

УДК 628.8

Анализ неточностей и несоответствий в актуальной редакции стандарта ГОСТ Р ИСО 7730-2009

Ж. В. Васильева*, А. Г. Васильев, Е. А. Кирдишова

*Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия;

e-mail: vasilevazhv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2254-1152>

Информация о статье

Поступила
в редакцию
09.01.2023;

получена
после доработки
17.01.2023;

принята к публикации
17.01.2023

Ключевые слова:

стандарты,
ГОСТ Р ИСО 7730-2009,
ISO 7730:2005,
микроклимат
помещений, тепловой
комфорт, тепловой
режим, PMV (Predicted
Mean Vote),
PPD (Predicted
Percentage of Dissatisfied),
компьютерная
программа

Для цитирования

Реферат

В статье осуществлен анализ неточностей и несоответствий национального стандарта 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" и аналогичного международного стандарта ISO 7730:2005. Эти стандарты предназначены для оценки качества внутренней среды с целью соответствия международным практикам в области экологической устойчивости и в сфере энергоэффективности строительства. В процессе анализа исследованы и описаны неточности и несоответствия в стандартах, предложены их корректировки в разделах 4 и 5, устанавливающих метод исчисления прогнозируемой средней оценки (PMV, Predicted Mean Vote) и прогнозируемого процента недовольных температурной средой (PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied), а также в приложении D, содержащем листинг программы вычисления величины PMV на языке BASIC. Статья написана в соответствии с рекомендациями, выработанными в процессе реализации международного проекта KO1089 Green Arctic Building программы приграничного сотрудничества Kolarctic CBC.

Васильева Ж. В. и др. Анализ неточностей и несоответствий в актуальной редакции стандарта ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 1. С. 45–56. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-1-45-56.

Analysis of errors and inaccuracies in the current edition of the GOST R ISO 7730-2009 standard

Zhanna V. Vasileva*, Anatoliy G. Vasilev, Elena A. Kirdishova

*Murmansk State Technical University, Murmansk, Russia;

e-mail: vasilevazhv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2254-1152>

Article info

Received
09.01.2023;

received
in revised
17.01.2023;

accepted
17.01.2023

Key words:

standards,
GOST R ISO 7730-2009,
ISO 7730:2005, indoor
microclimate, thermal
comfort, thermal regime,
PMV (Predicted Mean
Vote), PPD (Predicted
Percentage
of Dissatisfied),
computer program

For citation

Abstract

The paper analyzes the inaccuracies and inconsistencies of the national standard GOST 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 of local thermal comfort" and similar international standard ISO 7730:2005. These standards are designed to assess the quality of the internal environment in order to comply with international practices both in the field of environmental sustainability and in the field of energy efficiency of construction. The authors have investigated and described inaccuracies and inconsistencies, have proposed their corrections in Sections 4 and 5, which establish the method of calculating the predicted mean estimate (PMV – Predicted Mean Vote) and the predicted percentage of dissatisfied with the temperature environment (PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied), as well as in Appendix D, which contains a listing of the PMV calculation program in the BASIC language. The paper has been written in accordance with the recommendations developed during the implementation of the international project KO1089 "Green Arctic Building" of the Cross-Border Cooperation Program.

Vasileva, Zh. V. et al. 2023. Analysis of errors and inaccuracies in the current edition of the GOST R ISO 7730-2009 standard. *Vestnik of MSTU*, 26(1), pp. 45–56. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-1-45-56.

Введение

Комфортный тепловой режим является важной составляющей благоприятной жилой среды (Al Horr et al., 2016a; Frontczak et al., 2011; Oldewurtel et al., 2013), повышает производительность персонала в условиях производственной среды (Fisk, 2000; Al Horr et al., 2016b; Wyon, 1996) и значительно влияет на когнитивные функции учащихся в общеобразовательных школах и высших учебных заведениях (Jia et al., 2021; Wargocki et al., 2019; Mendell et al., 2005). Поэтому оценка и нормирование параметров теплового комфорта занимает значительное место в проектировании и создании современных зданий.

Особенно велика роль оценки комфорта внутренней среды для создания энергоэффективных зданий (EN. Directive 2010/31/EU) ввиду необходимости нахождения баланса между поступлением воздуха из внешней среды и сохранением тепла помещения, а также эффективной работы вентиляции для обеспечения качества воздуха в условиях стратегии снижения энергопотребления (Šujanová et al., 2019; Raone et al., 2018). Известно, что потребление энергии системами вентиляции и отопления составляет значительную долю – не менее 60–70 % от общего энергопотребления зданий (Khan et al., 2008). Использование (прогнозирование) оценки теплового комфорта в проектировании здания и выборе систем вентиляции и отопления позволяет сводить к минимуму потребление энергии, используемой для достижения желаемых внутренних условий (Cox, 2005). Так, рекомендуемые показатели вентиляции зданий в большинстве международных стандартов и руководств основаны на критериях теплового комфорта (Olesen, 2004).

В Российской Федерации состояние тепловой среды помещений, как правило, оценивается сочетанием требований (Дударев и др., 2013) к показателям температуры воздуха, относительной влажности, скорости движения воздуха (ГОСТ 30494-2011, ГОСТ Р 54964-2012, СП 60.13330.2020, ГОСТ 12.1.005-88, СанПиН 1.2.3685-21). Зарубежные стандарты качества внутренней среды в новых и существующих зданиях ориентируются на интегрированный подход, базирующийся на модели теплового комфорта в помещениях (Спиридонов и др., 2016). Такой подход отражен в международном стандарте ISO 7730: 2005 и аналогичных стандартах ANSI/ASHRAE Standard 55 (США) и CEN. EN 15251:2007 (ЕС). Этот подход основывается на модели теплового баланса Фангера (Fanger, 1970), объединяющей переменные тепловой среды, активность человека и изоляцию его одежды и дающей возможность прогнозировать приемлемость данной тепловой среды для жителей здания посредством определения прогнозируемого среднего голоса (PMV) и прогнозируемого процента недовольных (PPD).

