1765,6 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^2 + \\ + 3620,4 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9) + 7043 \end{array} \right) \quad (4)$$

$$C = \exp \left\{ \left[\begin{array}{l} -8 \cdot 10^{-5} \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^6 + 0,03006 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^5 - \\ -1,2408 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^4 + 19,51 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^3 - \\ -120,59 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^2 + 195,4 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9) + \\ + 902,9 \end{array} \right] \cdot 10^{-2} - 2 \right\}. \quad (5)$$

$$D = \ln \left\{ \left[\begin{array}{l} -0,0238 \cdot 10^{-5} \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^5 + 1,0355 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^4 - \\ -17,305 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^3 + 120,68 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^2 - \\ -281,25 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9) + 1274,6 \end{array} \right] \cdot 10^{-3} \right\} \quad (6)$$

$$z = 10^{-4} \cdot \left(\begin{array}{l} 0,5772 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^6 - 28,865 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^5 + \\ + 542,13 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^4 - \\ -4696,1 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^3 + 18369 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9)^2 - \\ -31804 \cdot (0,2\bar{t}_H + 9) + 98196 \end{array} \right) \quad (7)$$

Таким образом, получаем функциональную зависимость распределения продолжительности сочетания температуры и относительной влажности воздуха по интервалам температур, которая графически выражается семейством кривых (по числу принимаемых интервалов). Соответственно, интегральное значение продолжительности сочетания любого произвольного интервала температуры Δt и относительной влажности $\Delta \phi$ можно определить:

$$\tau(\Delta t_i; \Delta \phi_j) = \bar{\tau}(\Delta t_i; \bar{\phi}_{j=n}) \cdot T_{\phi}(\Delta t_i) \quad (8)$$

Для использования зависимости (8) необходимо знать сумму часов продолжительности сочетания параметров для произвольного интервала темпера-

тур $T_\phi(\Delta t_i)$. Интегральные суммы $\sum_{i=1}^{i=16} T_\phi(\Delta t_i)$ этих периодов можно определить из [9]. Зависимость $\sum_{i=1}^{i=16} T_\phi(\Delta t_i) = T_{\phi,t}$ относительно общей продолжительности календарного года ($T = 8766$ часов) также можно представить в виде функциональной зависимости (9):

$$\sum_{i=1}^{i=16} \bar{T}_\phi(\Delta t_i) = \frac{T_{\phi,t}}{8766} = \exp - \left\{ \frac{[1-0,0125 \cdot (t_i+45)]^{S_t}}{P_t \cdot 10^{-5} \cdot [0,1 \cdot (t_i+45) + 2]^{M_t}} \right\}, \quad (9)$$

где S_t ; P_t M_t – коэффициенты (показатели степени), зависящие от текущей температуры:

$$S_t = \left\{ \begin{array}{l} 0,1228 \cdot [0,2 \cdot (t_i + 45)]^6 - 6,5513 \cdot [0,2 \cdot (t_i + 45)]^5 + 130,64 \cdot [0,2 \cdot (t_i + 45)]^4 - \\ - 1160,4 \cdot [0,2 \cdot (t_i + 45)]^3 + 3935,5 \cdot [0,2 \cdot (t_i + 45)]^2 + \\ + 79,129 \cdot [0,2 \cdot (t_i + 45)] + 17340 \end{array} \right\} \cdot 10^{-4} \quad (10)$$

$$P_t = 9,3 + 0,14 \cdot (t_i + 45) \quad (11)$$

$$M_t = 0,39 + 0,002 \cdot (t_i + 45) \quad (12)$$

Значение дискретной продолжительности сочетаний температуры и относительной влажности для произвольных их интервалов определится разностью интегральных значений при соответствующих значениях аргументов $\tau(\Delta t_i; \Delta \phi_j)$:

$$\begin{aligned} \tau(\Delta t_{i-(i-1)}; \Delta \phi_{j-(j-1)}) &= \left(\exp - \left\{ \left(\frac{20 - 0,2 \cdot \phi_j}{19} \right)^{K_t} : (C_t \cdot D_t^{Z_t}) \right\}_{t=i} \right) - \\ &- \exp - \left\{ \left(\frac{20 - 0,2 \cdot \phi_{j-1}}{19} \right)^{K_t} : (C_t \cdot D_t^{Z_t}) \right\}_{t=i-1} \right) \cdot 8760 \cdot (\\ &\cdot \exp - \left\{ \frac{[1 - 0,0125 \cdot (t_i + 45)]^{S_t}}{P_t \cdot (10^{-5} \cdot [0,1 \cdot (t_i + 45) + 2])^{M_t}} \right\}_{t=i} - \\ &- \exp - \left\{ \frac{[1 - 0,0125 \cdot (t_i + 45)]^{S_t}}{P_t \cdot (10^{-5} \cdot [0,1 \cdot (t_i + 45) + 2])^{M_t}} \right\}_{t=i} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Проверку адекватности полученной модели продолжительности сочетания параметров наружного воздуха нормативному распределению произведем из положения, что дискретные статистические значения $\bar{\tau}(\Delta t_i; \Delta \phi_j)$ представляют собой средние со среднеквадратичной ошибкой $\Delta \sigma = 5\%$ [6]. Тогда дисперсия «воспроизводимости» s_τ^2 составит:

