

УДК 697.9

*Поддубный Р.А., Рябова Т.В., Сулин А.Б.*

## ПОСТРОЕНИЕ МАТРИЦ ИЗОКОМФОРТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА

*Poddubniy R.A., Ryabova T.V., Sulin A.B.*

## CONSTRUCTION OF ISOCOMFORTABLE MICROCLIMATE PARAMETERS VALUES MATRIX

*Аннотация.* В статье рассмотрен современный подход к оценке параметров микроклимата на основе индексов теплового комфорта в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Впервые введено понятие изокомфортных значений параметров микроклимата, представляющих такую их совокупность, которая обеспечивает заданный уровень теплового комфорта. Рассчитаны и приведены примеры трехмерных массивов данных параметров как функции конвективной температуры от относительной влажности и подвижности воздуха. Параметры микроклимата, обеспечивающие заданный уровень теплового комфорта, вычислялись методом последовательных приближений.

Предложенные в данной статье матрицы изокомфортных значений параметров микроклимата могут быть составлены для различных комбинаций исходных параметров.

**Ключевые слова:** параметры микроклимата, тепловой комфорт, индексы теплового комфорта.

**Abstract.** In the article is considered the modern approach to the assessment of climate parameters on the basis of the thermal comfort indices in accordance with the requirements of GOST R ISO 7730-2009. For the first time is introduced the concept of isocomfortable values of microclimate parameters, representing a set providing a predetermined thermal comfort level. Are calculated and presented the examples of three-dimensional arrays of given parameters as the convection temperature function from relative humidity and mobility of air. Microclimate parameters ensuring a specified level of thermal comfort were calculated by the method of successive approximations.

Proposed in this article matrixes of isocomfortable values of microclimate parameters can be formulated for different combinations of source parameters.

**Key words:** microclimate parameters, thermal comfort, thermal comfort indices.

**Введение.** Условия микроклимата нормируются как отечественными, так и международными стандартами.

В соответствии с Федеральным законом от № 184-ФЗ [1] и ГОСТ Р 1.0-2004 [2] международные стандарты имеют приоритет при разработке национальных стандартов.

В настоящее время в Российской Федерации действует серия международных стандартов в области нормирования микроклимата, причем некоторые из них приняты в качестве государственных стандартов Российской Федерации, например, ГОСТ Р ИСО 10551-2007 [3], ГОСТ Р ИСО 8996-2008 [4], ГОСТ Р ИСО 7730-2009 [5].

В основу методики комплексной оценки уровня комфортности умеренного микроклимата по ГОСТ Р ИСО 7730-2009 [5] положены определения индексов теплового комфорта PMV и PPD, полученные на основании субъективной оценки микроклиматических условий большой выборки испытуемых.

Прогнозируемая средняя оценка (PMV) - индекс, с помощью которого определяется среднее значение чувствительности к параметрам микроклимата по 7-балльной шкале (таблица 1).

**Таблица 1** – Шкала чувствительности к температуре

Оценка в баллах PMV	Ощущения человека
+3	Жарко
+2	Тепло
+1	Немного тепло
0	Нейтрально
-1	Немного прохладно
-2	Прохладно
-3	Холодно

PPD – это показатель, который устанавливает прогнозируемый процент недовольных микроклиматом людей, которым слишком тепло или слишком холодно.

**Постановка задачи.** Теплоощущения человека зависят от совокупности параметров микроклимата (конвективная температура, радиационная температура, относительная влажность, подвижность воздуха), от интенсивности теплопродукции организма (метаболизм), от интенсивности выполняемой работы, а также, от теплоизоляционных характеристик одежды.

Требуемый уровень комфорта, задаваемый индексами PMV и PPD, может быть обеспечен системой кондиционирования воздуха при определенных сочетаниях параметров микроклимата. Расчет массивов параметров микроклимата, обеспечивающих заранее заданный уровень комфорта, является актуальной задачей, решение которой направлено на обоснование оптимальных, с позиции энергоэффективности, режимов работы систем кондиционирования воздуха.

