

УДК 697.9

Обоснование параметра результатирующей комфортной температуры

Ю. Н. САНКИНА¹, д-р техн. наук А. Б. СУЛИН¹, канд. техн. наук Т. В. РЯБОВА¹,
канд. техн. наук М. ДЕЙМИ-ДАШТЕБАЯЗ², канд. техн. наук В. И. ЛЫСЕВ¹

¹Университет ИТМО

²Университет Хакима Сабзевари, Иран

E-mail: rjabova_tatjana@mail.ru

Специалисты в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, с целью измерения и сравнения тепловых условий, применяют индексы теплового комфорта. В данной работе приведены наиболее часто используемые индексы теплового комфорта, а также выполнено уточнение параметра результатирующей температуры с использованием матриц изокомфортных параметров, разработанных в результате решения задачи обеспечения заданного уровня теплового комфорта в соответствии с методикой, предложенной Фангером и нормативно закреплённой в стандарте ISO 7730. С помощью матриц изокомфортных параметров были проверены предложенные межгосударственным стандартом ГОСТ 30494–2011 весовые коэффициенты. В данной статье приведены сравнительные таблицы и графики, которые доказывают, что предложенные международным стандартом весовые коэффициенты недостаточно точны. Опираясь на физический смысл параметра результатирующей температуры, было сделано предположение, что для каждой величины подвижности воздуха предполагалось получить одинаковые значения результатирующей комфортной температуры. В ходе анализа полученных данных было выявлено, что среднеквадратическое отклонение результатирующей комфортной температуры составляет величину, достигающую 0,5 °С. Этот факт доказывает, что для получения более точных результатов комфортной температуры следует использовать уточнённые весовые коэффициенты. В результате исследования была предложена новая зависимость и введено новое понятие результатирующей комфортной температуры. Полученная математическая зависимость позволяет с высокой точностью рассчитать результатирующую комфортную температуру, учитывающую комфортное сочетание таких параметров, как температура воздуха и средняя радиационная температура в зависимости от величины подвижности воздуха в помещении.

Ключевые слова: результатирующая температура, матрицы изокомфортных параметров, подвижность воздуха, комфортные параметры.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 09.12.2020, принята к печати 25.01.2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Санкина Ю. Н., Сулин А. Б., Рябова Т. В., Дейми-Даштебаяз М., Лысев В. И. Обоснование параметра результатирующей комфортной температуры // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 28–33.

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33

Justification of the resulting comfortable temperature parameter

Iu. N. SANKINA¹, D. Sc. A. B. SULIN¹, Ph. D. T. V. RYABOVA¹,
Ph. D. M. DEYMI-DASHTEBAYAZ², Ph. D. V. I. LYSEV¹

¹ITMO University

²Hakim Sabzevari University, Iran

E-mail: rjabova_tatjana@mail.ru

Heating, ventilation, and air conditioning professionals use thermal comfort indices to measure and compare thermal conditions. In this paper, indices of thermal comfort frequently used are given, and the parameter of the resulting temperature is refined using matrices of isocomfortable parameters which developed as a result of solving the problem of ensuring a given level of thermal comfort in accordance with the method proposed by Fanger and standardized in the ISO 7730 standard. The weight coefficients proposed by 30494–2011 State Standard were tested using the matrices of isocomfortable parameters. This article provides comparative tables and graphs, which prove that the weighting factors proposed by the international standard are not accurate enough. Based on the physical meaning of the parameter of the resulting temperature it was assumed that, for each value of air mobility, the same values of the resulting comfortable temperature were supposed to obtain. During the analysis of the data obtained, it was revealed that the standard deviation of the resulting comfortable temperature is a value of up to 0.5 °C. This fact proves that more accurate weighting factors should be used to obtain more

accurate comfort temperature results. As a result of the study, a new mathematical dependence was proposed and a new concept of the resulting comfortable temperature was introduced. The obtained mathematical dependence allows high accuracy in calculating the resulting comfortable temperature taking into account the comfortable combination of such parameters as air temperature and average radiation temperature, depending on the amount of air velocity in the room.

Keywords: resulting temperature, matrices of isocomfortable parameters, air velocity, comfortable parameters.

