УДК 628.87

Оценка микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий

В.В. Бухмиров, М.В. Пророкова
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: prorokova_mv@list.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Современные требования по сокращению потребления энергетических ресурсов при сохранении комфортных для человека условий в помещениях жилых, общественных и административных зданий ставят задачу разработки новых подходов к оценке комфортности микроклимата. Используемые в настоящее время методы оценки комфортности микроклимата не учитывают специфику вредностей, характерных для помещений непроизводственного назначения, и по этой причине внедрение энергосберегающих мероприятий может привести к нарушению условий комфортности в помещениях зданий. В связи с этим разработка методов и способов, позволяющих учесть влияние энергосберегающих мероприятий на микроклимат, является актуальной задачей.

Материалы и методы: Метод оценки комфортности микроклимата реализован в среде MathCad в виде программы с удобным для пользователя интерфейсом.

Результаты: Осуществлен расчет параметров, определяющих уровень теплового комфорта человека, с учетом поправок на асимметрию теплового излучения, радиационное охлаждение и качество воздушной среды. Разработан новый способ оценки уровня и степени комфортности человека в помещениях жилых, общественных и административных зданий на основе комплексного критерия, который отличается от известных одновременным учетом радиационного охлаждения, асимметрии радиационного излучения и содержания в воздухе углекислого газа. Приведен пример оценки уровня и степени комфортности учебной аудитории.

Выводы: Предложенный способ оценки комфортности микроклимата позволяет повысить точность расчета уровня комфортности за счет учета дополнительных параметров, включая анализ вредностей, характерных только для помещений жилых, общественных и административных зданий.

Ключевые слова: энергосбережение, потребление энергоресурсов, микроклимат, комфортность микроклимата, тепловой баланс человека.

Microclimate estimation in the rooms of residential, public and office buildings

V.V. Bukhmirov, M.V. Prorokova
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: prorokova_mv@list.ru

Abstract

Background: Contemporary requirements for the reduction of energy resources consumption with the retention of comfortable life conditions in residential, public and office buildings pose a problem of developing new approaches to the estimation of the comfort of microclimate. Since the methods currently used to evaluate microclimate comfort do not account for the specific character of the harmfulness characteristic of non-production premises, the conditions of comfort in the buildings can be disrupted by the introduction of energy-saving measures. Therefore, an urgent task is to develop methods and ways which can take into account the influence of energy-saving measures on the microclimate.

Materials and methods: The microclimate comfort evaluation method is implemented in the MathCad environment as a program with a user-friendly interface.

Results: Human thermal comfort level parameters have been calculated with an allowance for thermal radiation asymmetry, radiative cooling and air quality. A new method of evaluating the level and degree of human comfort in residential, public and office buildings has been developed based on a complex criterion which differs from the known ones by simultaneous account for radiative cooling, radiative cooling asymmetry and carbon dioxide content in the air. An example has been given of evaluating the level and degree of comfort in a classroom.

Conclusions: The suggested method of evaluating microclimate comfort makes it possible to increase the accuracy of comfort level estimation due to the calculation of additional parameters, such as types of harmfulness characteristic only of rooms in residential, public and office buildings.

Key words: energy-saving, consumption of energy resources, microclimate, microclimate comfort, human heat balance.

DOI: 10.17588/2072-2672.2015.4.005-010

Энергосбережение и энергоэффективность играют большую роль в создании энергетической безопасности как для ресурсодобывающих стран, так и для стран – потребителей

ТЭР, имеющих сравнительно небольшие собственные запасы органического топлива. Важность данной проблемы подтверждается включением ее в перечень приоритетных направле-

ний развития науки, техники и технологий, утвержденный Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. N 899. Однако реализация политики энергосбережения путем внедрения энергосберегающих мероприятий в непромышленной сфере (зданиях жилых, общественных и административных) довольно часто приводит к снижению степени комфортности микроклимата в помещении.

Как показывают результаты энергетических обследований зданий жилого, общественного и административного назначения, выполненных сотрудниками Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина (ИГЭУ), в структуре их энергопотребления большая часть приходится на тепловую энергию (рис. 1). По этой причине, а также с учетом высокой стоимости данного ресурса наиболее часто в зданиях внедряются энергосберегающие мероприятия, направленные на сокращение потребления тепловой энергии.

