

УДК 628. 862

## МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Осмонов Ы.Д., Абдимуратов Ж.С., Шабикова Г.А.

*Кыргызско-Российский Славянский Университет им. Б. Ельцина, Бишкек,  
e-mail: sh-gulmira66@mail.ru*

Разработана система балансовых уравнений по каждому параметру микроклимата, которые описывают текущие значения энергетических и массовых потоков, а также их расходы за определенный отрезок времени. Система балансовых уравнений в виде модели для обоснования и формирования параметров микроклимата включает основные группы элементов: сам объект, инфильтрация воздуха, технические средства и системы автоматического регулирования отдельных параметров микроклимата.

**Ключевые слова:** микроклимат, производственные помещения, математическое моделирование, балансовое уравнение, функция

## MODEL JUSTIFICATION PARAMETERS OF MICROCLIMATE OF INDUSTRIAL PREMISES

Osmonov Y.D., Abdimuratov Z.S., Shabikova G.A.

*Kyrgyz Russian Slavic University, Boris Yeltsin, Bishkek, e-mail: sh-gulmira 66@mail.ru*

The system of balance equations for each microclimate parameters that describe the current values of energy and mass flows, as well as their expenses for a certain period of time. The system of balance equations in a model to study the formation and microclimate parameters include main groups of elements: the object, air infiltration, hardware and systems of automatic control of the individual parameters of the microclimate.

**Keywords:** climate, industrial premises, mathematical modeling, balance equation, function

В понятие микроклимат помещений входят все параметры воздуха (начиная от барометрического давления и кончая количеством аэроцитов), температура поверхности, свето-цветовой и акустический режим, а также социальные факторы. Поэтому математически описать термин «микроклимат помещений» затруднено. Оценка микроклимата помещения должна производиться с учетом всех параметров микроклимата с учетом времени года, данных о наружном климате, степени тяжести работы, вида одежды работающих и данных о помещении. Кроме того необходимо определять сочетание параметров представленных средними значениями и величинами отклонений за определенный отрезок времени, причем время отклонения является нормируемым условием, требуемым технологическим процессом, гигиеническими нормами и эксплуатационными особенностями работы самих систем.

Аналитический обзор исследований [1–3] показывает, что общую модель обоснования и формирования параметров микроклимата в производственных помещениях можно составить в виде четырех основных групп элементов: сам объект, который зависит от параметров окружающего воздуха; средства пассивного влияния на формирование микроклимата (инфильтрация воздуха); система активного влияния на формирование микроклимата

(технические средства); системы автоматического регулирования отдельных параметров микроклимата.

Для первой группы элементов математическую модель можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{k} \pm \Delta k_p &= f_1 \sum \Pi_{\text{вт}} = f_2 \sum (\Pi_{\text{вт}} - \Pi_{\text{нт}}) = \\ &= f_2 \sum \left[ \left( \bar{\Pi}_b \pm \Delta \Pi_{\text{вт}} \right) - \left( \bar{\Pi}_n \pm \Delta \Pi_{\text{нт}} \right) \right], \quad (1) \end{aligned}$$

где  $\bar{k} \pm \Delta k_p$  – описывает требуемые средние значения  $\bar{k}$  и возможные отклонения свойства объекта  $\pm \Delta k_p$  с заданной вероятностью  $P$  (в данном случае в качестве объекта можно выбрать самочувствие работника);

$f_1 \sum \Pi_{\text{вт}}$  – описывает связь свойств объекта (человека) с параметрами, сформировавшимися на его поверхности кожи;

$\Pi_{\text{вт}} = \bar{\Pi}_b \pm \Delta \Pi_{\text{вт}}$  – исследуемый параметр воздуха, представленный в виде среднего  $\bar{\Pi}_b$  (или начального  $\bar{\Pi}$ ) значения и определенного его отклонения  $\Delta \Pi_b$  во времени  $\tau$ ;

$\Pi_{\text{нт}} = \bar{\Pi}_n \pm \Delta \Pi_{\text{нт}}$  – исследуемый параметр объекта, представленный в виде  $\bar{\Pi}_n$  среднего значения и определенного его отклонения  $\Delta \Pi_n$  во времени  $\tau$ .