В 2009 г. в России вышел аналог международного стандарта ISO 7730:2005 российский стандарт 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", позволяющий российским специалистам освоить методологию оценки комфортности теплового режима с помощью международно признанной модели теплового баланса (модели PMV-PPD).

Тем не менее, несмотря на вышедший документ ГОСТ Р ИСО 7730-2009, российские исследователи и специалисты, работающие в данной области, предпочитают использовать оригинальный англоязычный международный стандарт ISO 7730:2005, либо доступные публикации о моделях Фангера, лежащие в его основе (Гусейнова, 2019; Лексин и др., 2014; Пророкова, 2017; Усмонов, 2015). Причиной тому является ряд неточностей и несоответствий, допущенных как при подготовке российского варианта стандарта, так и в компьютерной программе для вычисления показателя PMV в англоязычной версии стандарта. В настоящее время отсутствуют работы, содержащие анализ допущенных неточностей и несоответствий в актуальных версиях ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005, что существенно осложняет их полноценное использование.

Целью работы являлись исследование и анализ неточностей и несоответствий, допущенных в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005, и формирование предложений по их корректировке и совершенствованию. Данное аналитическое исследование реализовано в соответствии с рекомендациями, выработанными в процессе выполнения международного проекта KO1089 Green Arctic Building программы приграничного сотрудничества Kolarctic CBC.

Материалы и методы

Материалом для анализа в данной работе являлись национальный стандарт 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", размещенный на официальных сайтах российских электронных справочно-правовых систем ("Гарант", "КонсультантПлюс"), и международный стандарт ISO 7730:2005 "Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria".

Объектом анализа послужили разделы 4 и 5 стандартов, устанавливающие метод исчисления прогнозируемой средней оценки (PMV, Predicted Mean Vote) и прогнозируемого процента недовольных температурной средой (PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied), а также приложение D, содержащее программу вычисления показателя PMV на языке BASIC.

Результаты и обсуждение

Анализ формул раздела 4 стандартов ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005

Обсуждаемые международный стандарт ISO 7730:2005 и соответствующий ему национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 7730-2009 базируются на модели теплового баланса Фангера (*Fanger, 1970*), учитывающей комплекс факторов в обеспечении теплового баланса человека: температуры, влажности воздуха, скорости движения воздуха, средней радиационной температуры, одежды, физической активности людей, находящихся в помещении. Результатом оценки является предсказание теплоощущений человека в виде комплексного параметра *PMV* (Predicted Mean Vote) и показателя *PPD*, отражающего уровень дискомфорта (Predicted Percentage of Dissatisfied). Модель *PMV-PPD* стала международно признанной моделью для описания прогнозируемого среднего теплового комфорта жителей в помещениях.

В разделе 4 рассматриваемых стандартов указана основная формула (1), определяющая показатель *PMV*. Эта формула в оригинальной англоязычной версии стандарта ISO 7730:2005 имеет следующий вид:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{aligned} &(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ &- 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ &- 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\}$$

Поскольку такая математическая интерпретация малознакома российскому пользователю, то в российской версии стандарта ГОСТ Р ИСО формула приобретает более знакомый вид (без больших скобок), но теряет при этом заменяющие их скобки, что ведет к неправильному трактованию и исчислению формулы (рис. 1).

$$PMV = [0,303 \exp(-0,036M) + 0,028 \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)]$$

Рис. 1. Изображение некорректной интерпретации формулы (1) в ГОСТ Р ИСО 7730-2009
Fig. 1. Image of incorrect interpretation of formula (1) in GOST R ISO 7730-2009

Физический смысл формулы (1) заключается в оценке теплового баланса тела человека, т. е. исчислении разницы между внутренней теплопродукцией и теплопотерями в окружающую среду (*Fanger, 1973*). Величина *M* представляет собой параметр, соответствующий количеству энергии вырабатываемой организмом человека, или скорости метаболизма веществ, приведенной к площади поверхности тела человека. Величина *W* соответствует энергии, которую человек тратит на совершение механической работы (перемещение груза, ходьба и т. д.), или количеству эффективной механической энергии, также отнесенной к площади тела. Таким образом, разность *M – W* характеризует количество энергии, которое идет на поддержание температуры тела (теплового баланса), приведенное к площади поверхности тела. Далее, из величины *M – W* вычитают шесть величин, каждая из которых соответствует некоторому способу охлаждения тела (потеря тепла при дыхании, при теплообмене через кожу и т. д.). Результирующий знак итоговой разности говорит о сдвиге теплоощущения (теплового баланса) человека: положительный знак свидетельствует, что человеку тепло или жарко, отрицательный – прохладно или холодно. Оптимальным является сбалансированное состояние, когда вырабатываемая организмом энергия полностью расходуется на поддержание температуры тела; разность в этом случае равна нулю. Затем полученную величину энергетического баланса умножают на коэффициент $0,303 \exp^{-0,036M} + 0,028$, что приводит его в диапазон от –3 до +3, который можно интерпретировать по табл. 1, указанной в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005.

Таблица 1. Семибалльная шкала чувствительности к температуре
Table 1. Seven-point thermal sensation scale

Оценка в баллах. Score in points	Ощущения человека. Sensation assessment
+3	Жарко. Hot
+2	Тепло. Warm
+1	Немного тепло. Slightly warm
0	Нейтрально. Neutral
–1	Немного прохладно. Slightly cool
–2	Прохладно. Cool
–3	Холодно. Cold

Вышеуказанная неверная интерпретация формулы (1) в российской версии стандарта ГОСТ Р ИСО 7730-2009 изменила ее физический смысл (ввиду потери коэффициента $0,303\exp^{-0,036M} + 0,028$), что привело к невозможности осуществления соответствующего математического расчета.