Рис. 1. Структура энергопотребления: а – общественные и административные здания; б – жилые здания; ГСМ – горюче-смазочные материалы; ПГ – природный газ; ГВС – горячее водоснабжение; ЭЭ – электроэнергия; ТЭ – тепловая энергия

Распределение тепловой энергии по направлениям использования приведено на рис. 2 [1].

Согласно исследованиям [1], здания, построенные в России до 1990 г. по типовым проектам, обладают значительным потенциалом в области энергосбережения, потому что в советский период проводилась политика «дешевых энергоносителей» и была недостаточно разработана научно-техническая документация по тепловой защите зданий в строительстве.

Рис. 2. Распределение тепловой энергии в зданиях и потенциал энергосбережения

Поскольку значительный потенциал энергосбережения заключается в модернизации ограждающих конструкций зданий (рис. 2), то наиболее целесообразным является внедрение энергосберегающих мероприятий, повышающих теплозащитные характеристики стен, окон и перекрытий здания. Утепление и герметизация зданий за счет наложения тепловой изоляции или замены отдельных элементов ограждающих конструкций естественно приводит к сокращению тепловых потерь и, как следствие, снижению требуемого количества теплоты для отопления. Однако при этом, как правило, в зданиях с естественной вентиляцией ухудшаются гигиенические условия пребывания людей вследствие изменения параметров микроклимата [2]. Следовательно, при решении проблемы повышения эффективности использования ТЭР необходимо учитывать уровень комфортности помещений.

В [3] показано, что существующие способы оценки комфортности микроклимата несовершенны, поскольку большинство из них применимы только для помещений производственных зданий и ограниченного диапазона параметров. По этой причине в ИГЭУ была поставлена и решена задача разработки более универсального способа определения комфортности микроклимата в помещениях зданий непромышленного назначения.

Предложено уровень комфортности рассчитывать по формуле

$$W = k_1 k_2 k_3 k_4, \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент теплового состояния человека, который изменяется от 1 (абсолютно комфортное состояние) до 0 (полное отсутствие комфорта) и может иметь положительное (при избытке теплоты) и отрицательное (при недостатке теплоты) значение; k_2 – коэффициент, учитывающий влияние на комфортность микроклимата радиационного охлаждения; k_3 – коэффициент, учитывающий влияние на комфортность микроклимата асимметрии теплового излучения; k_4 – коэффициент, учитывающий соответствие качества воздуха нормам, уста-

новленным ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Определение уровня комфортности включает ряд этапов.

На первом этапе необходимо установить преимущественный тип и характеристики работ, выполняемых в обследуемом помещении:

– метаболическую теплоту, отнесенную к 1 м² поверхности тела человека, q_{MT} , Вт/м²;

– коэффициент полезного действия механической работы η ;

– относительную скорость движения человека в неподвижном воздухе w_0 , м/с.

По справочным данным [4] определяют термическое сопротивление R_0 одежды людей, находящихся в помещении.

На втором этапе работ измеряют: температуру воздуха t_a ; относительную влажность воздуха φ ; температуру поверхности одежды и/или температуру открытых участков кожи человека t_{co} ; подвижность воздуха w ; температуру ограждающих поверхностей $t_{p,i}$; концентрацию двуокиси углерода (СО₂) в воздухе обследуемого помещения C_n и в наружном воздухе C_o . Затем выбирают максимальную $t_{p,max}$ и минимальную $t_{p,min}$ температуры ограждающих поверхностей помещения.

На третьем этапе расчета уровня комфортности находят составляющие уравнения теплового баланса человека по методике, предложенной в [4, 5, 6].

Тепловой поток, уходящий с поверхности тела человека, рассчитывают по формуле

$$q_n = q_{TP} - q_{ДП} - q_{ИП} - q_{ДС} - q_{ДЯ}, \quad (2)$$

где q_{TP} – внутренняя теплопродукция тела человека, Вт/м²; $q_{ДП}$ – теплопотери через кожу за счет диффузии паров, Вт/м²; $q_{ИП}$ – потери теплоты с поверхности кожи при испарении влаги, Вт/м²; $q_{ДС}$ – скрытые потери теплоты при дыхании, Вт/м²; $q_{ДЯ}$ – явные потери теплоты при дыхании, Вт/м².

