

УДК 628.8

**ДВУХКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД
КОНТРОЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

**TWO CRITERIA PARAMETRIC METHOD FOR CONTROL
OF OPTIMUM INDOOR TEMPERATURE
IN INDYSTRIAL ROOMS**

Джавадов Н.Г., Исмаилов К.Х., Гусейнова М.В.

ПО «Промавтоматика», г. Баку, Азербайджанская Республика

Национальная Академия Авиации,

г. Баку. Азербайджанская Республика

Азербайджанский технический университет,

г. Баку, Азербайджанская Республика

N.H. Djavadov, K.Kh. Ismailov, M.V. Huseynova

Promavtomatica PO, Baku, Republic of Azerbaijan

National Academy of Aviation, Baku, Republic of Azerbaijan

Azerbaijan Technical University, Baku, Republic of Azerbaijan

m.v.huseynova@gmail.com

Аннотация. Понятие «комфортная температура» связано с адаптивной реакцией людей на многие факторы, такие как температура внешней среды, влажность воздуха и т.д. Согласно результатам экспериментальных исследований, изложенным в данной работе, комфортная температура имеет тенденцию роста при повышении температуры внешней среды, начиная от 0 °С в сторону как повышения, так и понижения температуры. На температурные условия микроклимата замкнутых помещений оказывают влияние как внутренние, так и внешние факторы. При этом

внешним фактором является солнечное излучение, а внутренними факторами является теплообмен через стены, двери и окна помещения.

Наиболее простой критерий комфорта в производственных помещениях обладает двумя существенными недостатками: 1. не учитывается влияние влажности на условие комфортности микроклимата в помещении; 2. не учитывается ряд объективных показателей, которые также по предназначению определяют условия комфортности в производственных помещениях.

Авторами предложен новый двухкритериальный параметрический метод контроля оптимальной температуры в производственных помещениях. В качестве базовых критериев использован известный индекс дискомфорта и пороговый критерий контроля комфортной температуры. Предлагаемый двухкритериальный метод контроля позволяет выработать новый критерий для установки комфортной температуры в производственных помещениях. Получено общее условие, позволяющее вычислить оптимальную температуру в помещении с учетом трех основных метеорологических показателей. В отличие от известного метода для вычисления комфортной температуры на базе трех параметров предлагаемый метод позволяет вычислить этот показатель с учетом пороговых величин вариаций температуры внутри помещения. При этом учитываются такие параметры, как температура внешней среды, задаваемая величина индекса дискомфорта и влажность внешней среды. Расширение базы исходно учитываемых метеорологических показателей позволяет осуществить более объективный контроль оптимальной температуры внутри помещения.

Abstract. The concept of «comfortable temperature» is associated with the adaptive response of people to many factors, such as ambient temperature, air humidity, etc. According to the results of experimental studies described in this paper, a comfortable temperature tends to increase with increasing ambient temperature, ranging from 0 °C in the direction of both increasing and

decreasing temperatures. The temperature conditions of the microclimate of closed rooms are influenced by both internal and external factors. In this case, the external factor is solar radiation, and internal factors are heat exchange through the walls, doors and windows of the room.

The simplest criterion of comfort in industrial premises has two significant drawbacks: 1. the effect of humidity on the comfort condition of the indoor microclimate is not taken into account; 2. a number of objective indicators are not taken into account, which also determine the conditions of comfort in the production premises.

The authors proposed a new two-criterion parametric method for controlling the optimal temperature in industrial premises. The well-known discomfort index and the threshold criterion for controlling a comfortable temperature were used as basic criteria. The proposed two-criterion control method allows us to develop a new criterion for setting a comfortable temperature in industrial premises. A general condition has been obtained which makes it possible to calculate the optimum temperature in the room, taking into account the three main meteorological indicators. In contrast to the well-known method for calculating a comfortable temperature on the basis of three parameters, the proposed method allows to calculate this indicator taking into account the threshold values of variations in temperature inside the room. This takes into account such parameters as the ambient temperature, the specified value of the discomfort index and the humidity of the external environment. The expansion of the initially base considered meteorological indicators allows for a more objective control of the optimum temperature inside the room.

