

УДК 677.076.49

**ОЦЕНКА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ИННОВАЦИОННЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ***

**EVALUATION OF THERMAL INSULATION PROPERTIES
OF INNOVATIVE NONWOVEN MATERIALS USING
OF AN INTEGRAL INDICATOR OF EFFICIENCY***

Е.В. МЕЗЕНЦЕВА, В.Ю. МИШАКОВ

E.V. MEZENTSEVA, V.YU. MISHAKOV

**(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
ООО "Термопол")**

**(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
Thermopol, LLC)**

E-mail: yelena_ev@mail.ru, viktormishakov@rambler.ru

***Представлено исследование нетканых теплоизоляционных материалов
из полиэфирных и полиакрилатных волокон в составе комплектов одежды.
Получены данные результирующей общей теплоизоляции комплектов одеж-***

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90010.

* The reported study was funded by RFBR, project number № 19-38-90010.

ды с учетом условной стоимости теплоизоляционных нетканых материалов. Выявлен наиболее целесообразный принцип использования теплоизоляционных слоев в одежде с учетом физиологической, экономической, теплозащитной составляющих.

In the article the research of nonwoven thermal insulation materials from polyester and polyacrylate fibers as a part of clothing sets is presented. The results of the total thermal insulation of clothing sets are obtained taking into account the notional cost of thermal insulation nonwoven materials. Highlighted the most appropriate principle of the use of thermal insulation layers in clothing, taking into account the physiological, economic, thermal insulation components.

Ключевые слова: нетканые материалы, результирующая общая теплоизоляция, потеющий термоманекен, "Newton", интегральный показатель, комплект одежды, утеплитель.

Keywords: nonwoven materials, resulting overall insulation, sweating thermal manikin, "Newton", an integral indicator, a set of clothes, insulation.

Целью настоящего исследования является оценка свойств теплоизоляционных нетканых материалов различного волокнистого состава с учетом интегрального показателя.

Объектом исследования являются нетканые материалы, предназначенные для использования в качестве теплоизоляционного слоя в утепленной одежде.

Предметом исследования является оценка теплоизоляционных свойств нетканых материалов с учетом интегрального показателя в составе комплектов одежды на 20-зонном термоманекене "Newton", США [1], в режиме движения и перспирации.

Для изучения теплоизоляционных свойств нетканых материалов в данном исследовании была применена методика ГОСТ ISO 15831 [2], но с расширенными возможностями термоманекена (возможность замера теплоизоляции не только в движении, но и при имитации перспирации).

Исследование теплоизоляционных свойств заключалось в сравнительной оценке различных по волокнистому составу, но одинаковых по поверхностной плотности, нетканых материалов в составе комплектов одежды [3...5]. Все изделия имели одинаковую конструкцию ткани верха и подкладки. Поверхностная плотность каждого теплоизоляционного слоя составляла 150 г/м² (2 слоя). Волокнистый состав нетканых материалов представлен на рис. 1-а. В комплекте одежды № 4 применялся принцип "зонированного" распределения теплоизоляционных нетканых материалов [6...10] (на рис. 1: а – волокнистый состав теплоизоляционных нетканых материалов в исследуемых комплектах одежды; б – условная стоимость волокнистого сырья, руб/кг).

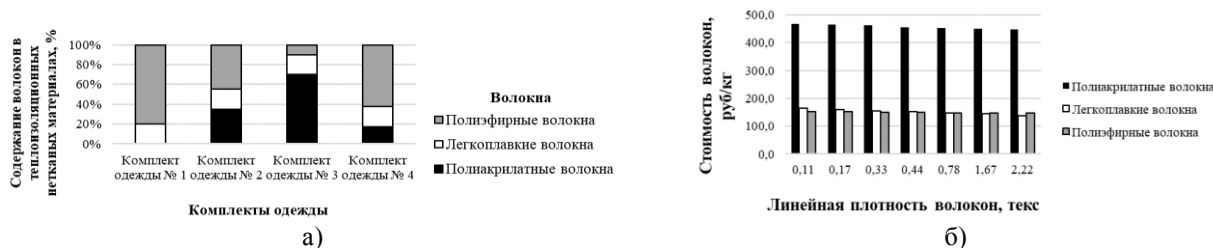


Рис. 1

"Зонированное" распределение теплоизоляционного нетканого материала в комплекте № 4 обусловлено экономической и физиологической составляющими. Стоимость полиакрилатных волокон превышает стоимость полиэфирных волокон более чем в 3 раза (рис. 1-б). Стоимость волокон обусловлена рыночной конъюнктурой, которая складывается из стоимости нефти, как одного из основных компонентов полиэфирных и других волокон, а также зависит от ценовой политики предприятий, изготавливающих волокна [11], [12].

Условная стоимость теплоизоляционных нетканых материалов в исследуемых комплектах одежды представлена в табл.1.