Верная интерпретация формулы (1), сохраняющая физический смысл, изложенный выше, имеет следующий аналитический вид (рис. 2).

$$PMW = [0,303\exp(-0,036M) + 0,028] \left\{ (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - \right. \\ \left. - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M(34 - t_a) - \right. \\ \left. - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\}$$

Рис. 2. Изображение корректного аналитического вида формулы (1) стандарта ISO 7730:2005, предназначенного также и для ГОСТ Р ИСО 7730-2009

Fig. 2. Correct analytical form of formula (1) ISO 7730:2005 and for GOST R ISO 7730-2009

Далее необходимо отметить следующее. Для величин M и W стандартом вводится специальная единица измерения – метаболическая единица. При этом в оригинальном тексте ISO 7730:2005 и российском ГОСТ Р ИСО 7730-2009 наблюдаются неточности (табл. 1). Так, в п. 4.1 ГОСТ Р ИСО 7730-2009 указана величина $1 \text{ мет} = 58 \text{ Вт/м}^2$ (см. примечания в п. 4.1), в аналогичном разделе ISO 7730:2005 указана несколько иная величина $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/м}^2$. При этом и в ГОСТ Р ИСО 7730-2009, и в ISO 7730:2005 в листингах компьютерной программы для вычисления PMV и PPD в строчках 170 и 180 указана величина метаболической единицы, равная $58,15 \text{ Вт/м}^2$ (табл. 1). Таким образом, в российском и международном стандартах указаны различные величины метаболической единицы, не совпадающие со значением, включенным в компьютерную программу для вычисления PMV и PPD . Эти незначительные отличия в значениях величины способны существенно затруднить работу со стандартом и привести к несовпадению результатов исчислений и контрольных результатов.

Таблица 2. Различная интерпретация значения метаболической единицы, приведенной в ISO 7730:2005 и ГОСТ Р ИСО 7730-2009

Table 2. Different interpretation of the meaning of the metabolic unit, given in ISO 7730:2005 and GOST R ISO 7730-2009

Значение метаболической единицы. Value of the metabolic unit	Разделы стандартов, содержащие значение. Standards clauses containing the value
1 метаболическая единица = 1 мет = 58 Вт/м ²	ГОСТ Р ИСО 7730-2009, п. 4.1. Определение (примечания)
1 metabolic unit = 1 met = 58,2 W/м ²	ISO 7730:2005, 4.1. Determination. NOTE
170 $M = \text{MET} \cdot 58,15$: metabolic rate in W/м ² 180 $W = \text{WME} \cdot 58,15$: external work in W/м ²	ISO 7730:2005. Annex D. Computer program for calculating PMV and PPD
170 $M = \text{MET} \cdot 58,15$: скорость обмена веществ, Вт/м 180 $W = \text{WME} \cdot 58,15$: наружная работа, Вт/м ²	ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Приложение D. Компьютерная программа для вычисления PMV и PPD

Кроме того, несмотря на то, что 58,0 и 58,2 являются округленными значениями величины 58,15, принимать первые величины было бы ошибкой ввиду следующего. Компьютерная программа по своему назначению призвана реализовывать алгоритм на основании формул и правил, изложенных в тексте стандарта, и не может являться источником новых формул и фактов. Такое несоответствие величин может привести к ошибкам и несовпадению результатов расчетов в зависимости от того, какую величину применит пользователь в вычислениях.

Относительно других формул раздела 4 необходимо отметить, что формулы (2) и (3) российской редакции стандарта полностью эквивалентны формулам оригинала. А вот формула (4) стандарта выглядит следующим образом в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 (рис. 3, а) и ISO 7730:2005 (рис. 3, б) (следует отметить, что коэффициент 0,645 "превратился" в 1,645):

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 l_{cl} & \text{если } l_{cl} \leq 0,078 \text{ м}^2 \text{ К / W,} \\ 1,05 + \mathbf{1,645} l_{cl} & \text{если } l_{cl} > 0,078 \text{ м}^2 \text{ К / W.} \end{cases} \quad a$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 l_{cl} & \text{for } l_{cl} \leq 0,078 \text{ м}^2 \text{ К / W,} \\ 1,05 + \mathbf{0,645} l_{cl} & \text{for } l_{cl} > 0,078 \text{ м}^2 \text{ К / W.} \end{cases} \quad б$$

Рис. 3. Изображение некорректной интерпретации формулы (4), приведенной в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 (а), и правильной – в ISO 7730:2005 (б)

Fig. 3. Incorrect interpretation of formula (4) in GOST R ISO 7730-2009 (a) and correct in ISO 7730:2005 (б)

Анализ компьютерной программы для стандартов ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005 и формирование предложений по ее совершенствованию

BASIC не является строго стандартизированным языком, являясь группой схожих языков. Программы, написанные для одного интерпретатора BASIC, сложно реализуются на иных интерпретаторах. В тексте же стандартов ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005 отсутствуют указания, в каком интерпретаторе следует запускать программу, однако выбор конкретного интерпретатора необходим для проверки ее работоспособности. Для работы с компьютерной программой, содержащейся в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005, авторами был выбран онлайн-интерпретатор <https://yohan.es/swbasic>¹. Выбор данного интерпретатора обусловлен тем, что в нем поддерживается ручная нумерация строк (рудимент, который в современных программах BASIC отсутствует). Ручная нумерация строк позволила максимально приблизить текст программы к первоисточнику из приложения D стандартов ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005.

Анализ приведенной в стандартах ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005 компьютерной программы на языке BASIC показал наличие целого ряда ошибок, препятствующих работе этой программы. Например, в строке 200 используется символ, недопустимый для любых языков программирования, включая BASIC, что подробно будет обсуждено ниже, а в строке 140 количество открывающих скобок не совпадает с количеством закрывающих. Аналогичная ситуация наблюдается с многочисленными строками программы.