Функция  $f_2 \sum (\Pi_{\text{вт}} - \Pi_{\text{нт}})$  описывает закономерность формирования исследуемого параметра на поверхности объекта в соответствии с изменением параметров окружающего воздуха.

Математическое описание функции  $f_2$  и характер определения параметров воздуха подходящего для объекта можно осуществить для стационарных (объект без внутренних тепловыделений:  $d\Pi_{\text{вт}}/d\tau=0$  и  $d\Pi_{\text{нт}}/d\tau=0$ ) и нестационарных (объект с постоянными внутренними тепловыделениями:  $(d\Pi_{\text{вт}})/d\tau \neq 0$  и  $(d\Pi_{\text{нт}})/d\tau = \text{const}$ ) процессов:

стационарный процесс

$$(f_2 = \text{const}, \overline{\Pi_b} - \overline{\Pi_n} = \text{const} \overline{\Pi_b} = \overline{\Pi_n})$$

$$f_2 = hF(\overline{\Pi_b} - \overline{\Pi_n}), \quad (2)$$

нестационарный процесс ( $d\Pi_{\text{вт}}/d\tau \neq 0$ )

$$f_2 = C_2 + \int \Delta\tau hF(\Delta\Pi_{\text{вт}} - \Delta\Pi_{\text{нт}})d\tau =$$

$$= c_0 \int v \Delta\Pi_{\text{вт}} dv. \quad (3)$$

Зависимость (3) показывает, что возможные отклонение параметра воздуха  $\Delta\Pi_{\text{вт}}$  при допустимом отклонении параметра на поверхности объекта  $\Delta\Pi_{\text{нт}}$  будет описываться обобщенной функцией следующего вида:

$$\Delta\Pi_{\text{вт}} = f(\Delta\Pi_{\text{нт}}; \Delta\Pi_{\text{вт}}; \Delta\tau; V | F; h; C_0), \quad (4)$$

где  $h$  – коэффициент, определяющий интенсивность процессов теплообмена между единицей поверхности  $F$  окружающим воздухом на единицу разности потенциалов (для теплообмена данный коэффициент эквивалентен к коэффициенту теплообмена на поверхности  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $C_2$  – постоянная, определяемая из условий стационарного теплообмена или начальных условий (при  $\tau = 0$ );

$C_0$  – характеризует удельную объемную емкость объекта по данному параметру (для теплообмена это удельная объемная теплоемкость  $C_v$ , Дж/(м<sup>3</sup>·°C);

$\Delta\Pi_{\text{вт}}$  – определяет закономерность распределения параметра по объему объекта во времени.

Уравнения (2), (3) и (4) могут быть решены численными методами, путем составления системы уравнений с определенными условиями.

Для второй группы элементов, случайные изменения наружного климата, включая воздействие солнечной радиации, можно представить в виде среднего значения потоков теплоты и величины периодического отклонения по определенному закону по времени

$$\Pi_{\text{нт}} = \overline{\Pi_n} \pm \Delta\Pi_{\text{нт}}, \quad (5)$$

где  $\Pi_{\text{нт}}$  – исследуемый наружный параметр, прошедший через ограждения неплотности дверей, окон и т.д. представленный в виде среднего  $\overline{\Pi_n}$  значения с определенным отклонением на величину  $\Delta\Pi_{\text{нт}}$  во времени  $t$ .