Внутреннюю теплопродукцию тела человека вычисляют по формуле

$$q_{TP} = q_{MT}(1 - \eta), \quad (3)$$

где q_{MT} – метаболическая теплота (энергия процесса окисления, происходящего в теле человека), отнесенная к единице поверхности тела человека, Вт/м²; η – коэффициент полезного действия механической работы.

Потери теплоты через кожу человека за счет процесса диффузии паров $q_{ДП}$ составляют

$$q_{ДП} = 0,41(1,92t_k - 25,3 - p_b), \quad (4)$$

где t_k – температура кожи человека:

$$t_k = 35,7 - 0,032q_{TP} = 35,7 - 0,032q_{MT}(1 - \eta), \quad (5)$$

p_b – парциальное давление водяных паров во влажном воздухе, мм рт. ст.:

$$p_b = 0,01\varphi(0,305t_b^2 - 0,1027t_b + 7,3596). \quad (6)$$

Количество теплоты, затрачиваемое на испарение жидкости с поверхности тела человека, рассчитывают по выражению

$$q_{ИП} = 0,49(q_{MT}(1 - \eta) - 50). \quad (7)$$

Скрытую и явную теплоту, выделяемую в процессе дыхания, вычисляют по следующим формулам:

$$q_{ДС} = 0,0027q_{MT}(44 - p_b); \quad (8)$$

$$q_{ДЯ} = 0,0014q_{MT}(34 - t_b). \quad (9)$$

Тепловой поток, фактически удаляемый с поверхности тела человека, равен

$$q_\Phi = q_n + q_k, \quad (10)$$

где q_n – потери теплоты излучением с поверхности одежды и непокрытой одеждой поверхности тела человека, Вт/м²; q_k – потери теплоты конвекцией, Вт/м².

Лучистый тепловой поток, уходящий с поверхности тела человека, рассчитывают по формуле

$$q_n = \varepsilon\sigma\beta\left[(t_o + 273)^4 - (t_{p,o} + 273)^4\right], \quad (11)$$

где ε – интегральная степень черноты излучающей поверхности тела человека; σ – постоянная Стефана-Больцмана; β – коэффициент эффективно излучающей поверхности; $t_{p,o}$ – средняя радиационная температура помещения, которую для приближенных расчетов принимают на 2 °С ниже температуры воздуха в помещении.

Конвективный тепловой поток, уходящий с поверхности тела человека, по экспериментальным данным составляет [4]:

– в неподвижном воздухе

$$q_k = 2,4(t_o - t_b)^{1,25}; \quad (12)$$

– при вынужденной конвекции и $0,1 < w < 2,6$ м/с

$$q_k = 12,1\sqrt{w + w_0}(t_o - t_b). \quad (13)$$

Зная тепловой поток, генерируемый человеком при данном типе работ (q_n), и фактические потери с поверхности его тела при заданных параметрах микроклимата (q_Φ), рассчитывают коэффициент теплового состояния человека:

$$k_1 = (-1)^n \left[1 - \frac{|q_n - q_\Phi|}{q_n} \right], \quad (14)$$

где $n = 1$ при $q_n < q_\Phi$ и $n = 2$ при $q_n \geq q_\Phi$.

Для учета влияния радиационного охлаждения на уровень комфортности в расчет вводят коэффициент k_2 . При соблюдении в помещении оптимальных температуры, влажности и подвижности воздуха, установленных ГОСТ-30494 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», ощущение комфортности теряется при наличии дополнительных тепловых потерь излучением с поверхности тела человека при низкой температуре ограждающих поверхностей.

Для определения коэффициента k_2 рассчитывают лучистый тепловой поток, уходящий с поверхности тела человека на самую холодную поверхность помещения:

$$q_{n,m} = \varepsilon \sigma \varphi_{T-P} \left[(t_o + 273)^4 - (t_{p,min} + 273)^4 \right], \quad (15)$$

где φ_{T-P} – угловой коэффициент излучения с поверхности тела человека на наиболее холодную ограждающую поверхность.