The suggested two criteria parametric method for control of indoor optimum temperature in industrial rooms is described. The suggested two criteria method make it possible to develop the new criterion for indoor comfort temperature estimation. The operational algorithm and the chart diagram of the microclimatic system for close type premises are developed.

Ключевые слова: температура воздуха, критерий, теплообмен, перенос тепла, метеорологические показатели.

Key words: air temperature, criterion, heat change, heat transfer, meteorological parameter.

Как отмечается в работе [1], понятие «комфортная температура» связано с адаптивной реакцией людей на многие факторы, такие как температура внешней среды, влажность воздуха и т.д. Согласно результатам экспериментальных исследований, изложенным в данной работе, комфортная температура имеет тенденцию роста при повышении температуры внешней среды, начиная от 0 °С в сторону как повышения, так и понижения температуры. Согласно [2-6], стандарты температурного комфорта, разработанные для механически проветриваемых помещений, не могут быть применены к естественно проветриваемым помещениям, т.к. температурные и влажностные условия окружающей среды приводят к различному восприятию людьми условий температурного комфорта. Как отмечается в работах [3, 7], требуемая температура в производственных помещениях не является фиксированной величиной, и с экономической точки зрения целесообразно, чтобы системы обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха обеспечивали такую температуру в зоне комфортных температур, при которой расходы на функционирование указанных систем были бы минимальными. Согласно [4, 8], температурные условия комфорта различны для холодного и теплого периодов года. В работе [4] приведено уравнение теплового комфорта, где вычисление комфортной температуры осуществляется с учетом параметров микроклимата, одежды человека и характера выполняемой физической работы. При этом степень теплового дискомфорта может быть оценена по шкале PMV (ожидаемых значений теплоощущения) с использованием эмпирического уравнения П.О. Фангера. Как указывается

в [5, 9], PMV позволяет определить реакцию человека на тепловой комфорт и определяется с учетом таких показателей, как разница между производимым внутренним теплом человека и потерями в окружающую среду и показателем обмена веществ, характеризующим тепловыделение в зависимости от двигательной активности людей. Согласно работе [10], на температурные условия микроклимата замкнутых помещений оказывают влияние как внутренние, так и внешние факторы. При этом внешним фактором является солнечное излучение, а внутренними факторами является теплообмен через стены, двери и окна помещения.

Наиболее простой критерий комфорта в производственных помещениях может быть определен как [11]:

$$T_c - 2^{\circ}\text{C} < T_{in} < T_c + 2^{\circ}\text{C} , \quad (1)$$

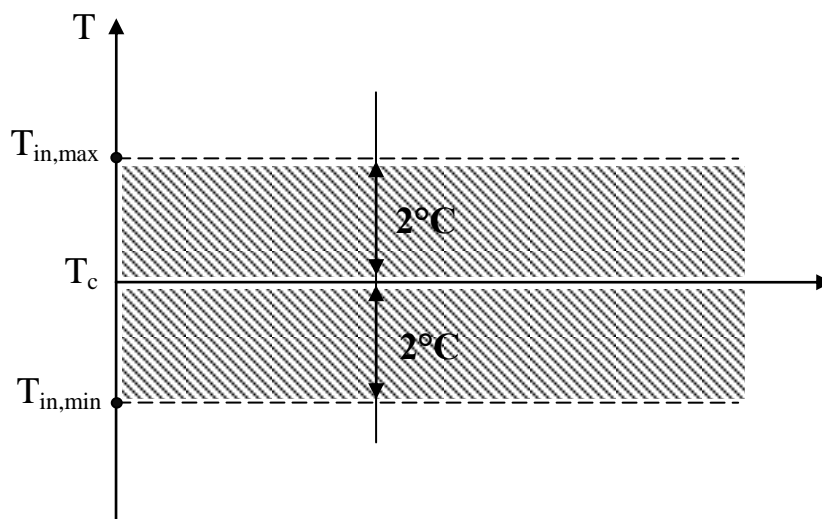
где T_c – комфортная температура;

T_{in} – текущая температура в помещении с учетом температуры стен, т.к. конвективный и радиационный механизм переноса тепла влияют на условия комфорта.