Т а б л и ц а 1

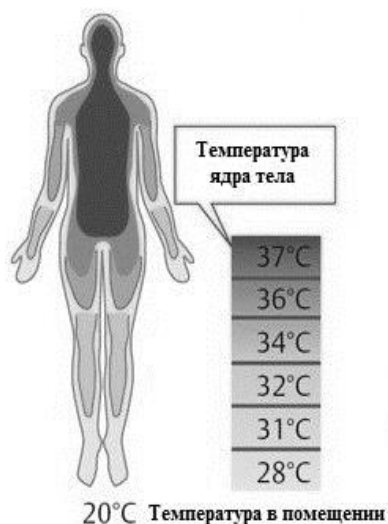
Комплект одежды	Условная стоимость, руб/(5 пог.м)
№ 1	168,45
№ 2	290,85
№ 3	414,55
№ 4	229,65

Известно, что в неблагоприятной внешней среде, к которой в том числе относится низкая температура окружающей среды, организм человека сосредотачивает все свои усилия на сохранении неизменного уровня температуры ядра тела (рис. 2-а) для обеспечения температурного гомеостаза внут-

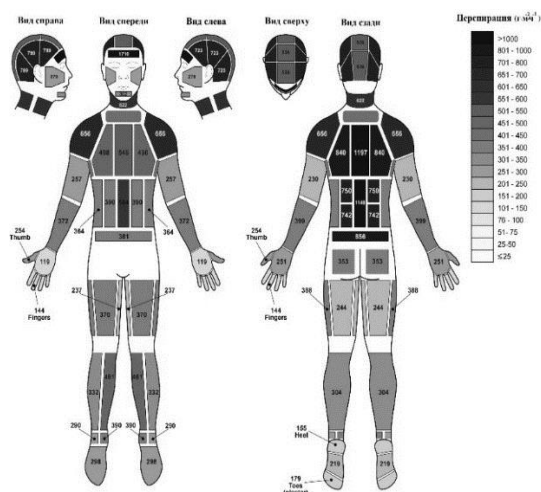
ренних органов [13]. В зоне ядра тела уровень перспирации выше вследствие наличия наибольшего количества потовых желез (рис. 2-б), по сравнению с другими участками тела [14]. "Зонированное" использование различных нетканых материалов позволяет обеспечивать максимальную теплоизоляцию там, где это физиологически более обоснованно (рис. 2: а – тело человека [13]; б – карта интенсивности перспирации на теле человека [14]).

В комплекте одежды № 4 в качестве теплоизоляционного слоя применялся нетканый материал, состоящий из 45 % полиэфирных волокон, 35% полиакрилатных волокон и 20% легкоплавких волокон, который использовался в зоне ядра тела и его ближайшего окружения (область головы, груди, спины, бедер, плеч). На рис. 2-а эти зоны обозначены более темной цветовой индикацией (температура = 36...37°C), в остальных зонах использовался нетканый материал, состоящий из 80% полиэфирных волокон и 20% легкоплавких волокон. Расход материала в этом случае составил 50/50%. Расход нетканых материалов для каждого комплекта составил 5 пог. м.

Заданные режимы испытаний на термоманекене в климатической камере представлены в табл. 2.



а)



б)

Рис. 2

Показатель	Значение
Температура окружающей среды T_a , °С	10,00
Относительная влажность воздуха RH, %	60,00
Скорость ветра v_a , м/с	0,40
Общая площадь поверхности корпуса манекена A , м ²	1,81

Рис. 3: а – результирующая общая теплоизоляция комплектов одежды в состоянии

движения и перспирации, °С·м²/Вт; б – интегральный показатель качества.

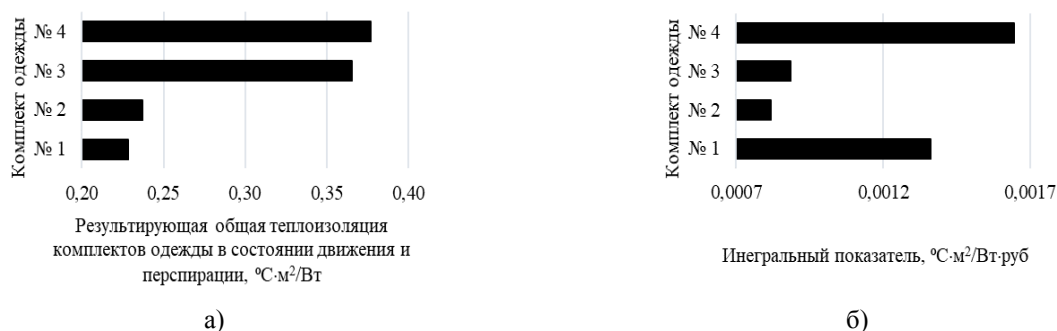


Рис. 3

В ходе проведения стендовых испытаний на термоманекене в режиме движения и перспирации были определены значения результирующей общей теплоизоляции для каждого комплекта одежды (I_{tr}), °С·м²/Вт (табл. 3, рис. 3), как среднего арифметического результатов двух испытаний: серийного и параллельного (формула 1)):

$$I_{tr} = \sum_i f_i \left[\frac{(T_{si} - T_a) a_i}{H_{ci}} \right], \quad (1)$$

где f_i – доля общей площади поверхности корпуса термоманекена, представленная площадью поверхности сегмента i (формула 2)):

$$f_i = \frac{a_i}{A}. \quad (2)$$

T_{si} – значения показателей температуры поверхности сегментов корпуса термоманекена, °С; a_i – площади поверхностей отдельных сегментов термоманекена, м²; H_{ci} – подача теплового потока на сегменты термоманекена, Вт.

