

УДК 628.852

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ЧЕЛОВЕКА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ С ЛОКАЛЬНЫМ ВЫДЕЛЕНИЕМ ТЕПЛА

ГОЛЯКОВА И.В. ^{1*}, к.т.н.

^{1*} Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 756-34-92, e-mail: mihevevaira@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7185-7202

Аннотация. Цель. Одной из задач охраны труда является обеспечение параметров микроклимата, при которых человек будет испытывать комфортные условия. Подход к оценке самочувствия человека – это составление и обеспечение теплового баланса тела человека, который нужно поддерживать в равновесном состоянии. При несоблюдении этого условия человек будет испытывать дискомфорт. Поэтому на сегодняшний день актуальным остается вопрос о создании таких микроклиматических условий, которые позволят сохранить равновесие между количеством образующегося в организме тепла и стоком. Видными учеными в области исследования теплообмена тела человека с окружающей средой являлись О. Фангер и В.Н. Богословский. Ими было предложено рассматривать тело человека как некоторый механизм, который подчиняется закону сохранения массы и энергии, что позволяет точно определять энергетический баланс, а соответственно и его состояние, но при этом не учитываются, в процессах теплообмена, открытые и закрытые части тела. Исходя из этого целью работы является составление теплового баланса тела человека на рабочем месте с локальным выделением тепла с учетом степени открытых и закрытых частей тела и вида выполняемой работы. **Методика.** Предложенный алгоритм составления теплового баланса базируется на изучении лучистой и конвективной составляющей с учетом открытой и закрытой поверхности тела человека, так как теплообмен на поверхности тела человека происходит неравномерно за счет закрытости тела. **Результаты.** Рассмотрев и составив тепловой баланс тела человека на рабочем месте с учетом степени открытых и закрытых частей тела и вида выполняемой работы получены диаграммы, с помощью которых можно оценить тепловое состояние человека при определенных параметрах микроклимата на постоянных и не постоянных рабочих местах с локальным выделением тепла. **Научная новизна.** Впервые предложено рассматривать тепловой баланс тела человека с учетом открытых и закрытых частей тела, а также вида выполняемых работ, что позволяет провести анализ теплового состояния человека при различных условиях микроклимата. **Практическая значимость.** Диаграммы теплового баланса тела человека с учетом открытых и закрытых поверхностей тела человека позволяют определить тепловое состояние тела человека при проверке условий работы на рабочем месте с локальным выделением тепла.

Ключевые слова: параметры микроклимата; тепловой баланс; комфорт; человек; рабочее место

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ ЛЮДИНИ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ З ЛОКАЛЬНИМ ВИДІЛЕННЯМ ТЕПЛА

ГОЛЯКОВА І.В. ^{1*}, к.т.н.

^{1*} Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-92, e-mail: mihevevaira@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7185-7202

Анотація. Мета. Одним із завдань охорони праці є забезпечення параметрів мікроклімату, при яких людина буде відчувати комфортні умови. Підхід до оцінки самопочуття людини – це складання і забезпечення теплового балансу тіла людини, який потрібно підтримувати в рівноважному стані. При недотриманні цієї умови людина буде відчувати дискомфорт. Тому на сьогоднішній день актуальним залишається питання про створення таких мікрокліматичних умов, які дозволять зберегти рівновагу між кількістю що утворюється в організмі тепла і стоком. Видатними вченими в галузі дослідження теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем були О. Фангер і В. Н. Богословський. Ними було запропоновано розглядати тіло людини, як деякий механізм, який підкоряється закону збереження маси і енергії, що дозволяє точно визначати енергетичний баланс, а відповідно і його стан, але при цьому не враховуються, у процесах теплообміну, відкриті і покриті частини тіла. Виходячи з цього, метою роботи є складання теплового балансу тіла людини на робочому місці з локальним виділенням тепла з урахуванням ступеня відкритих і покритих частин тіла і виду виконуваної роботи. **Методика.** Запропонований алгоритм складання теплового балансу базується на вивченні променевої і конвективної складової з урахуванням відкритої і покритої поверхні тіла людини, так як теплообмін на поверхні тіла людини відбувається нерівномірно за рахунок покритості тіла. **Результати.** Розглянувши і склавши тепловий баланс тіла людини на робочому місці з урахуванням ступеня відкритих і покритих частин тіла і виду виконуваної роботи отримані діаграми, за допомогою яких можна оцінити тепловий стан людини при певних параметрах мікроклімату на постійних і не постійних робочих місцях з локальним виділенням тепла. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано розглядати тепловий баланс тіла людини з урахуванням відкритих і покритих частин тіла, а також виду виконуваних робіт, що дозволяє провести аналіз теплового стану людини при різних умовах мікроклімату. **Практична значимість.** Діаграми теплового балансу тіла людини з урахуванням відкритих і покритих