Иллюстрация критерия (1) показана на рисунке 1.

Вместе с тем, при всей простоте и привлекательности критерия (1) такое определение условия комфортности обладает *двумя существенными недостатками*:

1. не учитывается влияние влажности на условие комфортности микроклимата в помещении;
2. не учитывается ряд объективных показателей, которые также по назначению определяют условия комфортности в производственных помещениях.



$T_{in,max}$ – максимально допустимое значение температуры помещения;

$T_{in,min}$ – минимально допустимое значение температуры помещения

Рисунок 1. Графическая иллюстрация критерия (1)

Далее, в настоящей статье предлагается *новый двухкритериальный параметрический метод*, позволяющий выработать соответствующий критерий для контроля оптимальной температуры в производственных помещениях, учитывающий как рекомендуемые значения известных критериев и показателей, так и значения ряда внешних и внутренних факторов.

Рассмотрим теоретические основы формирования предлагаемого критерия. В качестве базового воспользуемся Индексом Дискомфорта, предложенного в качестве соответствующего критерия в работе [12], исследованного экспериментально по признаку частотности отключений кондиционеров воздуха за определенный период времени и ограничения выходной мощности инвертора компрессора для предотвращения переохлаждения или перегрева. Согласно [12], в системах микроклимата, включающих несколько кондиционеров воздуха, такие возможности предусматриваются. Однако в системах с одним кондиционером возможно только принудительное отключение по температурному признаку, и ограничение выходной мощности здесь реализуется по критерию Индекса

Дискомфорта (DI), вычисляемому по данным метеопрогнозов температуры и влажности на текущий день по уравнению

$$DI = a_1 \cdot T_0 + W_0(a_2T - a_3) + a_4, \quad (2)$$

где $a_1 = 0,81$;

$$a_2 = 0,99;$$

$$a_3 = 14,3;$$

$$a_4 = 46,3;$$

T_0 – температура внешней среды;

W_0 – влажность внешней среды;

T – температура в помещении.

Экспериментальные исследования, проведенные в [12], показали, что максимальный дискомфорт появляется при экстремально низких и высоких значениях DI . Согласно данным, приведенным в работе [12], при $DI < 38$ и при $DI > 80$ кондиционеры почти не отключались, а при $48 < DI < 71$ процент периода времени отключения в течение часа составлял 4 %.

Указанный факт показывает, что показатель DI может быть использован в качестве *критерия контроля комфортности микроклимата в производственном помещении*.

Как отмечается в работе [10], крайне высокие и крайне низкие значения относительной влажности воздуха приводят к состоянию дискомфорта, что графически отображено на рисунке 2.

Для определения конкретной формы предлагаемого критерия воспользуемся выражениями (1) и (2).

Предлагаемый критерий и метод контроля комфортной температуры базируются на известных критериях (1) и (2). Из выражения (2) находим