При этом использовать формулы, приведенные в обсужденном выше разделе 4, для вычисления показателя *PMV* без приложения D, содержащего программу для расчета значения *PMV* по этим формулам, достаточно сложно, так как часть вычислений, как оговаривается в стандарте, должна быть произведена "с помощью последовательных итераций", конкретный вид которых определяется в компьютерной программе и число которых сложно установить заблаговременно (до окончания вычислений). Далее необходимо провести идентификацию ошибок и восстановление компьютерной программы построчно, опираясь на формулы и указания основного текста стандарта.

В программе (прежде всего в строках 10–40) пропущен оператор комментария REM.

В строках 50–100, 120–130 пропущен символ, отделяющий строковое сообщение от имени переменной (в большинстве программ BASIC этот символ – запятая); можно предположить существование диалекта, в котором имя переменной не отделяется никакими символами.

В строке 110 вместо INPUT должен быть PRINT.

В строках 80–90 использован недопустимый символ градуса.

В строке 140 правее знака присваивания количество открывающих скобок не равно количеству закрывающих. Формула (исходя из ее физического смысла) предназначена для вычисления давления насыщенного водяного пара при температуре *T*. Эту стандартную формулу мы исправили в соответствии с ее известным физическим смыслом. Выбранный нами интерпретатор не поддерживает оператора декларирования функций DEF, поэтому перевод относительной влажности в давление пара выполнен непосредственно в строке 150. Также выбранный интерпретатор не поддерживает функцию EXP() (возведение числа *e* в степень), поэтому в строке 145 присвоено значение числа *e* соответствующей переменной, а для вычисления экспоненты в теле программы используется операция возведения в степень.

В строках 160–180 использован недопустимый символ "два в верхнем индексе".

В строке 200 использован недопустимый символ "меньше или равно". В переводе ошибочный символ заменен на допустимый в BASIC, но синтаксически неверный символ "и".

Строка 200 дает еще один показательный пример опечатки. Часть выражения в присваивании ветки THEN была отформатирована добавлением пробелов на уровне комментариев. Это говорит о том, что текст программы просто воспроизведен в стандарте без какого-либо осмысления, только переведены комментарии и вывод на экран командами PRINT и INPUT.

В выбранном онлайн-интерпретаторе невозможно добавить комментарий к строчке, содержащей команду ветвления, поэтому комментарий перенесен на строку 201.

В строках 240 и 500 перевода неточно воспроизведен смысл оригинальных комментариев. В комментариях к программе описывают, что именно делает тот или иной участок кода. Реже описывают, как участок кода работает. Кроме того, комментарии к программе никогда не пишутся в повелительном наклонении. В исправленной нами программе комментарии в строках 240 и 500 откорректированы, но в целом данное замечание не является обязательным к исполнению, так как комментарии не влияют на работу программы.

В строках 250–340 выполняются предварительные вычисления для заявленного в тексте стандарта итерационного расчета значений t_{cl} и h_c , а сам цикл выполняется в строках 350–410 программы.

¹ Simple Basic Interpreter. URL: <https://yohan.es/swbasic>.

В строке 250 вычисляется начальное значение величины t_{cl} (в кельвинах), что является первым важным фактом, свидетельствующим об "итерационных вычислениях", который не следует ни из указанных в стандарте формул (1)–(4), ни из текста основной части документа. Необходимо также обратить внимание, что в формулах (1)–(4) стандарта используется значение в градусах Цельсия, важно не запутаться между величинами в градусах Цельсия и тех же величинах в кельвинах.

В строках 260–300 выполняются предварительные вычисления вспомогательных величин P1–P5. В выражениях фигурируют части формулы (2) стандарта, в частности коэффициенты 3,96; 0,028 и произведение $I_{cl} \cdot f_{cl}$, которые встречаются только в формуле (2). В строке 380 эти коэффициенты используются в выражении для вычисления очередного приближения величины t_{cl} ; таким образом, можно сделать вывод о том, что в строках 260–300 в качестве основы использована формула (2). Однако строки 260–300, 380 содержат ошибки, и результат вычислений по выражению, указанному в строке 380, не соответствует тому, который должен получаться в результате вычислений по формуле (2). Причем количество накопленных ошибок в этих строках, вероятно, велико, поэтому мы не смогли восстановить логику разделения формулы (2) на коэффициенты. Авторы первоначальной программы разбили выражение на пять предварительно вычисляемых членов, предположительно, для ускорения расчетов, так как компьютеры во время ее разработки считали очень медленно и при программировании ранних версий BASIC использовались в том числе и такие приемы. Строки 260–300 мы удалили из программы, а для вычисления t_{cl} просто записали выражение, соответствующее формуле (2). В удаленных строках 260–290 фигурирует неверный перевод комментария "Calculation term": этот комментарий означает не "период вычисления", а "вычисление терма" (члена, вспомогательной величины).

Переменные XF и XN используются как очередные приближенные значения величины t_{cl} . Перед входом в цикл значения величин равны. В цикле вычисляется по формуле (2) новое значение XN (строка 380), при этом в качестве текущего значения t_{cl} используется XF , затем для следующей итерации значение XF уточняется как среднее между текущим значением XF и найденным значением XN (строка 350). Вычисления повторяются до тех пор, пока разница между новым и предыдущим значениями t_{cl} (XN и XF) не будет превышать заданной точности. Если требуемая точность не будет достигнута за 150 итераций, цикл завершается, но значение PMV считается найденным. Это вторая часть недостающего "итерационного метода". Величины XF и XN содержат не температуру t_{cl} , а температуру, уменьшенную в сто раз (строка 310). В соответствии с этим написана формула в строке 360. Видимо, в формуле (2) этот факт также должен был учитываться, но формулу (2), как было указано выше, восстановить из исходной программы не удалось. Затем в строке 420 уменьшенное в сто раз значение восстанавливается до кельвинов и переводится в градусы Цельсия. Зачем авторы программы уменьшили значение переменных в сто раз в теле цикла, остается только предполагать. Мы не стали воспроизводить эту часть вычислений; в нашей программе итерационные значения t_{cl} соответствуют температуре в кельвинах. Соответствующим образом откорректированы строки 310, 360, 420; исправлена строка 340, потому что при увеличении величины в сто раз точность также нужно увеличить в сто раз, т. е. величину EPS взять меньшей на два порядка.