поверхонь тіла людини дозволяють визначити тепловий стан тіла людини при перевірці умов роботи на робочому місці з локальним виділенням тепла.

Ключові слова: параметри мікроклімату; тепловий баланс; комфорт; людина; робоче місце

DETERMINATION OF HEAT TRANSFER OF A PERSON IN THE WORKPLACE WITH LOCAL HEAT

GOLJAKOVA I. V. ^{1*}, *CAND. SC. (TECH.)*

^{1*} Department of heating, ventilation and air quality, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 756-34-92, e-mail: mihevevaira@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7185-7202

Abstract. Purpose. One of the tasks of occupational safety is to ensure that the parameters of the microclimate in which a person will experience a comfortable environment. The approach to assessing the health of a man – a compilation and ensuring the thermal balance of the human body, which should be supported in equilibrium. Failure to comply with this condition a person will experience discomfort. Therefore, today there remains the issue of the creation of such microclimatic conditions that will allow to keep the balance between the number formed in the body heat and drain. Eminent scholars in the field of research of heat exchange of human body with the environment was O. Fanger and V. N. Theological. They proposed to consider the human body as a mechanism that obeys the law of conservation of mass and energy, which allows to accurately determine the energy balance and, consequently, its condition, but was not considered in the processes of heat exchange, open and covered parts of the body. On this basis the aim of this work is the preparation of heat balance of the human body in the workplace with local heat generation according to the degree of open and covered parts of the body and the type of work performed. **Methodology.** The proposed algorithm making a heat balance is based on the study of radiant and convective component based open and covered the surface of the human body, since the heat transfer on the surface of the human body is uneven by petritoli body **Findings.** Considering and accounting for the heat balance of the human body in the workplace taking into account the degree of open and covered parts of the body and activity diagrams obtained with the help of which one can estimate the thermal state of a person when certain parameters of the microclimate on permanent and are not permanent jobs with local heat. **Originality.** For the first time invited to consider the heat balance of the human body including open and covered parts of the body, as well as the type of work performed, which allows to analyze the thermal state of patients with different microclimatic conditions. **Practical value.** Diagram of the heat balance of the human body including open and covered surfaces of the human body allow us to determine the thermal state of the human body in check of working conditions in the workplace with local heat.

Keywords: microclimate parameters; heat balance; comfort; people; workplace

Вступ

Одним із завдань охорони праці є забезпечення параметрів мікроклімату, при яких людина буде відчувати комфортні умови. Підхід до оцінки самопочуття людини – це складання і забезпечення теплового балансу тіла людини, який потрібно підтримувати в рівноважному стані. При недотриманні цієї умови людина буде відчувати дискомфорт. Тому на сьогоднішній день актуальним залишається питання про створення таких мікрокліматичних умов, які дозволять зберегти рівновагу між кількістю утворююмого в організмі тепла і стоком.

Видатними вченими в галузі дослідження теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем були О. Фангер [1] і В. Н. Богословський [2]. Ними було запропоновано розглядати тіло людини, як деякий механізм, який підкоряється закону збереження маси і енергії, що дозволяє точно визначати енергетичний баланс, а відповідно і його стан, але при цьому не враховуються, у процесах теплообміну, відкриті і покриті частини тіла.

Мета

Метою даної роботи складання теплового балансу тіла людини на робочому місці з урахуванням

ступеня відкритих і покритих частин тіла і виду виконуваної роботи.

Результати

Аналіз методик складання теплового балансу тіла людини за О. Фангером і В. Н. Богословським показав, що визначення кожної складової теплового балансу тіла людини у цих авторів різний. Причому в тепловому балансі тіла людини В. Н. Богословський, на відміну від О. Фангера, враховував тепло яке витрачається на фізіологічні процеси.