$$T = \frac{DI - a_1T_0 - a_4}{W_0} + \frac{a_3}{a_2} \quad (3)$$

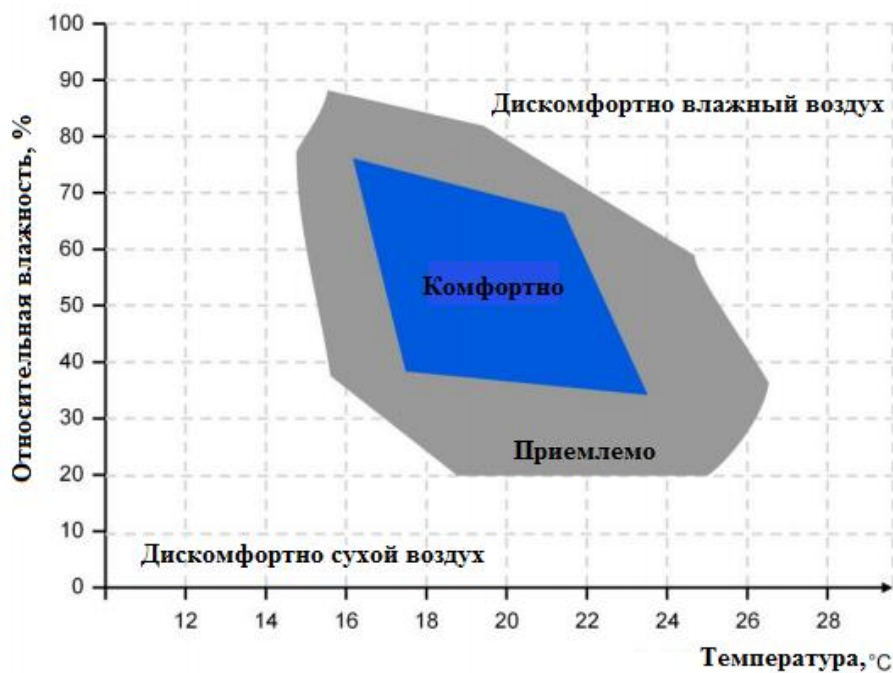


Рисунок 2. Обозначение комфортной зоны в двумерном пространстве $\{T^{\circ}, RH\}$ [1]

С учетом выражения (1) и (3) получим

$$T_c - 2^{\circ}C < \frac{DI - a_1 T_0 - a_4}{W_0} + \frac{a_3}{a_2} < T_c + 2^{\circ}C . \quad (4)$$

Предлагаемый метод контроля оптимальной температуры в производственных помещениях базируется на условии (4) и может быть изложен в виде нижеуказанной алгоритмической последовательности следующих выполняемых шагов.

1. Задаются значения T_c и DI .
2. Осуществляются измерения T_0 и W_0 вне помещения.
3. Осуществляется проверка условия (4).

4а. Если условие (4) не выполняется, то включается система обогрева и увлажнения, работа которой приводит к изменению T_0 и W_0 . При циклическом парафазном (противоположном) изменении T_0 и W_0 в конце каждого цикла проверяется выполнение условия (4). Цикл изменения T_0 и W_0 воздуха, подаваемого в производственное помещение, прекращается при выполнении условия (4).

4б. При выполнении условия (4) операции обогрева и увлажнения прекращаются.

Блок-схема алгоритма реализации предлагаемого метода показана на рисунке 3.