**Методы исследования.** Определение значений PMV и PPD базируется на решении уравнения теплового баланса между телом человека и окружающей средой [6], называемого также уравнением теплового комфорта П.О. Фангера [7]:

$$M + W - E - RES = K_{cl} + R + C \quad (1)$$

где,  $M$  – скорость метаболизма, Вт/м<sup>2</sup>;

$W$  – теплообмен в результате внешней работы, Вт/м<sup>2</sup>;

$E$  – теплообмен в результате испарения пота, Вт/м<sup>2</sup>;

$RES$  – теплообмен в результате дыхания, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_{cl}$  – кондуктивный теплообмен через одежду, Вт/м<sup>2</sup>;

$R$  – лучистый (радиационный) теплообмен, Вт/м<sup>2</sup>;

$C$  – конвективный теплообмен, Вт/м<sup>2</sup>.

Для расчета индекса PMV используется следующая зависимость [5]:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot M - W - (E_d + E_{sw} + E_{res} + L + C + R) \quad (2)$$

где  $M$  – скорость метаболизма, Вт/м<sup>2</sup>;

$W$  – теплообмен в результате внешней работы, Вт/м<sup>2</sup>;

$E_d$  – теплообмен за счёт диффузии пота через кожу, Вт/м<sup>2</sup>;

$E_{sw}$  – теплообмен за счёт испарения пота, Вт/м<sup>2</sup>;

$E_{res}$  – теплообмен за счёт разности давлений водяного пара вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, Вт/м<sup>2</sup>;

$L$  – теплообмен за счёт разности температур вдыхаемого и выдыхаемого воздуха рассчитывается, Вт/м<sup>2</sup>;

$C$  – значение конвективного теплообмена, Вт/м<sup>2</sup>.

$R$  – теплообмен излучением (радиационный теплообмен) рассчитывается по закону Стефана-Больцмана.

Прогнозируемый процент недовольных микроклиматом PPD в функции от PMV (рисунок 1) аппроксимируется выражением [5]:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (3)$$

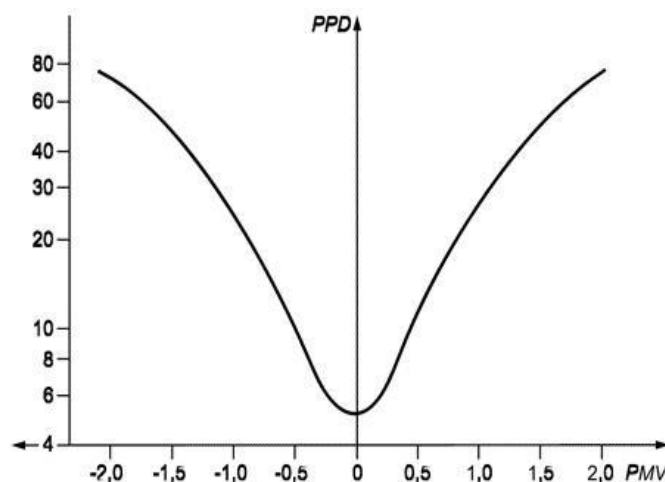


Рисунок 3 – PPD как функция PMV

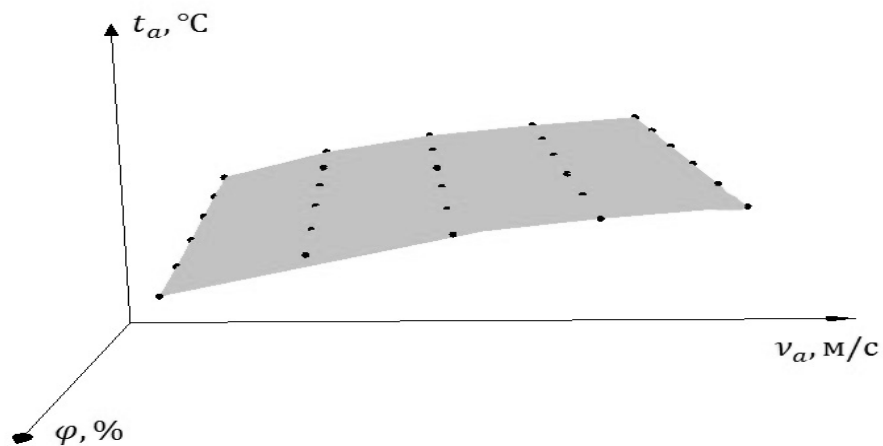
При выполнении расчетов индексов теплового комфорта использована расчетная программа в табличном редакторе Microsoft Excel, приведенная в [8].

Параметры микроклимата, обеспечивающие заданный уровень теплового комфорта, вычислялись методом последовательных приближений.