В строке 440 пропущен знак арифметической операции между символами "1" и "(" . По смыслу в этой строке вычисляется один из членов формулы (1), пропущенный символ – знак умножения.

В строке 480 вычисляется один из членов формулы (1), в соответствии с формулой пропущен множитель 10^{-8} , кроме того, количество открывающих скобок не равно количеству закрывающих скобок.

В тексте программы отсутствует строка 490. По смыслу в этой строке должен вычисляться последний (шестой) член формулы (1), который следует назвать HL6. В программе переменная HL6 нигде не инициализируется, однако используется в правой части оператора присваивания в строке 520.

В строках 570, 580, 590 перевода не были переведены выводимые на экран сообщения.

Выбранный нами интерпретатор не поддерживает форматированный вывод (директива USING), поэтому вывод в строках 580 и 590 неформатированный.

Строки 600, 610, 620 не оказывают влияния на алгоритм и служат только для повторного запуска программы. Мы их убрали из предлагаемого откорректированного варианта как несущественные.

Исправленный текст программы на языке BASIC для вычисления PMV и PPD приведен на рис. 4.

Проверка авторами восстановленной программы на контрольных значениях табл. D.1 (приложение D), показала совпадение значений PPD и PMV с контрольными показателями, предложенными стандартом, что подтверждает корректность выполненного восстановления программы. Встречающиеся расхождения значений в одну сотую определяются округлениями в процессе вычислений, которые в свою очередь зависят от порядка вычисления промежуточных величин [напомним, для формулы (2) этот порядок воспроизвести не удалось], и от используемого интерпретатора языка программирования. Пример расчета PMV и PPD с помощью откорректированной программы BASIC в <https://yohan.es/swbasic> приведен на рис. 5. При

необходимости произвести или проверить аналогичные вычисления следует скопировать программу из рис. 4, вставить в поле редактора <https://yohan.es/swbasic> (или аналогичного интерпретатора языка программирования) и ввести контрольные значения.

```

10 REM компьютерная программа (BASIC) для вычисления
20 REM прогнозируемой средней оценки (PMV) и прогнозируемого процента недовольных (PPD)
30 REM в соответствии с международным стандартом ISO 7730
40 CLS : PRINT "ВВОД ДАННЫХ" : REM ввод данных
50 INPUT " Одежда (кло) " : REM CLO
60 INPUT " Скорость обмена веществ (мет) " : REM MET
70 INPUT " Наружная работа, обычно рядом с 0 (мет) " : REM WM
80 INPUT " Температура воздуха (град.С) " : REM TA
90 INPUT " Средняя температура излучения (град.С) " : REM TR
100 INPUT " Средняя скорость движения воздуха (м/с) " : REM VEL
110 PRINT " ВВЕДИТЕ ИЛИ ВЛАЖНОСТЬ ИЛИ ДАВЛЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА, НО НЕ ОБА"
120 INPUT " Относительная влажность (%) " : REM RH
130 INPUT " Давление водяного пара (Па) " : REM PA
140 REM давление насыщенного водяного пара при температуре Т в кПа = EXP(16.6536-4030.183/(T+235))
145 e=2.718281828459045
150 IF PA=0 THEN PA=RH*10*(e^(16.6536-4030.183/(TA+235))) : REM давление водяного пара, Па
160 ICL=.155*CLO : REM термоизоляция одежды, кв.м*К/Вт
170 M=MET*58.15 : REM скорость обмена веществ, Вт/кв.м
180 W=WME*58.15 : REM наружная работа, Вт/кв. м
190 MW=M-W : REM внутреннее производство тепла в теле человека
200 IF ICL<=0.078 THEN FCL=1+1.29*ICL ELSE FCL=1.05+0.645*ICL
201 REM ICL - множитель площади одежды
210 HCF=12.1*SQR(VEL) : REM коэффициент теплообмена при принудительной кон-
: векции
220 TAA=TA+273 : REM температура воздуха, К
230 TRA=TR+273 : REM средняя температура излучения, К
240 REM -----ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОДЕЖДЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ ПРИБЛИЖЕНИЯМИ-----
250 TCLA=TAA+(35.5-TA)/(3.5*ICL+.1) : REM первое предположение о температуре поверхности
: одежды
310 XN=TCLA
320 XF=XN
330 N=0 : REM номер итерации
340 EPS=.0000015 : REM критерий завершения цикла поиска приближенного
: значения
350 XF=(XF+XN)/2
360 HCN=2.38*(ABS(XF-TAA)^.25) : REM коэффициент теплообмена при естественной конвек-
: ции
370 IF HCF>HCN THEN HC=HCF ELSE HC = HCN
380 P1=ICL*FCL*((3.96*(10^-8)*((XF^4)-(TRA^4)))+(HC*(XF-TAA))
381 XN=35.7-(.028*MW)-P1+273
390 N=N+1
400 IF N>150 THEN GOTO 550
410 IF ABS(XN-XF)>EPS THEN GOTO 350
420 TCL=XN-273 : REM температура поверхности одежды
430 REM -----ВЫЧИСЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПОТЕРИ ТЕПЛА-----
440 HL1=3.05*.001*(5733-6.99*MW-PA)
450 IF MW>58.15 THEN HL2=.42*(MW-58.15) ELSE HL2=0!
451 : REM потеря тепла за счет потения (комфортного)
460 HL3=1.7*.00001*M*(5867-PA) : REM скрытая потеря тепла через дыхание
470 HL4=.0014*M*(34-TA) : REM потеря тепла из-за сухого дыхания
480 HL5=3.96*(10^-8)*FCL*(XN^4-TRA^4) : REM потеря тепла из-за излучения
490 HL6 = FCL*HC*(TCL-TA)
500 REM -----ВЫЧИСЛЕНИЕ PMV И PPD-----
510 TS=.303*(e^(-.036*M))+.028 : REM коэффициент переноса температурной чувствительно-
: сти
520 PMV=TS*(MW-HL1-HL2-HL3-HL4-HL5-HL6) : REM прогнозируемая средняя оценка
530 PPD=100-95*(e^(-.03353*(PMV^4)-.2179*(PMV^2))) : REM прогнозируемый процент недовольных
540 GOTO 570
550 PMV=999999!
560 PPD=100
570 PRINT : PRINT "РЕЗУЛЬТАТ" : REM вывод результата
580 PRINT "прогнозируемая средняя оценка (PMV):", PMV
590 PRINT "прогнозируемый процент недовольных (PPD):", PPD