Зная лучистый тепловой поток $q_{n,m}$, определяем коэффициент k_2 :

- при $t_b - t_{p,min} \leq 2$
- $k_2 = 1$;
- при $t_b - t_{p,min} > 2$

$$k_2 = \frac{q_n - q_{n,m}}{q_n}. \quad (16)$$

Влияние асимметрии радиационного излучения на комфортное состояние человека в помещении учитывают коэффициентом k_3 , так как наличие нагретых или охлажденных поверхностей в помещении отрицательно воздействует на человека. Теоретические и экспериментальные исследования [4, 5] показывают, что данное влияние может быть значительным.

Для определения коэффициента k_3 рассчитывают разность температур наиболее теплой и наиболее холодной поверхностей помещения:

$$\Delta t_a = t_{p,max} - t_{p,min}. \quad (17)$$

Коэффициент асимметрии радиационных потоков равен:

- при $\Delta t_a \leq 3,9 + 1,8R_0$
- $k_3 = 1$;
- при $\Delta t_a > 3,9 + 1,8R_0$

$$k_3 = 1 - 0,01(0,17\Delta t_a^2 + 0,72\Delta t_a - 2,12). \quad (19)$$

Поскольку качество воздуха оказывает влияние на самочувствие и работоспособность человека, в расчет вводят коэффициент k_4 , который рассчитывают по значению избыточной концентрации CO_2 в помещении:

$$C = C_n - C_o. \quad (20)$$

Показатель качества воздушной среды k_4 равен:

- при $C \leq 400$
- $k_4 = 1$;
- при $C > 400$

$$k_4 = -0,00045C + 1,18, \quad (22)$$

где $C = 400$ ppm является верхним пределом концентрации углекислого газа для признания качества воздуха высоким при соблюдении оптимальных условий по ГОСТ-30494.

Рассчитав коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 и k_4 , находят интегральный показатель микроклимата – уровень комфортности микроклимата по формуле (1). Каждому численному значению уровня комфортности соответствует субъективное ощущение комфорта у людей. В таблице приведена примерная оценка ощущения степени комфортности «среднестатистическим» человеком в зависимости от уровня комфортности, полученная по результатам опроса.

Степень комфортности микроклимата

Уровень комфортности	Степень комфортности
0 ÷ -0,30	холодно, дискомфорт
-0,30 ÷ -0,65	прохладно, легкий дискомфорт
-0,65 ÷ -1	прохладно, но комфортно
±1	комфорт
0,65 ÷ 1	тепло, но комфортно
0,30 ÷ 0,65	тепло, легкий дискомфорт
0 ÷ 0,30	жарко, дискомфорт

Рассмотрим пример определения степени комфортности микроклимата в теплый период года для студентов в учебной аудитории при следующих исходных данных:

- метаболическая теплота, характерная для данного типа работ, $q_{MT} = 93$ Вт/м² [4];
- КПД механической работы, выполняемой студентами, $\eta = 0$ [4];
- относительная скорость перемещения студентов в неподвижном воздухе $w_0 = 0$ м/с [4];
- присутствующие в помещении учащиеся одеты в легкие брюки и рубашки с коротким рукавом, для которых ориентировочное сопротивление теплопередаче одежды $R_0 = 0,5$ кло [4];
- параметры микроклимата (экспериментальные значения): $t_b = 24$ °C; $\varphi = 15$ %; $t_o = 29$ °C; $w = 0,05$ м/с; $t_{p,min} = 14$ °C, $t_{p,max} = 20$ °C; $C_n = 350$ ppm; $C_o = 30$ ppm.

Внутреннюю теплопродукцию тела человека рассчитываем по формуле (3):

$$q_{TP} = q_{MT}(1 - \eta) = 93(1 - 0) = 93 \text{ Вт/м}^2.$$

Температуру кожного покрова человека рассчитываем по формуле (5):

$$t_k = 35,7 - 0,032q_{TP} = 35,7 - 0,032 \cdot 93 = 32,7 \text{ °C}.$$

Парциальное давление водяных паров во влажном воздухе находим по формуле (6):

$$p_b = 0,01\varphi(0,305t_b^2 - 0,1027t_b + 7,3596) = \\ = 0,01 \cdot 15(0,305 \cdot 24^2 - 0,1027 \cdot 24 + 7,3596) = \\ = 27,1 \text{ мм рт. ст.}$$