Аналіз результатів розрахунку теплового балансу тіла людини за методами О. Фангера і В. Н. Богословського показав:

1. Відмінність розрахованої величини конвективного і променистого теплообміну складає 30-90%.

2. Величини коефіцієнта опромінення відрізняються на 5-20%, що впливає на визначення радіаційної складової теплообміну.

3. За методом В. Н. Богословського при підвищенні внутрішньої температури повітря випаровування з тіла людини зменшується, що суперечить санітарно-гігієнічним дослідженням.

Тому нами запропоновано використовувати удосконалену формулу (1) розрахунку теплового балансу тіла людини, яка включає в себе більш

достовірні розрахунки її складової за методами О. Фангера і В. Н. Богословського.

Формула теплового балансу тіла людини виглядає наступним чином:

$$M = \pm \Delta Q - Q_r \pm Q_{и} \pm Q_{л} \pm Q_{к} - Q_{ф}, \text{ Вт} \quad (1)$$

де M - метаболічне тепло, Вт;

ΔQ - надлишок (накопичення) або нестача тепла в організмі, Вт;

Q_r - тепловий еквівалент механічної роботи, Вт;

$Q_{и}$ - тепловиділення випаровуванням, Вт;

$Q_{л}$ - променисте тепловиділення, Вт;

$Q_{к}$ - конвективне тепловиділення, Вт;

$Q_{ф}$ - тепло, що витрачається на фізіологічні

процеси (нагрівання повітря яке вдихаємо, природний обмін речовин тощо).

На рис. 1. представлена загальна діаграма теплового балансу тіла людини який виконує роботу різного ступеня тяжкості.

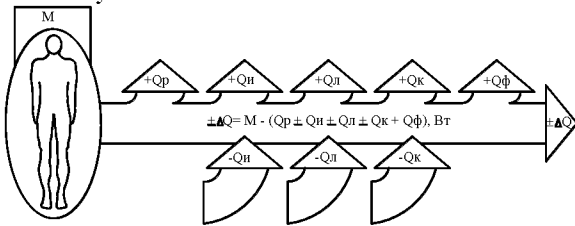


Рис. 1. Загальна діаграма теплового балансу тіла людини який виконує роботу різного ступеня тяжкості

Тепловий баланс тіла людини буде залежати від тяжкості виконуваної ним роботи, виду одягу та оптимальних параметрів мікроклімату. Склавши тепловий баланс тіла людини який виконує роботу середнього ступеня тяжкості (теплопродукція 230 Вт) для наступних оптимальних умов: температура зовнішнього повітря - $t = 26,5^{\circ}C$, внутрішня температура повітря - $t = 29,5^{\circ}C$, рухливість внутрішнього повітря - $v_{\theta} = 0,3 \text{ м/с}$, поверхня тіла людини - $A_{Du} = 1,8 \text{ м}^2$, коефіцієнт який враховує вид одягу - $f_{od} = 1,15$, ізоляційна здатність одягу - $I_{od} = 1 \text{ кло}$, ми отримали діаграму теплового балансу тіла людини (рис.2).

На діаграмі видно, що основна тепловіддача тіла людини при цих умовах буде відбуватися шляхом випаровування, при цьому в організмі буде відбуватися накопичення тепла. Отже, людина буде відчувати перегрів організму, який спричинить за

собою погіршення здоров'я і зниження працездатності.

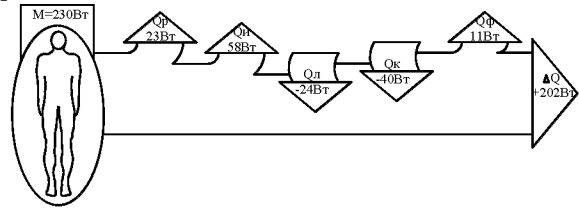


Рис. 2. Діаграми теплового балансу тіла людини який виконував роботу середнього ступеня тяжкості

Для розробки методу оцінки теплового стану людини необхідно скласти тепловий баланс, який буде включати в себе межі оптимальних і допустимих параметрів мікроклімату.

Оптимальні показники мікроклімату поширюються на всю робочу зону, допустимі показники встановлюються диференційовано для постійних і непостійних робочих місць.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюються у випадках, коли за технологічними вимогами, технічних і економічних причин не забезпечуються оптимальні норми.