```

Рис. 4. Исправленный текст компьютерной программы
на языке BASIC для вычисления *PMV* и *PPD*
Fig. 4. Computer program in BASIC for calculating *PMV* and *PPD*

Execution result

ВВОД ДАННЫХ

Одежда	(кло)	1
Скорость обмена веществ	(мет)	1.2
Наружная работа, обычно рядом с 0	(мет)	0
Температура воздуха	(град.С)	19
Средняя температура излучения	(град.С)	18
Средняя скорость движения воздуха	(м/с)	0.1
ВВЕДИТЕ ИЛИ ВЛАЖНОСТЬ ИЛИ ДАВЛЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА, НО НЕ ОБА		
Относительная влажность	(%)	40
Давление водяного пара	(Па)	0

РЕЗУЛЬТАТ

прогнозируемая средняя оценка (PMV): -0.698278206077137

прогнозируемый процент недовольных (PPD): 15.253973579146049

Рис. 5. Пример результата расчетов откорректированной программы BASIC

для вычисления *PMV* и *PPD* в интерпретаторе <https://yohan.es/swbasic>

Fig. 5. Example of the computing result of the corrected BASIC program for calculating *PMV* and *PPD* in the interpreter <https://yohan.es/swbasic>

Завершая анализ приложения D, необходимо отметить, что таблица контрольных результатов (табл. D.1 приложения D) также содержит неточность в значении величин *PMV*, *PPD* в строке 7 (табл. 3).

Таблица 3. Извлечение из табл. D.1, приведенной в стандартах ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005 (примеры неверных результатов вычисления *PMV*, *PPD*)

Table 3. Extract from Table D.1 in GOST R ISO 7730-2009 and ISO 7730:2005 standards (examples of incorrect *PMV*, *PPD* results)

% п/п. Run no	Температура воздуха, °С. Air temperature, °C	Средняя температура излучения, °С. Mean radiant temperature, °C	Скорость движения воздуха, м/с. Air velocity, m/s	RH, %	Скорость обмена веществ, мет. Metabolic rate, met	Изоляция одежды, кло. Clothing insulation, clo	<i>PMV</i>	<i>PPD</i>
7	23,5	23,5	0,10	40	1,2	1,0	0,50	10

Контрольные результаты строки 7 можно проверить: 1) с помощью откорректированной компьютерной программы; 2) посредством подстановки контрольных значений, предлагаемых стандартом, в формулы (1)–(4) и последующих вычислений. Проверка с помощью компьютерной программы показала несоответствие полученных значений *PMV*, *PPD* контрольным, поэтому были проведены соответствующие проверочные вычисления с использованием формул (1)–(4) стандарта ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Полученные в ходе расчетов и с помощью откорректированной компьютерной программы значения величин совпали и составили 0,36 и 8 для *PMV* и *PPD* соответственно. Таким образом, именно эти значения должны фигурировать в строке 7 табл. D.1 обсуждаемых стандартов.

Заключение

В статье проведен анализ неточностей и несоответствий российского национального стандарта ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и предложены их корректировки в разделах 4 и 5, устанавливающих метод исчисления прогнозируемой средней оценки (*PMV*, Predicted Mean Vote) и прогнозируемого процента недовольных температурной средой (*PPD*, Predicted Percentage of Dissatisfied), а также в приложении D, содержащем программу вычисления показателя *PMV* на языке BASIC. В настоящее время национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 7730-2009 не может использоваться ввиду наличия ряда неточностей и несоответствий.

Авторами предложены корректировки формул и несоответствий указанных стандартов. Неточности и несоответствия в текстах стандартов и предлагаемые корректировки приведены в сводной табл. 4.

Таблица 4. Сводная таблица неточностей и несоответствий
в текстах стандартов ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ISO 7730:2005
Table 4. Summary table of inaccuracies and inconsistencies
in the texts of GOST R ISO 7730-2009 and ISO 7730:2005 standards

Локализация несоответствия в стандарте. Localization of the inconsistencies in the standard	Корректный вид. Correct option
ГОСТ Р ИСО 7730-2009 (раздел 4, формула (1)) GOST R, ISO 7730-2009 (Clause 4, formula (1))	$PMW = [0,303 \exp(-0,036M) + 0,028] \left((M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - \right. \\ \left. - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - \right. \\ \left. - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M(34 - t_a) - \right. \\ \left. - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right)$
ГОСТ Р ИСО 7730-2009 (раздел 4, формула (4)) GOST R ISO 7730-2009 (Clause 4, formula (4))	$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 l_{cl} & \text{если } l_{cl} \leq 0,078 m^2 K / W, \\ 1,05 + 0,645 l_{cl} & \text{если } l_{cl} > 0,078 m^2 K / W \end{cases}$
ГОСТ Р ИСО 7730-2009, ISO 7730:2005 (раздел 4, примечание к формулам (1)–(4)) GOST R ISO 7730-2009, ISO 7730:2005 (Clause 4, NOTE to formulas (1)–(4))	1 метаболическая единица = 1 мет = 58,15 Вт/м ² , 1 metabolic unit = 1 met = 58,15 W/m ²
ГОСТ Р ИСО 7730-2009, ISO 7730:2005 (приложение D, табл. D.1, строка 7) GOST R ISO 7730-2009 and ISO 7730:2005 (Annex D, Table D.1, Run no. 7 in 5)	$PMV = 0,36, PPD = 8$
ГОСТ Р ИСО 7730-2009, ISO 7730:2005 (приложение D, компьютерная программа) GOST R ISO 7730-2009 and ISO 7730:2005 (Annex D, Computer program for calculating PMV and PPD)	См. рис. 4. See Fig. 4