К наружным возмущениям относятся потоки теплоты и массы передаваемые для работников и технологических целей, потоки наружного воздуха –  $G_H^{\text{min}}$ . Для стационарных условий эти возмущения описываются выражением:

$$G_H^{\text{min}} \cdot C_{\Pi} (\overline{\Pi_b} - \overline{\Pi_n}), \quad (6)$$

для нестационарных условий:

$$\pm C_{\Pi} \cdot \int \Delta\tau G_H^{\text{min}} (\Delta\Pi_{\text{вт}} - \Delta\Pi_{\text{нт}}) d\tau. \quad (7)$$

Изменения  $\Delta\Pi_{\text{вт}}$  и  $\Delta\Pi_{\text{нт}}$  во времени имеют периодический характер представляют собой сложные гармонические функции в виде тригонометрического ряда и анализируется с помощью рядов Фурье. Поэтому из данных изменений  $\Pi_b^{\Phi}$  можно выделить средние естественно-фактические значения параметра и в соответствии с уравнением баланса количеств теплоты (или массы) имеем:

для стационарных условий:

$$\sum k_j F_j (\overline{\Pi_b^{\Phi}} - \overline{\Pi_n}) +$$

$$+ G_H^{\text{min}} C_{\Pi} (\overline{\Pi_b^{\Phi}} - \overline{\Pi_n}) + \sum \theta_{\text{ив}} = 0; \quad (8)$$

для нестационарных условий:

$$C_3 \pm \sum \int \Delta\tau k_{\text{тj}} F_j \Delta\Pi_{\text{нт}} d\tau \pm$$

$$\pm C_{\Pi} \int \Delta\tau G_H^{\text{min}} (\overline{\Pi_b^{\Phi}} - \Delta\Pi_{\text{вт}}) d\tau \pm$$

$$\pm \sum \int \Delta\tau \Delta\theta_{\text{ивт}} d\tau \pm \sum \int \Delta\tau M_{\tau} \Delta\Pi_{\text{вт}}^{\Phi} dt = 0 \quad (9)$$

где  $k_j$  – коэффициент тепла или масса передачи  $j$ -го ограждения площадью  $F_j$  для стационарных потоков;

$C_3$  – постоянная, определяемая из условий стационарного теплообмена или начальных условий при  $\tau = 0$ ;

$K_{\text{тj}}$  – коэффициент, характеризующей тепло- или масса передачу для нестационарных условий;

$M$  – характеризует аккумулирующие свойства пассивных элементов на единицу изменения параметра  $\Delta\Pi_{\text{вт}}^{\Phi}$ ;

$\Delta\tau$  – предел интегрирования во времени.

Величина  $\sum \theta_{\text{ив}}$  учитывает внутренние возмущения, влияющие на параметры воздуха в помещении (от обслуживающего персонала и от технологического оборудования, животных и т.д.).

Однако, чтобы балансовые уравнения (8) и (9) выполнялись при условии  $\Pi_b^{\Phi} - \Pi_b$  и  $\Delta\Pi_{\text{вт}}^{\Phi} \leq \Delta\Pi_{\text{вт}}$ , необходимо в систему ввести третью группу элементов – технические средства.

Средняя величина потоков  $\overline{\theta_{\text{ск}}}$  создаваемая техническими средствами компенсирует десбаланс в уравнении (8) и обеспечивает условия  $\Pi_b^{\Phi} = \Pi_b$  и  $\Delta\Pi_{\text{вт}}^{\Phi} \leq \Delta\Pi_{\text{вт}}$ .

Формирование требуемых параметров микроклимата с помощью пассивных и активных элементов (вторая и третья группы), зависит от трех переменных:

$$P_{вт} = \overline{P}_в \pm \Delta P_{вт} = f_3 (\sum \theta_{jH\tau}; \sum \theta_{iвт}; \sum \theta_{скт}). \quad (10)$$

Функцию (10), используя уравнения (8) и (9) можно записать в следующем виде: для стационарных условий ( $dP_{вт}/d\tau = 0$ )

$$k_j F_j (\overline{P}_в - \overline{P}_н) + G_H^{min} C_{п} (\overline{P}_в - \overline{P}_н) \pm \sum \theta_{iвт} = \sum \theta_{скт}, \quad (11)$$