Згідно [3] межі параметрів мікроклімату приміщень в теплий період року при виконанні робіт середньої ступеня тяжкості становлять:

$$t = 15 \div 29^{\circ}C, \quad v_{\theta} = 0,2 \div 0,5 \text{ м/с}.$$

На рис. 3 наведено результати розрахунку у вигляді діаграми теплового стану тіла людини, який виконував роботу середнього ступеня тяжкості в теплий період року.

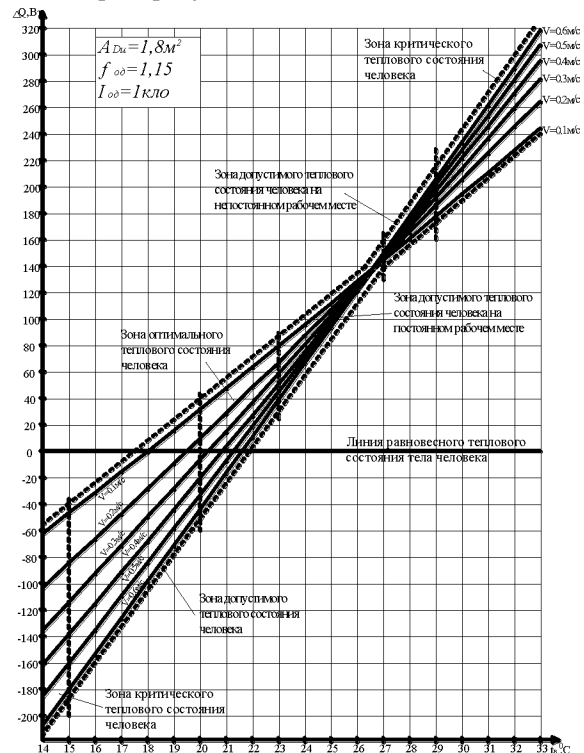


Рис. 3. Діаграма теплового стану тіла людини, який виконував роботу середнього ступеня тяжкості в теплий період року

На діаграмі виділені зони оптимального, допустимого, критичного теплового стану людини.

Зона оптимального теплового стану людини – поєднання параметрів мікроклімату, при яких тепловий стан тіла людини може відхилитися від лінії теплового рівноваги, але при цьому самопочуття людини не повинно погіршуватися і рівень його працездатності не повинен знизитися.

Зона допустимого теплового стану людини – поєднання параметрів мікроклімату, при яких можливе підтримання нульового теплового балансу тіла людини, хоча при цьому може відбуватися накопичення або відтік тепла в організмі, що може привести до дискомфорту, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Зона критичного теплового стану людини – поєднання параметрів мікроклімату, при яких не підтримується нульовою тепловий баланс тіла людини, що може призвести до зниження працездатності, підвищення небезпеки появи травм і ряду захворювань, в тому числі і професійних.

Лінія рівноважного теплового стану тіла людини – коли в організмі людини відбувається рівнозначний теплообмін.

Аналіз діаграми теплового стану тіла людини, що виконує роботу середньої ступеня тяжкості в теплий період року (рис. 3) показав, що зони оптимального теплового стану людини перетинаються з лінією рівноважного теплового стану тіла людини при певних параметрах мікроклімату. Отже, людина при цих параметрах мікроклімату буде відчувати комфорт. Можливо поєднання параметрів мікроклімату із зони допустимого теплового стану людини на робочому місці, коли відбувається активний стік тепла. У цій зоні можливе збереження рівноважного стану тіла людини при температурі внутрішнього повітря від 18 до 20 °C і рухливості повітря від 0,1 м/с до 0,25 м/с.

При вивченні величин, які складають рівняння теплового балансу тіла людини можна говорити, що променистий Q_p , Вт, та конвективний Q_k , Вт, теплообміни буде правильніше розглядати з урахуванням відкритих і покритих поверхонь тіла людини, так як теплообмін на поверхні тіла людини відбувається нерівномірно за рахунок покритості тіла.

Виходячи з цього, променистий і конвективний теплообміни приймуть наступний вигляд:

1. Променистий теплообмін:

$$Q_l = Q_l^{б.од} + Q_l^{од}, \text{ Вт} \quad (2)$$

де $Q_l^{б.од}$ - променистий теплообмін на відкрити поверхню тіла людини, Вт;

$Q_l^{од}$ - променистий теплообмін на покрити поверхню тіла людини, Вт.