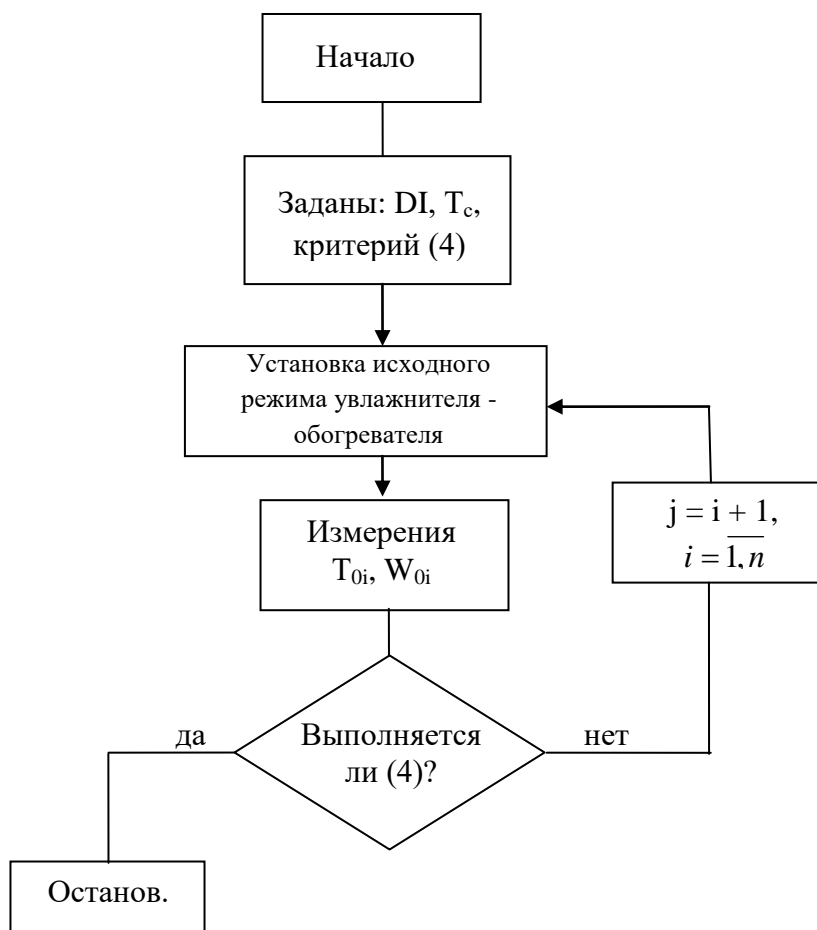


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма реализации предлагаемого двухкритериального метода определения комфортной температуры в производственном помещении

Блок-схема системы контроля микроклимата в производственных помещениях, где реализован предлагаемый метод, показана на рисунке 4.

Система работает следующим образом. Исходные данные, такие как DI и T_c заносятся в память системы управления. Проводятся измерения показателей T_0 и W_0 на выходе обогревателя-увлажнителя, работающего в исходно заданном режиме. Также измеряется температура в помещении. В случае выполнения условия (4) режимные изменения в системе не

производятся. При невыполнении условия (4) работа системы осуществляется в соответствии с алгоритмом, показанным на рис. 3, т.е. параметры T_0 и W_0 циклически изменяются до тех пор, пока не выполнится условие (4).

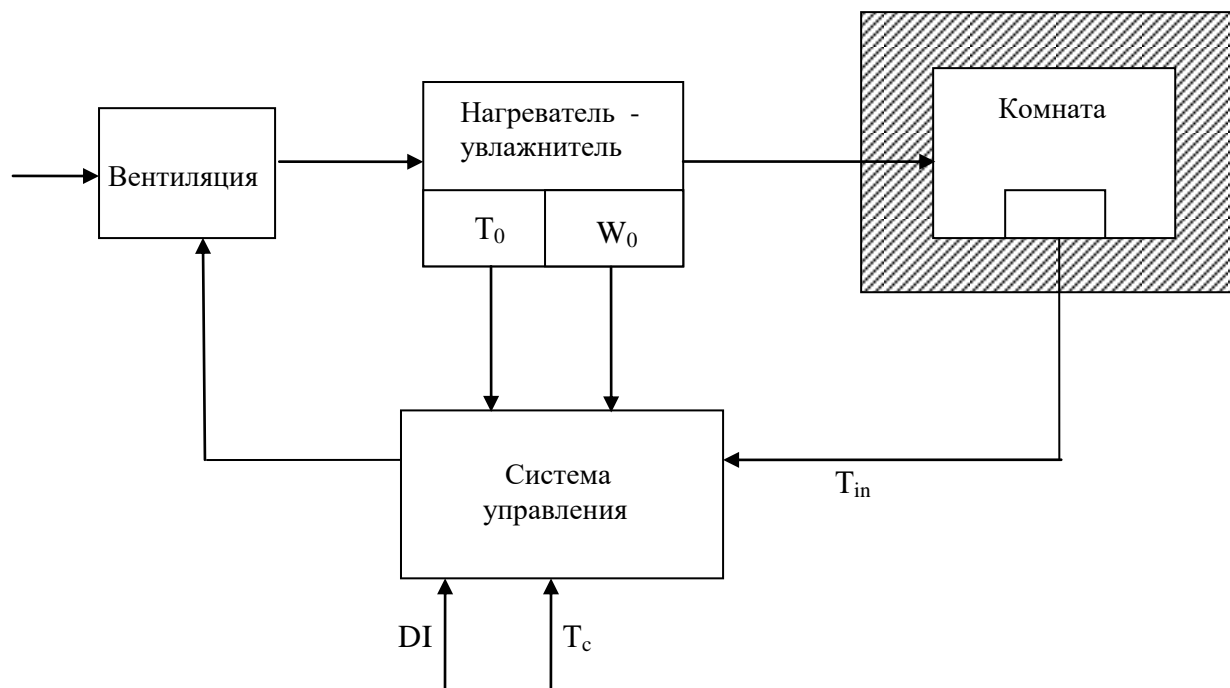


Рисунок 4. Блок-схема системы обеспечения микроклимата в производственном помещении по предлагаемому двухкритериальному методу