Потери теплоты через кожу человека за счет диффузии паров составляют (по формуле (4))

$$q_{дп} = 0,41(1,92t_k - 25,3 - p_b) = 0,41(1,92 \cdot 32,7 - \\ - 25,3 - 27,1) = 4,3 \text{ Вт/м}^2.$$

Количество теплоты, затрачиваемое на испарение жидкости с поверхности тела человека, определяем по формуле (7):

$$q_{ип} = 0,49(q_{мт}(1 - \eta) - 50) = 0,49(93(1 - 0) - 50) = \\ = 21 \text{ Вт/м}^2.$$

Скрытая теплота, выделяемая в процессе дыхания, составляет (по формуле (8))

$$q_{дс} = 0,0027q_{мт}(44 - p_b) = 0,0027 \cdot 93(44 - 27,1) = \\ = 4,2 \text{ Вт/м}^2.$$

Явную теплоту, выделяемую в процессе дыхания, рассчитываем по формуле (9):

$$q_{дя} = 0,0014q_{мт}(34 - t_g) = 0,0014 \cdot 93(34 - 24) = \\ = 1,3 \text{ Вт/м}^2.$$

Тепловой поток, который необходимо удалять излучением и конвекцией с поверхности тела человека для обеспечения его комфортного теплового состояния, рассчитываем по формуле (2):

$$q_n = q_{тп} - q_{дп} - q_{ип} - q_{дс} - q_{дя} = \\ = 93 - 4,3 - 21,1 - 4,2 - 1,3 = 62,1 \text{ Вт/м}^2.$$

Лучистый тепловой поток, уходящий с поверхности тела человека, находим по формуле (11):

$$q_n = \varepsilon\sigma\beta\left[(t_o + 273)^4 - (t_{p,o} + 273)^4\right] = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \times \\ \times 0,8\left[(29 + 273)^4 - (22 + 273)^4\right] = 27 \text{ Вт/м}^2.$$

где средняя радиационная температура помещения составляет

$$t_{p,o} = t_b - 2 = 22 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Конвективный тепловой поток, уходящий с поверхности тела человека, рассчитываем по формуле (13):

$$q_k = 12,1\sqrt{w + w_0}(t_o - t_b) = 12,1\sqrt{0,05 + 0}(29 - 24) = \\ = 13,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Тепловой поток, уходящий с поверхности тела человека, составляет (по формуле (10))

$$q_{ф} = q_n + q_k = 27 + 13,5 = 40,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Рассчитав тепловые потоки $q_{ф}$ и q_n , находим значение коэффициента теплового состояния человека k_1 :

$$k_1 = (-1)^n \left[1 - \frac{|q_n - q_{ф}|}{q_n} \right] = \\ = (-1)^2 \left[1 - \frac{|62,1 - 40,5|}{62,1} \right] = 0,65.$$

Далее находим коэффициент учета радиационного охлаждения человека. Для этого рассчитываем лучистый тепловой поток, поступающий на самую холодную ограждающую поверхность помещения от поверхности тела человека по формуле (16):

$$q_{n,m} = \varepsilon\sigma\beta\varphi_{т-р}\left[(t_o + 273)^4 - (t_{p,min} + 273)^4\right] = \\ = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,8 \cdot 0,17 \times \\ \times \left[(29 + 273)^4 - (14 + 273)^4\right] = 9,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Поскольку $t_b - t_{p,min} > 2$, коэффициент k_2 рассчитываем по формуле (16):

$$k_2 = \frac{q_n - q_{n,m}}{q_n} = \frac{62,1 - 9,5}{62,1} = 0,85.$$

Для учета асимметрии радиационного излучения рассчитываем максимальную разность температур ограждающих поверхностей по формуле (17):

$$\Delta t_a = t_{p,max} - t_{p,min} = 20 - 14 = 6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

При

$$\Delta t_a > 3,9 + 1,8R_0 = 3,9 + 1,8 \cdot 0,5 = 4,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

по формуле (19) находим значение коэффициента k_3 :

$$k_3 = 1 - 0,01(0,17\Delta t_a^2 + 0,72\Delta t_a - 2,12) = \\ = 1 - 0,01(0,17 \cdot 6^2 + 0,72 \cdot 6 - 2,12) = 0,92.$$

Для определения коэффициента качества воздушной среды k_4 рассчитываем избыточную концентрацию CO_2 в помещении по формуле (20):

$$C = C_n - C_o = 350 - 30 = 320 \text{ ppm}.$$

Согласно условию (21), при $C \leq 400$ $k_4 = 1$.