Article info:

Received 09/12/2020, accepted 25/01/2021

DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33

Article in Russian

For citation:

Sankina Iu. N., Sulin A. B., Ryabova T. V., Deymi-Dashtebayaz M., Lysev V. I. Justification of the resulting comfortable temperature parameter. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2021. No 1. p. 28-33. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33

Введение

Основная задача систем жизнеобеспечения — это создание комфортных параметров микроклимата, которые будут гарантировать благоприятные условия для работоспособности человека. Для измерения и сравнения тепловых условий используются индексы теплового комфорта. Одним из таких индексов является эквивалентная температура, разработанная специалистами американского общества инженеров по отоплению, холодильной технике и кондиционированию воздуха ASHRAE. Согласно определению, «эквивалентная температура — это температура воображаемого помещения со средней температурой излучения, равной температуре воздуха при температуре неподвижного воздуха, в котором человек имеет тот же теплообмен через конвекцию и излучение, как в реальных условиях» [1]. С помощью данного параметра принято производить учет влияния теплопотерь от испарения из организма человека [2, 3, 4].

Одним из главных преимуществ эквивалентной температуры является то, что она выражает эффекты комбинированных термических воздействий при дифференциальной оценке климатических условий. Однако, для близких к тепловой нейтральности условий (± 2 МТВ) и в рамках ограниченных вариаций климатических факторов значение эквивалентной температуры всегда представляет собой один и тот же «субъективный» отклик, независимый от вида комбинаций процессов теплообмена [5, 6].

Данный параметр основан на экспериментальных исследованиях, в которых субъекты перемещались между двумя комнатами с различными комбинациями климатических факторов [7]. Опыт проводился до тех пор, пока в обеих комнатах не фиксировались идентичные теплоощущения.

Изначально индекс эквивалентной температуры определялся как «температура в стандартной среде ($rh=100\%$, $t_a = \bar{t}_r$, $v < 0,15$ м/с), которая приводит к тем же теплоощущениям, что и в реальной среде» [8]. Проблема использования данного определения заключается в том, что оно не учитывает влияния излучения.

В связи с этим, чтобы учесть излучение, А. Missenard предложил новый индекс — результирующая температура [10]. Результирующая температура рассчитывается по уравнению для эффективной температуры [9], но с учетом радиационного члена. Радиационный член учитывается с помощью функции «фиктивной скорости воздуха» вместо реальной скорости воздуха. Также существу-

ет другой метод, заключающийся в замене температуры сухого термометра на радиационно-конвективную температуру. Полученный индекс называется корректированной эффективной температурой [11].

Специалисты в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха при проектировании систем жизнеобеспечения используют положения межгосударственного стандарта ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Одним из параметров микроклимата, регулируемых данным нормативным документом, является результирующая температура.

Результирующая температура — это комплексный показатель, учитывающий тепловое влияние воздуха на состояние человека и средней температуры ограждающих конструкций помещения [12]. Результирующая температура является основным параметром для создания эффективных систем вентиляции [13].

В данном обзоре выполнен анализ методики расчета параметра результирующей температуры с помощью матриц изокомфортных параметров, с целью проверки правомерности использования весовых коэффициентов, приведенных в межгосударственном стандарте.

Объект исследования

В межгосударственном стандарте ГОСТ 30494–2011 (Приложение А) предложена методика для расчета результирующей температуры. Результирующая температура учитывает значения температуры воздуха и средней радиационной температуры помещения с определенными весовыми коэффициентами в зависимости от подвижности воздуха [12]:

— при подвижности воздуха до 0,2 м/с:

$$t_{su} = \frac{t_p + t_r}{2};$$

— при подвижности воздуха от 0,2 до 0,6 м/с:

$$t_{su} = 0,6t_p + 0,4t_r,$$

где t_p — температура воздуха в помещении, °С; t_r — радиационная температура помещения, °С.

Помимо весовых коэффициентов стандарт регламентирует порядок и условия измерения составляющих температур:

«Измерения температуры воздуха проводят в центре помещения на высоте 0,6 м от поверхности пола для по-

мещений с пребыванием людей в положении сидя и на высоте 1,1 м в помещениях с пребыванием людей в положении стоя либо по температурам окружающих поверхностей ограждений (см. приложение А), либо по данным измерений шаровым термометром (см. приложение Б)» [12].

В ходе выполнения проверки правомерности использования данных весовых коэффициентов применялись разработанные авторами матрицы изокомфортных параметров для трех классов помещений (табл. 1) согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 7730–2009 «Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта» [14, 15].