$$s_\tau^2 = \frac{\sum_{i,j=1}^{i=16; j=19} (\bar{\tau}(\Delta t_i; \Delta \phi_j) \cdot \Delta \sigma)^2}{304} = \frac{(8766 \cdot 0,05)^2}{304} = 631,93 \quad (14)$$

Дисперсия адекватности $s_{ад}^2$ для всего массива данных:

$$s_{ад}^2 = \frac{\sum_{i,j=1}^{i=16; j=19} (\bar{\tau}(\Delta t_i; \Delta \phi_j) - \tau(\Delta t_i; \Delta \phi_j))^2}{304-7} = \frac{110188,5}{297} = 371 \quad (15)$$

Расчетное значение критерия Фишера $F^{расч}$ составит:

$$F^{расч} = \frac{s_{ад}^2}{s_\tau^2} = \frac{371}{631,93} = 0,58 \quad (16)$$

при критическом значении критерия Фишера для доверительной вероятности $0,95$ $F_{0,05; 297; 304}^{рег} = 0,82$.

В частности, продолжительность периода работы системы создания мик-

роклимата (ССМ) в режиме без обработки наружного воздуха, когда температуры и относительные влажности внутреннего $t_B; \phi_B$ и наружного $t_H; \phi_H$ воздуха совпадают $t_{B\min} = t_H = 20^\circ\text{C}; t_{B\max} = t_H = 25^\circ\text{C}; \phi_{B\min} = \phi_H = 50\%; \phi_{B\max} = \phi_H = 75\%$; составит:

$$\begin{aligned} \tau(\Delta t_{(25-20)^\circ\text{C}}; \Delta \phi_{(75-50)\%}) &= \left(\exp - \left\{ \left(\frac{20 - 0,2 \cdot 75}{19} \right)^{K_t} : (C_t \cdot D_t^{Z_t}) \right\}_{t=25^\circ\text{C}} \right) \cdot \\ &- \exp - \left\{ \left(\frac{20 - 0,2 \cdot 50}{19} \right)^{K_t} : (C_t \cdot D_t^{Z_t}) \right\}_{t=20^\circ\text{C}} \cdot 8760 \\ &\cdot \left(\exp - \left\{ \frac{[1 - 0,0125 \cdot (70)]^{S_t}}{P_t \cdot 10^{-5} \cdot [0,1 \cdot 70] + 2} \right\}_{t=25} \right) \\ &\cdot \exp - \left\{ \frac{[1 - 0,0125 \cdot (65)]^{S_t}}{P_t \cdot 10^{-5} \cdot [0,1 \cdot 65] + 2} \right\}_{t=20} = 179,5 \text{ час.} \end{aligned} \quad (17)$$

или этот же период, определенный по [9] составляет $\tau(\Delta t_{(25-20)^\circ\text{C}}; \Delta \phi_{(75-50)\%}) = 190$ час.

Таким образом, представленный метод может быть применен для составления модели распределения сочетаний параметров климата для любого географического пункта при наличии цифровой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические системы // Под. Ред. И. Г. Старовойтова ч.1 Отопление. – М., Стройиздат. 1993. – 896 с.
2. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция, кондиционирование
3. **Креслин, А.И.** Регулирование систем кондиционирования воздуха, М., Стройиздат. – 1972. – 206 с.
4. **Креслин, А.И.** Оптимизация энергопотребления системами кондиционирования воздуха – М.: Стройиздат. – 1982. – 266 с.
5. **Успенская, Л.Б.** Математическая статистика в вентиляционной технике. – М.: Стройиздат. – 1980 – 108 с.
6. **Вознесенский, А.В.** Планирование эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика. – 1982 – 328 с.
7. **Рымкевич, А.А.** Математическая модель системы кондиционирования воздуха – Л.: ЛТИХТ. – 1979. – 88 с.
8. **Романова, А.А., Рымкевич, П.П., Горшков, А.С.** Методика расчета прогнозируемых сроков окупаемости энергосберегающих мероприятий по утеплению зданий // Техничко-экономические проблемы сервиса, 014. – № 4 (30). – С. 68-74.
9. ГОСТ 16350-80 Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.