Представленный анализ, приведенные в соответствие формулы и текст компьютерной программы стандарта предназначены для научных работников и специалистов, использующих российский стандарт ГОСТ Р ИСО 7730-2009 при проектировании и строительстве зданий, отвечающих требованиям международных стандартов в области энергоэффективности и качества внутренней среды.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Гусейнова М. В. Исследование возможности групповой оценки теплового комфорта по теории Фангера применительно ко множеству лиц с разными трудовыми показателями // Экология человека. 2019. Т. 26, № 4. С. 60–64. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-4-60-64>. EDN: ZDDDSP.
- Дударев А. А., Сотников А. Г. Микроклиматический комфорт и воздухораспределение: несколько шагов навстречу // Инженерные системы. АВОК Северо-запад. 2013. № 1. С. 16–23.
- Лексин А. Г., Евлампиева М. Н., Минеева Н. И., Тимошенкова Е. В. Применение показателей PMV и PPD для прогнозирования оценки пассажирами метрополитена степени теплового комфорта или дискомфорта в различных температурных условиях // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93, № 3. С. 45–48. EDN: SJSXQZ.
- Пророкова М. В. Повышение эффективности энергосберегающих мероприятий с учетом комфортности микроклимата: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.04. Иваново, 2017. 202 с.
- Спиридонов А. В., Шубин И. Л., Малявина Е. Г., Самарин О. Д. Мониторинг и анализ нормативных документов в строительстве в области внутреннего климата помещений и защиты от вредных воздействий. Часть 2. Температурно-влажностный режим и качество воздуха в помещениях // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2016. № 5(981). С. 20–26. EDN: VUZWGP.
- Усмонов Ш. 3. О необходимости определения оптимальных параметров температуры помещений в СНиП РТ 23-02-2009 "Тепловая защита зданий" по индексам теплового комфорта PMV и PPD // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 54–57. EDN: TGOSDT.
- Al Horr Y., Arif M., Katafygiotou M., Mazroei A. [et al.]. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature // International Journal of Sustainable Built Environment. 2016a. Vol. 5, Iss. 1. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.03.006>.

- Al Horr Y., Arif M., Kaushik A., Mazroei A. [et al.]. Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature // *Building and Environment*. 2016b. Vol. 105, P. 369–389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>.
- Cox C. HOPE: Health optimisation protocol for energy-efficient buildings: Pre-normative and socio-economic research to create healthy and energy-efficient buildings. Netherlands : TNO : Delft, 2005. 16 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.33658.80328.
- Fanger P. O. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen : Danish Technical Press, 1970.
- Fanger P. O. Thermal Comfort. McGraw-Hill. New York, 1973.
- Fisk W. J. Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency // *Annual Review of Energy and the Environment*. 2000. Vol. 25, Iss. 1. P. 537–566. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.537>.
- Frontczak M., Wargocki P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments // *Building and Environment*. 2011. Vol. 46, Iss. 4. P. 922–937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>.
- Jia L.-R., Han J., Chen X., Li Q.-Y. [et al.]. Interaction between thermal comfort, indoor air quality and ventilation energy consumption of educational buildings: A comprehensive review // *Buildings*. 2021. Vol. 11, Iss. 12. Article number: 591. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings11120591>.
- Khan N., Su Y., Riffa S. B. A review on wind driven ventilation techniques // *Energy and Buildings*. 2008. Vol. 40, Iss. 8. P. 1586–1604. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.015>.
- Mendell M. J., Heath G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature // *Indoor Air*. 2005. Vol. 15, Iss. 1. P. 27–52. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>.
- Oldewurtel F., Sturzenegger D., Morari M. Importance of occupancy information for building climate control // *Applied Energy*. 2013. Vol. 101. P. 521–532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.014>.
- Olesen B.W. International standards for the indoor environment // *Indoor Air*. 2004. Vol. 14, Iss. 5. P. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00268.x>.
- Paone A., Bacher J.-P. The impact of building occupant behavior on energy efficiency and methods to influence it: A review of the state of the art // *Energies*. 2018. Vol. 11, Iss. 4. Article number: 953. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11040953>.
- Peng C., Yan D., Guo S., Hu S. [et al.]. Building energy use in China: Ceiling and scenario // *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 102. P. 307–316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.049>.
- Šujanová P., Rychtáriková M., Mayor T. S., Hyder A. A healthy, energy-efficient and comfortable indoor environment, A review // *Energies*. 2019. Vol. 12, Iss. 8. Article number: 1414. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12081414>.
- Wargockia P., Porras-Salazara J. A., Contreras-Espinoza S. The relationship between classroom temperature and children's performance in school // *Building and Environment*. 2019. Vol. 157. P. 197–204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.046>.
- Wyon D. P. Indoor environmental effects on productivity // *Proc. IAQ 96. Paths to Better Building Environments*. Atlanta: ASHRAE, 1996. P. 5–15.