**Обсуждение результатов.** В соответствии ГОСТ Р ИСО 7730-2009 [5] принято считать микроклимат комфортным (нейтральным), если значение индекса PMV составляет  $\pm 0,5$  баллов, чему соответствует индекс  $PPD \leq 10\%$ . Примеры результатов расчетов изокомфортных значений параметров микроклимата приведены в таблицах 2-4 и на рисунках 2 и 3.

**Таблица 2** –Изокомфортные значения температуры при  $PPD=5\%$ ( $PMV=0$ )

	$v_a = 0,1 \text{ м/с}$	$v_a = 0,2 \text{ м/с}$	$v_a = 0,3 \text{ м/с}$	$v_a = 0,4 \text{ м/с}$	$v_a = 0,5 \text{ м/с}$
$\varphi = 30\%$	22,15	22,85	23,3	23,58	23,8
$\varphi = 40\%$	21,85	22,6	23,05	23,33	23,55
$\varphi = 50\%$	21,6	22,35	22,78	23,08	23,3
$\varphi = 60\%$	21,33	22,1	22,53	22,83	23,05
$\varphi = 70\%$	21,08	21,85	22,28	22,58	22,8
$\varphi = 80\%$	20,85	21,66	22,05	22,35	22,58



**Рисунок 2** – Зависимость изокомфортной температуры от подвижности и относительной влажности при заданном  $PPD = 5\%$  ( $PMV=0$ )

**Таблица 3** – Изокомфортные значения температуры при PPD=10% (PMV=0.49)

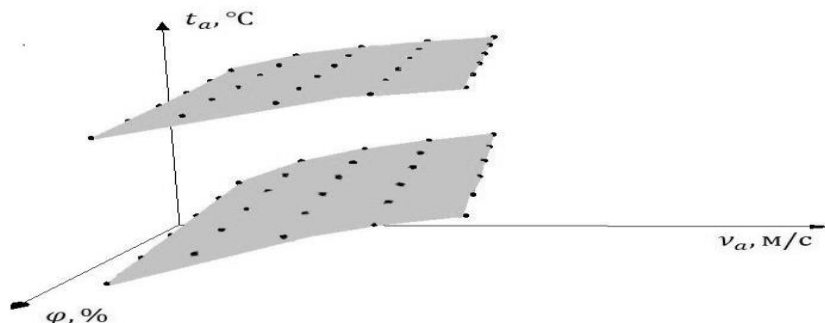
	$v_a = 0,1 \text{ м/с}$	$v_a = 0,2 \text{ м/с}$	$v_a = 0,3 \text{ м/с}$	$v_a = 0,4 \text{ м/с}$	$v_a = 0,5 \text{ м/с}$
$\varphi = 30\%$	24,420	25,003	25,338	25,567	25,738
$\varphi = 40\%$	24,108	24,703	25,043	25,277	25,452
$\varphi = 50\%$	23,807	24,410	24,758	24,995	25,173
$\varphi = 60\%$	23,515	24,128	24,480	24,723	24,905
$\varphi = 70\%$	23,233	23,855	24,213	24,458	24,643
$\varphi = 80\%$	22,958	23,590	23,953	24,202	24,390

**Таблица 4** – Изокомфортные значения температуры при PPD=10% (PMV= -0.49)

	$v_a = 0,1 \text{ м/с}$	$v_a = 0,2 \text{ м/с}$	$v_a = 0,3 \text{ м/с}$	$v_a = 0,4 \text{ м/с}$	$v_a = 0,5 \text{ м/с}$
$\varphi = 30\%$	19,805	20,715	21,230	21,583	21,845
$\varphi = 40\%$	19,563	20,477	20,995	21,350	21,615
$\varphi = 50\%$	19,325	20,245	20,767	21,123	21,390
$\varphi = 60\%$	19,097	20,018	20,543	20,902	21,170
$\varphi = 70\%$	18,873	19,800	20,326	20,686	20,957
$\varphi = 80\%$	18,655	19,585	20,115	20,476	20,748

Данные результаты связывают значение конвективной температуры с относительной влажностью и подвижностью воздуха.

Принято, что средняя радиационная температура равна конвективной, теплоизоляция одежды соответствует 0,8 единиц clo, скорость метаболизма соответствует легкой работе категории Ia.