На последнем этапе расчета находим уровень комфортности микроклимата W по формуле (1) и делаем вывод о степени комфортности микроклимата:

$$W = k_1 k_2 k_3 k_4 = 0,65 \cdot 0,85 \cdot 0,92 \cdot 1 = 0,51.$$

Согласно данным таблицы, уровень комфортности в студенческой аудитории, равный $W = 0,51$, соответствует состоянию чело-

века, которое можно оценить как «тепло, легкий дискомфорт».

Предложенная методика определения уровня комфортности микроклимата реализован в среде MathCad в виде программы «Определение уровня и степени комфортности микроклимата помещений». Данная программа путем сканирования вариантов позволяет выполнять анализ энергосберегающих мероприятий для жилых, общественных и административных зданий. При этом в качестве целевой функции принимают требуемый (заданный) уровень комфортности микроклимата. Ограничением использования предложенного способа являются нормы, установленные ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Заключение

Предложенный метод оценки комфортности помещений зданий непроизводственного назначения может быть использован при оценке целесообразности внедрения энергосберегающих мероприятий, а также при проектировании и настройке систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Список литературы

1. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения; под ред. Н.И. Данилова. – Екатеринбург: ГУСО «Институт энергосбережения», 2008. – 526 с.
2. Шилкин Н.В. Как экономить энергию жителям многоквартирных домов / Энергосбережение. – 2012. – № 4. – М.: ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС», 2013. – С. 30–39.
3. Бухмиров В.В., Пророкова М.В. Оценка комфортности микроклимата: тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2014». – Иваново, 2014. – Т. 1, ч. 2. – С. 51–54.

Бухмиров Вячеслав Викторович,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теоретических основ теплотехники,
телефон (4932) 26-97-78,
e-mail: buhmirov@tot.ispu.ru

Пророкова Мария Владимировна,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры теоретических основ теплотехники,
телефон (4932) 26-97-36,
e-mail: prporokova_mv@list.ru

4. Мачкаши А., Банхиди Л. Лучистое отопление / пер. с венг. В.М. Беляева. – М.: Стройиздат, 1985. – 464 с.

5. Olesen B.W. Information paper on EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. P. 114 // Energy Performance of Buildings. – CENSE, 2010. – P. 1–7.

6. Гетия С.И., Кочетов О.С., Стареева М.О. Расчет оптимальных параметров микроклимата рабочей зоны / Вестник МГУПИ. – 2013. – № 5. – С. 84–92.

References

1. Danilov, N.I., Shchelokov, Ya.M. *Osnovy energosberezheniya* [Basics of energy-saving]. Ekaterinburg, GUSO «Institut energosberezheniya», 2008. 526 p.
2. Shilkin, N.V. *Kak ekonomit' energiyu zhitelyam mnogokvartirnykh domov* [How can residents of blocks of flats save energy]. Energosberezhenie, 2012, no. 4; Moscow, ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС», 2013, pp. 30–39.
3. Bukhmirov, V.V., Prorokova, M.V. *Otsenka komfortnosti mikroklimata* [Evaluation of microclimate comfort]. *Tezisy dokladov IX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Energiya-2014»* [Abstracts of the IXth International scientific and technical conference of undergraduates, postgraduates and young scientists «Energy-2014»]. Ivanovo, 2014, vol. 1, part 2, pp. 51–54.
4. Machkashi, A., Bankhidi, L. *Luchistoe otoplenie* [Radiant heating]. Moscow, Stroyizdat, 1985. 464 p.
5. Olesen, B.W. Information paper on EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. P. 114. Energy Performance of Buildings. CENSE, 2010, pp. 1–7.
6. Getiya, S.I., Kochetov, O.S., Stareeva, M.O. *Raschet optimal'nykh parametrov mikroklimata rabochey zony* [Calculation of optimal parameters of working area microclimate]. *Vestnik MGUPI*, 2013, no. 5, pp. 84–92.