Таблица 1

Три класса помещений по уровню теплового комфорта в соответствии с ГОСТ Р ИСО 7730–2009

Table 1

Three classes of rooms in terms of the thermal comfort level according to 7730–2009 State Standard

Класс комфортности	PMV	PPD
A	$-0,2 < PMV < +0,2$	$< 6\%$
B	$-0,5 < PMV < +0,5$	$< 10\%$
C	$-0,7 < PMV < +0,7$	$< 15\%$

В каждой ячейке матрицы приведена температура воздуха, которая с учетом значения радиационной температуры и подвижности воздуха обеспечивает заданный уровень теплового комфорта [16]. Логично предположить, что применение данных значений температур при учете подвижности воздуха должна привести к одному значению результирующей температуры, которая по ее физическому смыслу соответствует эквивалентному тепловому состоянию человека.

В табл. 2 приведены значения одной из матриц изокомфортных параметров, на основе которых производился анализ правомерности использования весовых коэффициентов с помощью программы Excel. Результаты вычислений приведены в табл. 3.

В процессе исследования было доказано, что предложенные международным стандартом весовые коэффициенты не достаточно точны. Исходя из физического

смысла результирующей температуры, для каждой величины подвижности воздуха предполагалось получить одинаковые значения результирующей комфортной температуры. Из приведенных выше данных табл. 2 и табл. 3 можно увидеть, что среднеквадратическое отклонение результирующей комфортной температуры составляет величину, достигающую 0,5 °С. Этот факт указывает на то, что приведенные в стандарте весовые коэффициенты недостаточно точно позволяют рассчитать параметр результирующей температуры и требуют уточнения.

Результаты исследования

По температуре воздуха в помещении и по средней радиационной температуре ограждений помещения с помощью программы Excel и метода последовательных приближений были рассчитаны и подобраны новые весовые коэффициенты для каждой величины подвижности воздуха:

— при подвижности воздуха 0,1 м/с:

$$t_{su} = 0,55t_p + 0,45t_r;$$

— при подвижности воздуха 0,2 м/с:

$$t_{su} = 0,61t_p + 0,39t_r;$$

— при подвижности воздуха 0,3 м/с:

$$t_{su} = 0,65t_p + 0,35t_r;$$

— при подвижности воздуха 0,4 м/с:

$$t_{su} = 0,68t_p + 0,32t_r;$$

— при подвижности воздуха 0,5 м/с:

$$t_{su} = 0,7t_p + 0,3t_r.$$

Применив данные формулы с помощью программы Excel, были высчитаны и получены следующие зависимости температуры воздуха от подвижности и радиационной разности температур от –6 до 6 (табл. 4).

Предложенные в ходе исследования новые весовые коэффициенты были аппроксимированы в виде полинома второго порядка функции от подвижности воздуха, тем самым была получена новая зависимость для нахождения значения параметра результирующей температуры:

Таблица 2

Зависимость температуры воздуха от подвижности и радиационной разности температур для условий PMV=–0,49, PPD=10%, термическое сопротивление одежды 1,3 clo, $\bar{t}_r=t_w$, °С, категория работы 1б (76 Вт/м²; 1,3 met)

Table 2

Dependence of air temperature on flexibility and radiant difference of temperatures under the following conditions: PMV=–0.49, PPD=10%, thermal resistance of clothes — 1.3 clo, $\bar{t}_r=t_w$, °С, job class — 1b (76 W/m²; 1.3 met)

PMV=–0,49; PPD=10%; 1,3 clo; φ=50%; категория работ 1б (1,3 met; 76 Вт/м²)				
	0,05	0,1	0,15	0,2
–4	17,36	17,55	17,95	18,23
–2	16,54	16,67	17,15	17,49
0	15,73	15,78	16,35	16,74
2	14,93	14,93	15,53	15,99
4	14,13	14,13	14,71	15,23

Таблица 3

Зависимость температуры воздуха от подвижности и радиационной разности температур для условий $PMV = -0,49$, $PPD = 10\%$, термическое сопротивление одежды $1,3 \text{ clo}$, $\bar{t}_r = t_a$, °C, категория работы 1б (76 Вт/м^2 ; $1,3 \text{ мет}$)

Table 3

Dependence of air temperature on flexibility and radiant difference of temperatures under the following conditions: $PMV = -0.49$, $PPD = 10\%$, thermal resistance of clothes — 1.3 clo , $\bar{t}_r = t_a$, °C, job class — 1b (76 W/m^2 ; 1.3 met)