для нестационарных условий ( $dP_{вт}/d\tau \neq 0$ )

$$C_3 \pm \sum \int \Delta \tau k_{vj} F_j \Delta P_{H\tau} d\tau \pm G_H^{min} C_{п} \int \Delta \tau (\Delta P_{вт} - \Delta P_{нт}) d\tau \pm \sum \int \Delta \tau \Delta \theta_{iвт} d\tau \pm \sum \int \Delta \tau M_{\tau} \Delta P_{вт} d\tau = \pm \sum \int \Delta \tau \Delta \theta_{скт} d\tau. \quad (12)$$

Уравнение (11) и (12) являются балансовыми уравнениями обеспечения микроклимата в помещении, с помощью третьей группы элементов.

Таким образом, в обобщенном виде, для обеспечения микроклимата в производственных помещениях, с помощью третьей группы элементов (технических средств), имеем следующую функциональную зависимость:

$$P_{вт} = f (\Delta P_{нт}; \Delta \tau; \sum K_{vj} F_j; \sum M_{\tau}; G_H^{min}; C_{п}; \sum \Delta \theta_{iвт}; \sum \Delta \theta_{скт}). \quad (13)$$

Четвертая группа элементов предназначена обеспечить выполнение уравнений (11) и (12) в зависимости от изменений наружных параметров и внутренних возмущений, путем воздействия на величину потоков энергии третьей активной группы  $\sum \theta_{скт} = \sum (\theta_{ск} \pm \Delta \theta_{скт})$ . Основная задача данной группы элементов, формировать микроклимат в помещении соответствующий заданным значениям  $P_{вт} = \overline{P}_в \pm \Delta P_{вт}$  и поддерживать в течении определенного периода.

С учетом третьей и четвертой группы элементов, общую энергетическую модель обеспечения параметров микроклимата в производственных помещениях можно представить в следующем виде:

$$\sum \theta_{jнт} + G_H^{min} C_{п} (P_{вт} - P_{нт}) \pm \sum \theta_{iвт} \pm \sum \theta_{скт} / \eta_{ск} = \sum \theta_{потг} / \eta_{пот} \quad (14)$$

где  $\sum \theta_{jнт}$  – возмущения наружного климата, кроме  $G_H^{min}$ ,

$\eta_{ск}$  и  $\eta_{пот}$  – увеличение балансовых потоков энергии влияющих на формирование микроклимата в помещении, соответственно из-за технического несовершенства и внешних потоков.

Таким образом, представленная уравнениями (1) – (14) математическая модель

обоснования параметров микроклимата в помещениях позволяет разрабатывать соответствующие технические средства и установить взаимосвязь данных средств в виде логической системы.

Каждое уравнение (1) – (14) является как система балансовых уравнений по каждому параметру микроклимата. В дифференциальном виде эти уравнения будут описывать текущие значения энергетических и массовых потоков, а в интегральном виде, их расходы за выбранный отрезок времени. При этом нестационарный режим предусматривает, когда рабочие находятся в помещении, выполняют свои функциональные обязанности и технологическое оборудование работают, а стационарный режим предусматривает, когда производственное помещение не работает (ночное время, выходные, праздничные дни и т.п.).

#### Список литературы

1. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст] / А.А. Рымкевич. – М.: Стройиздат, 1990. – 300 с.
2. Хомуцкий Ю.Н. Комфортный динамический микроклимат в помещениях [Текст] / Ю.Н. Хомуцкий, Т.Я. Куксинская // Водоснабжения и санитарная техника. – 1979. – № 5. – С. 23–24.
3. Здания, климат и энергия / [Т.А. Маркус, Э.Н. Моррис]. – пер. с англ.-л.: Гидрометеониздат, 1985. – 544 с.