2. Конвективний теплообмін:

$$Q_k = Q_k^{б.од} + Q_k^{од}, \text{ Вт} \quad (3)$$

де $Q_k^{б.од}$ - конвективний теплообмін на відкрити поверхню тіла людини, Вт;

$Q_k^{од}$ - конвективний теплообмін на покрити поверхню тіла людини, Вт.

Тоді формула теплового балансу тіла людини з урахуванням відкритих і покритих частин тіла людини буде виглядати наступним чином:

$$M = \pm \Delta Q - Q_p \pm Q_{и} \pm Q_l^{б.од} + Q_l^{од} \pm Q_k^{б.од} + Q_k^{од} - Q_{ф}, \text{ Вт} \quad (4)$$

Формула теплового балансу тіла людини (4) відрізняється більш достовірним визначенням променистого і конвективного теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем за рахунок обліку відкритих і покритих поверхонь тіла людини. На рис. 4 представлена діаграма теплового стану тіла людини, який виконував роботу середнього ступеня тяжкості в теплий період року з урахуванням відкритих і покритих частин тіла людини.

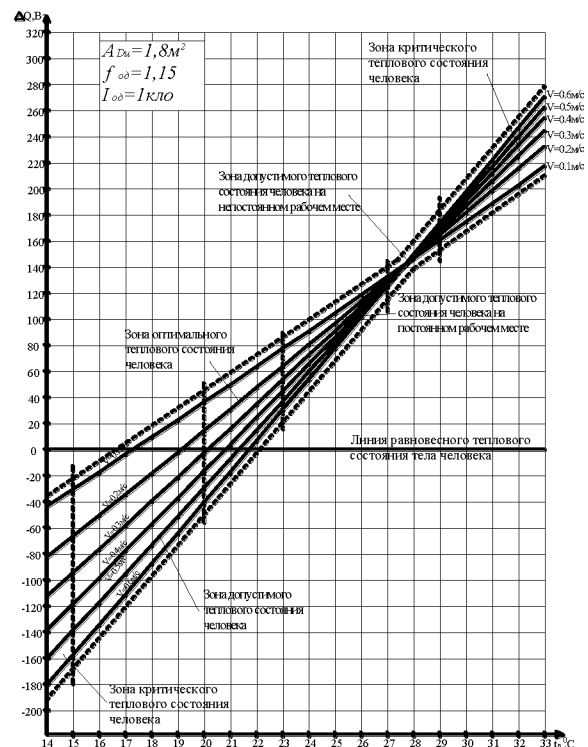


Рис. 4. Діаграма теплового стану тіла людини, який виконував роботу середнього ступеня тяжкості в теплий період року з урахуванням відкритих і покритих частин тіла

Висновки:

1. На основі отриманих діаграм теплового балансу тіла людини можна оцінити тепловий стан людини

при певних параметрах мікроклімату на постійних і не постійних робочих місцях з локальним виділенням тепла.

2. Відмінність теплового балансу тіла людини без обліку і з урахуванням ступеня відкритих і покритих

частин тіла людини полягає в тому, що при певних параметрах мікроклімату кількість накопиченого чи відсутнього тепла в організмі зменшується на 30÷40%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Пер. с венг. В.М. Беляева; под ред. В.И. Прохорова и А.Л. Наумова. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с.

Banhidi L. Thermal indoor climate: Calculation of comfort parameters Teploobmennik man / TRANS. with hung. V. M. Belyaev; under the editorship of V. I. Prokhorov and A. L. Naumov. – М.: Stroiiizdat, 1981. – 248 p.

2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учебник [для вузов] / В.Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.

Bogoslovsky, V. N. Building thermal physics (thermal fundamentals of heating, ventilation and air conditioning): textbook [for universities] / V. N. Theological. – 2-е Izd., revised and enlarged extra – М.: Higher school, 1982. – 415 p.

3. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : ДСН 3.3.6.042-99. – [Введ. От 1999-01-12]. – К.: Мін. охорони здоров'я, 1989. – 15 с. (Санитарные нормы).

Santen normi mscrocklin of virobnychih primer : LTOs 3.3.6.042-99. – [Introductio. From 1999-01-12]. – К.: Мп. Aharoni health, 1989. – 15 p. (Sanitary norms).

4. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Общие требования: стандарт / ГОСТ 12.1.005-88;. - Введ.01.01.89 // Система стандартов безопасности труда. - М. - Ч.1.-С.165-239. - . М.,1996. - Изм.1 (ИУС.2000.N9).

General hygiene requirements for working zone air. General requirements: standard / State standard 12.1.005-88;. – Introductio.01.01.89 // System of occupational safety standards. - М. - Н. 1.-P. 165-239. - . М.,1996. - ISM.1 (MIS.2000.N9).

5. Горомосов М.С. Микроклимат жилищ и его гигиеническое нормирование / Горомосов М.С. – М.: Медгиз, 1963. – 134 с.

Karamozov M. S. of dwellings and the Microclimate of its hygienic regulation / Karamozov M. S. – М.: Medgiz, 1963. – 134 p.

6. Мачкаши А., Банхиди Л. Лучистое отопление /Пер. с венг. В. М. Беляева; Под ред. д-ра техн. наук В.Н. Богословского и канд. техн. наук Л.М.Махова. – М.: Стройиздат, 1985. – 464 с.

Maccari A., Banhidi L. Radiant heating /TRANS. with hung. V. M. Belyaev; edited by Dr. SC. Sciences V. N. Theological and candidate. tech. Sciences L. M. Macha. – М.: Stroiiizdat, 1985. – 464 p.

7. Fanger P.O. Thermal comfort. – Mc Graw Hill Book Co. New York, 1973. – 244с.

8. Шахбазян Г.Х. Виробничий мікроклімат і здоров'я людини / Г.Х. Шахбазян, Ф.М. Шлейфман – К.: Здоров'я, 1981. – 88 с.

Shahbazian H. Productive climate and human health / G. H. Shahbazian, F. M. Shlefman – К.: Health, 1981. – 88 p.

9. Тетереvников В.Н. Тепловой баланс человека при воздействии лучистого тепла / В.Н. Тетереvников // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – М.: Профиздат, 1969. – № 60. – С.66-70.

Tatarenkov V. N. The heat balance of a person when exposed to radiant heat / V. N. Tatarenkov // Scientific institutions of labour protection the all. – М.: Profizdat, 1969. – No. 60. – P. 66-70.

10. Чесанов Л.Г. Теплообмен человека в помещении / Л.Г. Чесанов, В.О. Петренко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение; Часть 2., Вып. 15. – Дн-ск: ПГАСА. – 2002. – С. 169-171.

Chesanow L. G. Heat transfer in a room / L. G. Chasanov, V. A. Petrenko // Construction. Materials science. Engineering; Part 2., Vol. 15. – DN-SC: PHASE. – 2002. – Pp. 169-171.

11. Губернский Ю.Д. Жилище для человека. / Ю.Д. Губернский, В.К. Лишкевич. – М.: Стройиздат, 1991. – 228 с.

D. Housing for humans. / U. D. Provincial, V. K. Litskevich, ... Sovetskaya Byelorussiai. – М.: Stroiiizdat, 1991. – 228 p.

12. Губернский Ю.Д. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий / Ю.Д. Губернский, Е.И. Корневская. – М.: Медицина, 1978. – 192 с.

D. Hygienic bases of conditioning the microclimate of residential and Gromadsky put / Y. D. Provincial, E. S. Korenevsky. – М.: Medicine, 1978. – 192 p.

13. Реттер Э. И. Микроклимат зданий и задачи теплофизики / Э. И. Реттер. – М.: ГИЛ по СА и СМ, 1963. – 133 с.

Letter E. S. The microclimate of buildings and objectives of the physics / E. S. Letter. – М.: GIL on SA and CM, 1963. – 133 p.

14. Ильинский В.М. Строительная теплофизика / В.М. Ильинский. – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.

Ilyinsky V. M. Building Thermophysics / W. M. Ilyinsky. – М.: Higher school, 1974. – 320 p.

15. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія. Київ.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.

DSTU-N.1.1-27:2010 Building climatology. Kiev.: The Ministry Of Regional Development Of Ukraine, 2011. – 123 p.

Стаття рекомендована д-ром.техн.наук, проф. А.С. Беликовым (Україна);

д-ром.техн.наук, проф. В.Б. Скрытниковым (Украина)

Поступила в редколлегию 17.09.2015