PMV = -0,49; PPD = 10%; 1,3 clo; φ = 50%; категория работ 1б (1,3 мет; 76 Вт/м ²)				
	0,05	0,1	0,15	0,2
-4	15,36	15,55	15,95	16,63
-2	15,54	15,67	16,15	16,69
0	15,73	15,78	16,35	16,74
2	15,93	15,93	16,53	16,79
4	16,13	16,13	16,71	16,83
$t_{\text{ср. ариф. зн.}}$	15,738	15,812	16,338	16,736
Ср. квадрат. откл.	0,305238	0,226318	0,300533	0,079246

Таблица 4

Зависимость температуры воздуха от подвижности и радиационной разности температур для условий $PMV = -0,50$, $PPD = 10\%$, термическое сопротивление одежды $1,3 \text{ clo}$, категория работы 1б (76 Вт/м^2 ; $1,3 \text{ мет}$)

Table 4

Dependence of air temperature on flexibility and radiant difference of temperatures under the following conditions: $PMV = -0.50$, $PPD = 10\%$, thermal resistance of clothes — 1.3 clo , job class — 1b (76 W/m^2 ; 1.3 met)

PMV = -0,50; PPD = 10%; 1,3 clo; φ = 50%; категория работ 1б (1,3 мет; 76 Вт/м ²)					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
-6	18,47	18,95	19,29	19,46	19,65
-4	17,60	18,25	18,61	18,88	19,07
-2	16,69	17,51	17,98	18,30	18,54
0	15,78	16,74	17,30	17,66	17,94
2	14,95	16,01	16,65	17,07	17,41
4	14,11	15,25	15,98	16,46	16,82
6	13,34	14,50	15,26	15,81	16,21
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
-6	15,77	16,61	17,19	17,54	17,85
-4	15,8	16,69	17,21	17,6	17,87
-2	15,79	16,73	17,28	17,66	17,94
0	15,78	16,74	17,3	17,66	17,94
2	15,85	16,79	17,35	17,71	18,01
4	15,91	16,81	17,38	17,74	18,02
6	16,04	16,84	17,36	17,73	18,01
$t_{\text{ср. ариф. зн.}}$	15,84857	16,74429	17,29571	17,66286	17,94857
Ср. квадрат. откл.	0,097541	0,078285	0,07413	0,072736	0,069144

$$t_{pk} = (-0,64V^2 + 0,76V + 0,48)t_{\text{ном}} + (0,64V^2 + 0,76V + 0,52)\bar{t}_{\text{рад}}$$

График на рис. 1 показывает, что значения весовых коэффициентов, приведенных в ГОСТ 30494–2011, и уточненных весовых коэффициентов совпадают лишь при подвижности воздуха $0,2 \text{ м/с}$.

Обсуждение результатов

После уточнения весовых коэффициентов для каждой величины подвижности воздуха и для температуры воздуха и средней радиационной температуры, оценка величины среднего квадратического отклонения результирующей температуры показала, что погрешность рас-

чета снизилось практически на порядок. Это доказывает, что приведенные в межгосударственном стандарте весовые коэффициенты позволяли вычислять результирующую температуру с недостаточной точностью.

На рис. 2 показаны результаты погрешности расчета значения результирующей температуры в зависимости от величины подвижности воздуха по весовым коэффициентам, указанным в межгосударственном стандарте и по новым уточненным весовым коэффициентам.

Выводы

В результате выполненного исследования предложена новая зависимость, в которой весовые коэффициенты для температуры воздуха и средней радиационной