Таким образом, предлагаемый критерий позволяет совместить *два подхода к контролю* комфортной температуры в производственных помещениях. Согласно *первому подходу*, жестко устанавливается комфортная температура для конкретного помещения и определяется зона допуска, позволительная для установки рабочей температуры в помещении. Согласно *второму подходу*, оптимальная температура внутри помещения T_{opt} является функцией таких показателей как DI , W_0 , T_0 , т.е.

$$T_{opt} = f(DI, W_0, T_0) . \quad (5)$$

Приняв

$$T_{opt} = T_{in} . \quad (6)$$

С учетом (1), (5), (6) получим

$$T_c - 2^\circ\text{C} < f(DI, W_0, T_0) < T_c + 2^\circ\text{C} \quad (7)$$

или

$$|f(DI, W_0, T_0) - T_c| < 2^\circ\text{C} . \quad (8)$$

Таким образом, как видно из выражения (8), предлагаемый критерий контроля определяет конкретные пути выполнения критерия (1), заключающиеся в различных вариациях таких показателей как DI , W_0 и T_0 .

Выводы

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования:

1. Предложен двухкритериальный комбинированный метод контроля оптимальной температуры в производственных помещениях.
2. Разработан операционный алгоритм реализации предложенного метода.
3. Разработана блок-схема системы контроля микроклимата в производственном помещении.

Список используемых источников

1. Nicol J.F., Humphreys M.A. Adaptive Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. <https://pdfs.semanticscholar.org/346a/9f17076b728357t679e6c7e2216cd9681e16.pdf>.
2. Feriadi H., Wong N.H., Chandra S., Cheong K.W., Tham K.W. Redefining Appropriate Thermal Comfort Standard for Naturally Ventilated Buildings in Tropics (Singapore and Indonesia Perspective). <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7768.pdf>.

3. Дмитриев В.М., Сергеева Е.А., Тарова Л.С., Михайлов В.Б., Бояршинов А.В. Производственный микроклимат (оценка и прогнозирование воздействия): метод. указ. Тамбов: Изд-во Тамб гос. тех. ун-та, 2003. Ч. 1. 32 с.

4. Lute P., Paassen D.V. Optimal Indoor Temperature Control Using a Predictor. <http://pdfs.semanticscholar.org/7d8e/0736e6c555eadd1125cfeca949b5c3381d4d.pdf>.

5. Индексы теплового комфорта: учеб.-метод. пособие / А.Б. Сулин, Т.В. Рябова, А.К. Рубцов, А.А. Никитин; под ред. А.Б. Сулина и Т.В. Рябовой. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 36 с.

6. Дорофеев В.Н. Теоретические основы создания микроклимата в помещении: учеб. электрон. изд. Владимир, 2016. <http://e.lib.visu.ru/bitstream/123456789/5545/1/00670.pdf>.

7. Олесен Б.В. Критерии теплового комфорта при проектировании систем отопления. https://www.abok.ru/for_spec/aeticles.php?nid=4355.

8. Нагорная А.Н. Применение CFD-программ для исследования тепловых и воздушных режимов помещений. <http://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/oooq.74/4416/30.pdf?sequence=1>.

9. Hoof J.V., Mazej M., Hensen J.L.M. Thermal Comfort: Research and Practice. *Frontiers in Bioscience*. 2010. Vol. 15. P. 765-788.

10. Heating/Ventilation/Air Conditioning. Room Climate Control with ABB i-bus KNX. library.e.abb.com/.../2CDC500070M0201.pdf.

11. Favre B., Peuportier B. Optimization of Building Control Strategies Using Dynamic Programming for Building Simulation // *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Chambéry, France, August 26-28. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2170.pdf.

12. Wang F., Yoshida H., Li B., Umemiya N., Hashimoto S., Matsuda T., Shinbayashi H. Evaluation and Optimization of Air-Conditioner Energy Saving Control Considering Indoor Thermal Comfort // Building Simulation 2009, Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0088_95.pdf.