**Рисунок 3** – Зависимость изокомфортной температуры от подвижности и относительной влажности при заданном PPD=10% (PMV= ±0.49)

Из вида зависимости на рисунке 3 понятно, что для значения параметра PMV отличного от нуля существует две зависимости для изокомфортной температуры: для состояния комфорта, смещающегося в направлении «тепло», и для состояния комфорта в направлении «прохладно».

Качественный анализ зависимостей для изокомфортной температуры указывает на ее более выраженную зависимость от подвижности воздуха, чем от относительной влажности. При этом для характеристики состояния комфорта в направлении «прохладно» ( $PMV = -0.49$ ) зависимость изокомфортной температуры от подвижности сильнее, чем для состояния в направлении «тепло» ( $PMV = +0.49$ ).

**Вывод.** Предложенные в данной работе матрицы изокомфортных значений параметров микроклимата могут быть составлены для различных комбинаций таких исходных параметров как уровень метаболизма (категория работы) и теплоизоляционные характеристики одежды.

Дальнейшие исследования в данном направлении будут выполняться с целью обоснования оптимальных режимов работы системы кондиционирования воздуха при условии обеспечения заданного уровня теплового комфорта.

#### **Библиографический список:**

- 1.Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ (ред. от 28.11.2015) «О техническом регулировании» [Электронный ресурс] Консультант Плюс. Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=189650&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.7850238144630513>
- 2.ГОСТ Р 1.0-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с.
- 3.ГОСТ Р ИСО 10551-2007. Эргономика тепловой окружающей среды. Определение влияния тепловой окружающей среды с использованием шкал субъективной оценки. – М.: Стандартинформ, 2008. – 17 с.
- 4.ГОСТ Р ИСО 8996-2008 Эргономика термальной среды. Определение скорости обмена веществ. – М.: Стандартинформ, 2009. – 21 с.
- 5.ГОСТ Р ИСО 7730-2009 Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчёта показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта. – М.: Стандартинформ, 2011. – 38 с.
- 6.Индексы теплового комфорта: Методические указания к контрольной работе для студентов всех специальностей факультета холодильной, криогенной техники и кондиционирования очной и заочной форм обучения /Сулин А.Б., Рябова Т.В., Рубцов А.К., Никитин А.А. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 30 с.
- 7.Fariborz H. Thermal comfort in housing and Thermal Environments. Fariborz Haghghat. Sustainable Built Environment – Volume 1. –2009. – 449 p.
- 8.Писанко В.Л. Программа расчета показателей теплового комфорта в табличном редакторе Microsoft Excel. / Писанко В.Л., Заглядимов А.Е., Степанов В.В., Сулин А.Б. С-Пб.: Материалы Всероссийской научно-практической конфе-

ренции «Актуальные проблемы морской и водолазной медицины» 25-26 июня, 2015. – 256 с.

**References:**

1. Federal law of 27.12.2002 N 184-FZ (as amended on 28.11.2015) «On technical regulation» [Electronic resource] Consultant plus. Mode of access. <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=189650&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.7850238144630513>.
2. GOST R 1.0-2004 Standardization in the Russian Federation. The main provisions.–M.:Standartinform, 2007.–10p.
3. GOST R ISO 10551-2007. Ergonomics of the thermal environment. Determination of the influence of the thermal environment using subjective scales of assessment. – M.:Standartinform, 2008. – 17p.
4. GOST R ISO 8996-2008 ergonomics of the thermal environment. Determination of metabolic rate. – M.: Standartinform, 2009. – 21p.
5. GOST R ISO 7730-2009 Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal criteria of comfort. – M.:Standartinform, 2011. – 38p.
6. Indices of thermal comfort: Methodological instructions for control work for students of all specialties of the faculty of refrigerating, cryogenic engineering and air conditioning full-time and correspondence forms of training. Sulin, A.B., Ryabova T.V., Rubtsov A. K., Nikitin A. A. – SPb.: University ITMO, 2016. 30 p.
7. Fariborz H. Thermal comfort in housing and Thermal Environments. Fariborz Haghghat . Sustainable Built Environment – Volume 1. – 2009. – 449 p.
8. Pisanko, V.L. the Program of calculation of indicators of thermal comfort in the spreadsheet editor Microsoft Excel. Pisanko V.L., Zaglyadimov A.E., Stepanov V.V., A. B. Sulin-Pb.: Materials of all-Russian scientific-practical conference «Actual problems of the marine and diving medicine» on June 25-26, 2015. – 256 p.