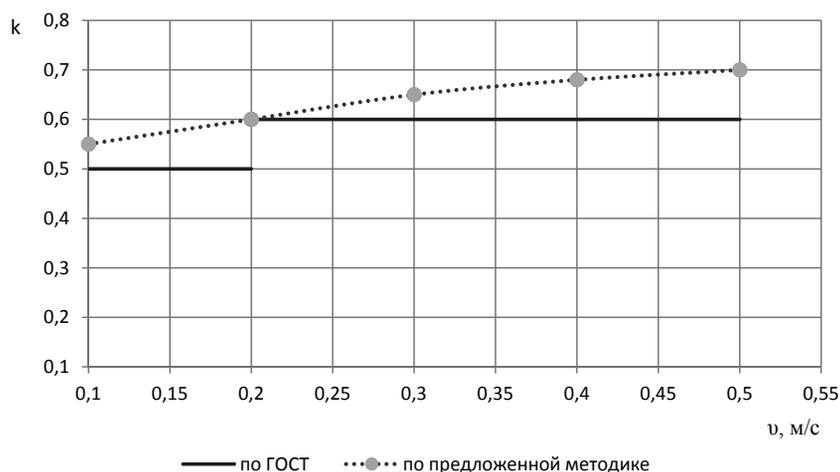


Рис. 1. Сравнительный график весовых коэффициентов

Fig. 1. Comparison of weight coefficients

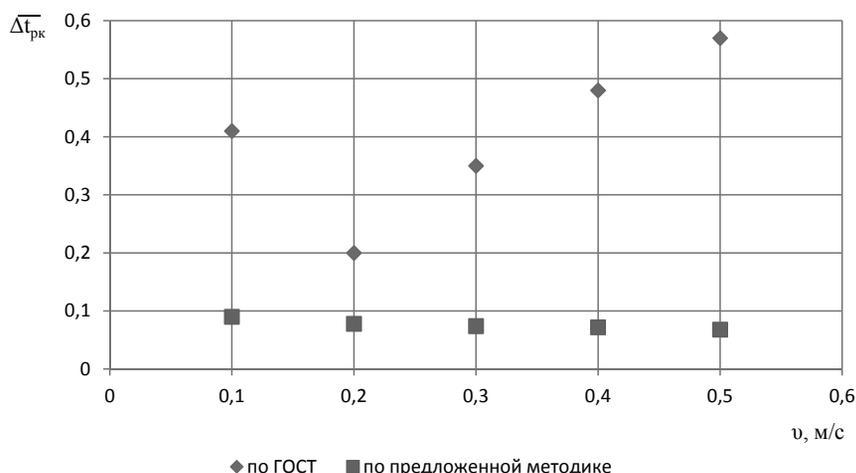


Рис. 2. Погрешность расчета при определении результирующей температуры

Fig. 2. Calculation error for calculating resulting temperature

температуры выражаются в виде полинома второго порядка функции от подвижности воздуха. Полученная формула позволяет с высокой точностью рассчитать ре-

зультирующую комфортную температуру, учитывающую комфортное сочетание температуры воздуха и средней радиационной температуры.

Литература

1. ASHRAE 62 Ventilation for acceptable indoor air quality // ASHRAE Standard, ashrae.org, 621989. 1989.
2. Madsen T. L. Comparison between Operative and Equivalent Temperature under Typical Indoor Conditions // ASHRAE trans. 1984. vol. 90. p. 1077–1090.
3. SAE J2234 Equivalent temperature. Surface Vehicle Information. 1993.
4. Nilsson H., Holmér I., Bohm M. & Norén O. Definition and Theoretical Background of the Equivalent Temperature // Int. ATA Conference. Florence, Italy. 1999A.
5. Bohm M. et al. Evaluation of the thermal environment in tractor cabs // International Conference on Environmental Ergonomics IV. 1990. p. 144–146.

References

1. ASHRAE 62 Ventilation for acceptable indoor air quality. *ASHRAE Standard*, ashrae.org, 621989. 1989.
2. Madsen T. L. Comparison between Operative and Equivalent Temperature under Typical Indoor Conditions. *ASHRAE trans.* 1984. vol. 90. p. 1077–1090.
3. SAE J2234 Equivalent temperature. Surface Vehicle Information. 1993.
4. Nilsson H., Holmér I., Bohm M. & Norén O. Definition and Theoretical Background of the Equivalent Temperature. *Int. ATA Conference*. Florence, Italy. 1999A.
5. Bohm M. et al. Evaluation of the thermal environment in tractor cabs. *International Conference on Environmental Ergonomics IV*. 1990. p. 144–146.