References

- Huseynova, M. V. 2019. Feasibility study of group estimation of thermal comfort using Fanger's theory applied to people with different working capabilities. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*, 26(4), pp. 60–64. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-4-60-64>. EDN: ZDDDSP. (In Russ.)
- Dudarev, A. A., Sotnikov, A. G. 2013. Microclimatic comfort and air distribution: A few steps towards. *Inzhenernye sistemy. AVOK Severo-zapad*, 1, pp. 16–23. (In Russ.)
- Leksin, A. G., Evlampieva, M. N., Mineeva, N. I., Timoshenkova, E. V. 2014. The use of PMV and PPD indicators to predict the assessment by metro passengers of the degree of thermal comfort or discomfort in various temperature conditions. *Gigiena i sanitariya*, 93, pp. 45–48. EDN: SJSXQZ. (In Russ.)
- Prorokova, M. V. 2017. Improving the efficiency of energy-saving measures taking into account the comfort of the microclimate. Ph.D. Thesis. Ivanovo. (In Russ.)
- Spiridonov, A. V., Shubin, I. L., Malyavina, E. G., Samarin, O. D. 2016. Monitoring and analysis of regulatory documents in construction in the field of indoor climate and protection from harmful influences. Part 2. Temperature and humidity conditions and indoor air quality. *BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki*, 5(981), pp. 20–26. EDN: VUZWGP. (In Russ.)
- Usmonov, S. Z. 2015. On the need to determine optimal parameters for room temperature in building regulations RT 23-02-2009 "Thermal protection of buildings" according to indices of thermal comfort PMV and PPD. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 1, pp. 54–57. EDN: TGOSDT. (In Russ.)

- Al Horr, Y., Arif, M., Katafygiotou, M., Mazroei, A. et al. 2016a. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), pp. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006>.
- Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A. et al. 2016b. Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature. *Building and Environment*, 105, pp. 369–389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>.
- Cox, C. 2005. HOPE: Health optimisation protocol for energy-efficient buildings: Pre-normative and socio-economic research to create healthy and energy-efficient buildings. Delft. DOI: 10.13140/RG.2.2.33658.80328.
- Fanger, P. O. 1970. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen.
- Fanger, P. O. 1973. Thermal Comfort. New York.
- Fisk, W. J. 2000. Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), pp. 537–566. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.537>.
- Frontczak, M., Wargocki, P. 2011. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, 46(4), pp. 922–937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>.
- Jia, L.-R., Han, J., Chen, X., Li, Q.-Y. et al. 2021. Interaction between thermal comfort, indoor air quality and ventilation energy consumption of educational buildings: A comprehensive review. *Buildings*, 11(12). Article number: 591. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings11120591>.
- Khan, N., Su, Y., Riffa, S. B. 2008. A review on wind driven ventilation techniques. *Energy and Buildings*, 40(8), pp. 1586–1604. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.015>.
- Mendell, M. J., Heath, G. A. 2005. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 15(1), pp. 27–52. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>.
- Oldewurtel, F., Sturzenegger, D., Morari, M. 2013. Importance of occupancy information for building climate control. *Applied Energy*, 101, pp. 521–532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.014>.
- Olesen, B. W. 2004. International standards for the indoor environment. *Indoor Air*, 14(S7), pp. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00268.x>.
- Paone, A., Bacher, J.-P. 2018. The impact of building occupant behavior on energy efficiency and methods to influence it: A review of the state of the art. *Energies*, 11(4). Article number: 953. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11040953>.
- Peng, C., Yan, D., Guo, S., Hu, S. et al. 2015. Building energy use in China: Ceiling and scenario. *Energy and Buildings*, 102, pp. 307–316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.049>.
- Šujanová, P., Rychtáriková, M., Mayor, T. S., Hyder, A. 2019. A healthy, energy-efficient and comfortable indoor environment, A review. *Energies*, 12(8). Article number: 1414. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12081414>.
- Wargockia, P., Porras-Salazara, J. A., Contreras-Espinoza, S. 2019. The relationship between classroom temperature and children's performance in school. *Building and Environment*, 157, pp. 197–204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.046>.
- Wyon, D. P. 1996. Indoor environmental effects on productivity. *Proc. IAQ 96. Paths to Better Building Environments*. Atlanta, pp. 5–15.

Сведения об авторах

Васильева Жанна Вячеславовна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: vasilevazhv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2254-1152>

Zhanna V. Vasileva – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: vasilevazhv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2254-1152>

Васильев Анатолий Геннадьевич – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский государственный технический университет, магистрант;
e-mail: a.g.vasiliev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5337-2009>

Anatoliy G. Vasilev – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Undergraduate Student; e-mail: a.g.vasiliev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5337-2009>

Кирдишова Елена Андреевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский государственный технический университет, мл. науч. сотрудник;
e-mail: kuchugura@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9049-4814>

Elena A. Kirdishova – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Junior Scientific Researcher; e-mail: kuchugura@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9049-4814>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Нормативные документы, использованные в статье

EN. Directive 2010/31/EU	Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. O. J. Eur. Union. 2010; 153:13–35. URL : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&rid=1 .
ГОСТ 30494-2011	Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200095053 .
ГОСТ Р 54964-2012	Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200095015 .
СП 60.13330.2020	Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003 (с Поправкой). URL: https://docs.cntd.ru/document/573697256 .
ГОСТ 12.1.005-88	Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением № 1). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200003608 .
СанПиН 1.2.3685-21	Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 .
ISO. EN ISO 7730: 2005	Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, International Standardisation Organisation, Geneva, 2005.
ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55	Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2017.
CEN. EN 15251:2007	Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, CEN, European Committee for Standardization, Brussels, 2007.
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 (утв. и введен в действие приказом Ростехрегулирования от 07.12.2009 № 573-ст). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200076557 ; а также доступ из справ.-правовых систем "Гарант" и "КонсультантПлюс".
ISO 7730:2005	Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. URL : https://ntm.ru/UserFiles/File/document/Microklimat/Norm/ISO_7730_2005.pdf ; https://www.iso.org/standard/39155.html .