References

1. Nicol J.F., Humphreys M.A. *Adaptive Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings*. <https://pdfs.semanticscholar.org/346a/9f17076b728357t679e6c7e2216cd9681e16.pdf>.

2. Feriadi H., Wong N.H., Chandra S., Cheong K.W., Tham K.W. *Redefining Appropriate Thermal Comfort Standard for Naturally Ventilated Buildings in Tropics (Singapore and Indonesia Perspective)*. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7768.pdf>.

3. Dmitriev V.M., Sergeeva E.A., Tarova L.S., Mikhailov V.B., Boyarshinov A.V. *Proizvodstvennyi mikroklimat (otsenka i prognozirovaniye vozdeistviya): metod. ukaz.* [Industrial Microclimate (Assessment and Prediction of Impact): Guidelines]. Tambov, Izd-vo Tamb gos. tekhn. un-ta, 2003, Ch. 1. 32 p. [in Russian].

4. Lute P., Paassen D.V. *Optimal Indoor Temperature Control Using a Predictor*. <http://pdfs.semanticscholar.org/7d8e/0736e6c555eadd1125cfeca949b5c3381d4d.pdf>.

5. Sulin A.B., Ryabova T.V., Rubtsov A.K., Nikitin A.A. *Indeksy teplovogo komforta: ucheb.-metod. posobie* [Indices of Thermal Comfort: Guidance Manual]. Ed. by A.B. Sulin, T.V. Ryabova. Saint-Petersburg, ITMO University, 2016. 36 p. [in Russian].

6. Dorofeev V.N. *Teoreticheskie osnovy sozdaniya mikroklimata v pomeshchenii: ucheb. elektron. izd.* [Theoretical Foundations for Creating a Microclimate in the Room: Educational Electronic Edition]. Vladimir, 2016. <http://e.lib.visu.ru/bitstream/123456789/5545/1/00670.pdf>. [in Russian].

7. Olesen B.V. *Kriterii teplovogo komforta pri proektirovanii sistem otopleniya* [Criteria for Thermal Comfort in Heating Systems Design]. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4355. [in Russian].

8. Nagornaya A.N. *Primenenie CFD-programm dlya issledovaniya teplovykh i vozdushnykh rezhimov pomeshchenii* [Application of CFD-Programs for the Study of Thermal and Air Conditions of Rooms]. <http://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/oooq.74/4416/30.pdf?sequence=1>. [in Russian].

9. Hoof J.V., Mazej M., Hensen J.L.M. *Thermal Comfort: Research and Practice*. Frontiers in Bioscience. 2010. Vol. 15. P. 765-788.

10. *Heating/Ventilation/Air Conditioning. Room Climate Control with ABB i-bus KNX*. library.e.abb.com/.../2CDC500070M0201.pdf.

11. Favre B., Peuportier B. Optimization of Building Control Strategies Using Dynamic Programming for Building Simulation. *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28*. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2170.pdf.

12. Wang F., Yoshida H., Li B., Umemiya N., Hashimoto S., Matsuda T., Shinbayashi H. Evaluation and Optimization of Air-Conditioner Energy Saving Control Considering Indoor Thermal Comfort. *Building Simulation 2009, Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009*. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_0088_95.pdf.

Сведения об авторах

About the authors

Джавадов Н.Г., д-р техн. наук, профессор, генеральный директор ПО «Промавтоматика», г. Баку, Азербайджанская Республика

N.H. Djavadov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, General Director of Promavtomatika PO, Baku, Republic of Azerbaijan

Исмаилов К.Х., д-р техн. наук, доцент кафедры «Аэрокосмический мониторинг» Национальной Академии Авиации, г. Баку, Азербайджанская Республика

K.Kh. Ismailov, Doctor of Engineering Sciences, National Academy of Aviation, Assistant Professor of Aerospace Monitoring Department, Baku, Republic of Azerbaijan

Гусейнова М.В., Азербайджанский технический университет, старший преподаватель, аспирант, г. Баку, Азербайджанская Республика

M.V. Huseynova, Azerbaijan Technical University, Senior Lecture, Post-graduate Student, Baku, Republic of Azerbaijan

e-mail: m.v.huseynova@gmail.com