6. Schwab R., Conrad W. & Mayer E. Correlation Between Objective and Subjective Measurements of Thermal Comfort // EQUIV Report No 4, Holtzkirchen, Germany, Fraunhofer-Institut für Bauphysik. 1999.
7. Houghten F. and Yagloglou C. Determining equal comfort lines // Journal of ASHVE, USA, 1923. vol. 29. Pp. 165–176.
8. Dufton A. F. The equivalent temperature of a warmed room // JIHVE. 1936. vol. 4. p. 227–229.
9. Zhang S., Lin Z. Standard effective temperature based adaptive-rational thermal comfort model // Applied Energy. 2020. vol. 264. p. 114723.
10. Missenard A. et al. On Thermally Equivalent Environments // Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers. 1959. vol. 27. p. 231–237.
11. Vernon H. & Warner C. The influence of humidity of the air on capacity for work at high temperatures // Journal Hygiene Cambridge, UK, 1932. vol. 32. pp 431–462.
12. Menchaca-Brandan M. A., Espinosa F. A. D., Glicksman L. R. The influence of radiation heat transfer on the prediction of air flows in rooms under natural ventilation // Energy and buildings. 2017. vol. 138. p. 530–538.
13. ГОСТ 30494–2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Дата введения 2013-01-01.
14. ГОСТ Р ИСО 7730–2009 Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта. Дата введения 2010-12-01.
15. Mohammad H. Hasan, Fadi Alsaleem, Mostafa Rafeaie. Sensitivity study for the PMV thermal comfort model and the use of wearable devices biometric data for metabolic rate estimation // Building and Environment. 110 (2016) 173e183
16. Рябова Т. В., Санкина Ю. Н., Сулин А. Б. Обоснование и расчет эквивалентных параметров теплового комфорта помещения // Вестник Международной академии холода. 2018. № 2 (67). С. 78–84.
6. Schwab R., Conrad W. & Mayer E. Correlation Between Objective and Subjective Measurements of Thermal Comfort. *EQUIV Report No 4*, Holtzkirchen, Germany, Fraunhofer-Institut für Bauphysik. 1999.
7. Houghten F. and Yagloglou C. Determining equal comfort lines. *Journal of ASHVE*, USA, 1923. vol. 29. Pp. 165–176.
8. Dufton A. F. The equivalent temperature of a warmed room. *JIHVE*. 1936. vol. 4. p. 227–229.
9. Zhang S., Lin Z. Standard effective temperature based adaptive-rational thermal comfort model. *Applied Energy*. 2020. vol. 264. p. 114723.
10. Missenard A. et al. On Thermally Equivalent Environments. *Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers*. 1959. vol. 27. p. 231–237.
11. Vernon H. & Warner C. The influence of humidity of the air on capacity for work at high temperatures. *Journal Hygiene Cambridge*, UK, 1932. vol. 32. pp 431–462.
12. Menchaca-Brandan M. A., Espinosa F. A. D., Glicksman L. R. The influence of radiation heat transfer on the prediction of air flows in rooms under natural ventilation. *Energy and buildings*. 2017. vol. 138. p. 530–538.
13. State standard 30494–2011 Residential and public buildings. The parameters of the microclimate in the premises. Date of introduction 2013-01-01. (in Russian)
14. State standard R ISO 7730–2009 Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of the comfort of the thermal regime using the calculation of PMV and PPD indicators and criteria for local thermal comfort. Date of introduction 2010-12-01. (in Russian)
15. Mohammad H. Hasan, Fadi Alsaleem, Mostafa Rafeaie. Sensitivity study for the PMV thermal comfort model and the use of wearable devices biometric data for metabolic rate estimation. *Building and Environment*. 110 (2016) 173e183
16. Ryabova T. V., Sulin A. B., Sankina Yu. N. Rationale and calculation of thermal comfort equivalent parameters. *Vestnik Mezh-dunarodnoi akademii kholoda*. 2018. No 2. p. 78–84. (in Russian)

Сведения об авторах

Санкина Юлия Николаевна

Аспирант факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ulyashka95@yandex.ru

Рябова Татьяна Владимировна

К. т. н., доцент факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ryabova_tatyana@itmo.ru

Сулин Александр Борисович

Д. т. н., профессор факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, miconta@rambler.ru

Деими-Даштбаяз Махди

К. т. н., доцент кафедры технологии машиностроения, Университет Хакима Сабзевари, Сабзевар, Иран, mahdi.deymi@gmail.com

Лысёв Владимир Иванович

К. т. н., инженер 1 кат. факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, vilysev@corp.info.ru

Information about authors

Sankina Iuliia N.

Graduate student of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, ulyashka95@yandex.ru

Ryabova Tatyana V.

Ph. D., Associate Professor of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, ryabova_tatyana@itmo.ru

Sulin Aleksandr B.

D. Sc., Professor of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, miconta@rambler.ru

Deymi-Dashtebayaz Mahdi

Ph. D., Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Hakim Sabzevari University, Iran, mahdi.deymi@gmail.com

Lysev Vladimir I.

Ph. D., Engineer of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, vilysev@corp.info.ru