Результирующая общая теплоизоляция одежды (I_{tr}) – общая теплоизоляция одежды от поверхности корпуса манекена до

окружающей среды, включая одежду и пограничный слой воздуха, измеренная на манекене при определенных условиях в состоянии движения и перспирации [2].

Так как качество продукции – это в том числе и экономическая категория [15], – представим данные результирующей общей теплоизоляции комплектов одежды с учетом условной стоимости теплоизоляционных нетканых материалов (табл. 3, рис. 3), для этого вычислим интегральный показатель качества I (формула (3)), который с определенной долей условности позволяет связать качество и стоимость [15]:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{(3_c + 3_s)}, \quad (3)$$

где \mathcal{E} – суммарный полезный эффект от эксплуатации или потребления материала, или продукции [15] (в данном случае результирующая общая теплоизоляция); 3_c и 3_s – суммарные затраты на создание и эксплуатацию (потребление) материалов или продукции [15] (в данном случае условная стоимость теплоизоляционных нетканых материалов, табл. 1).

Комплект одежды	Результирующая общая теплоизоляция комплектов одежды $\bar{I}_{гр}$, °С·м ² /Вт	Интегральный показатель И, °С·м ² /Вт·руб
№ 1	0,2285	0,0014
№ 2	0,2369	0,0008
№ 3	0,3657	0,0009
№ 4	0,3770	0,0016

Из табл. 3, где представлены данные результирующей общей теплоизоляции комплектов одежды в состоянии движения и перспирации термоманекена с учетом условной стоимости нетканых материалов, и рис. 3-а видно, что комплект одежды №4 превосходит по показателю результирующей общей теплоизоляции, в сравнении с остальными комплектами одежды. Соотношение разницы результатов исследования изменяется в случае оценки интегрального показателя (рис. 3-б).

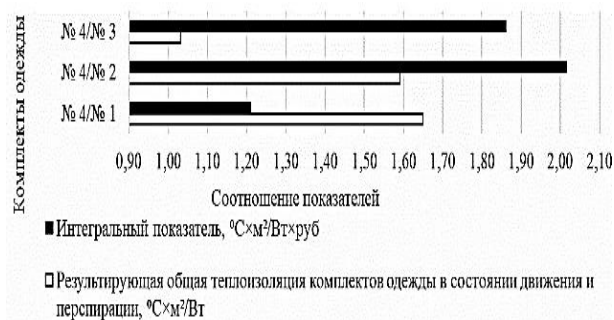


Рис. 4

Сравним соотношения показателей результирующей общей теплоизоляции в состоянии движения и перспирации и интегрального показателя комплекта одежды №4 с комплектами одежды №1, №2 и №3 (рис. 4).

При сравнении данных, полученных при испытаниях комплектов одежды № 4 и №1, имеем, что результирующая общая теплоизоляция комплекта одежды №4 больше результирующей общей теплоизоляции комплекта одежды № 1 в 1,65 раза. Интегральный показатель больше в 1,21 раза (снижается). Разница при сравнении интегральных показателей в данной паре является наименьшей, в сравнении с другими парами. Разница результирующей общей теплоизоляции наибольшая в данной паре, по сравнению с другими парами. Это обуславливается низкой стоимостью полиэфирных во-

локон по отношению к полиакрилатным волокнам (рис. 1-б). Полезный эффект (теплозащитные свойства) у нетканых материалов, в состав которых входят полиакрилатные волокна, выше по сравнению с неткаными материалами, в которых такие волокна отсутствуют.

При сравнении данных, полученных при испытаниях комплектов одежды №4 и №2, имеем, что результирующая общая теплоизоляция комплекта одежды №4 больше результирующей общей теплоизоляции комплекта одежды №2 в 1,59 раза, при этом интегральный показатель больше в 2,02 раза (повышается). Разница при сравнении интегральных показателей в данной паре является наибольшей, в сравнении с другими парами, то есть полезный эффект с учетом экономической составляющей у нетканого материала комплекта одежды №2 является самым низким, по сравнению с остальными комплектами одежды.

При сравнении данных, полученных при испытаниях комплектов одежды №4 и №3, имеем, что результирующая общая теплоизоляция комплекта одежды №4 больше результирующей общей теплоизоляции комплекта одежды №3 в 1,03 раза, при этом интегральный показатель больше в 1,86 раза (повышается). То есть без учета экономической составляющей теплоизоляционные свойства комплектов одежды №3 и №4 схожи, однако более высокая стоимость нетканого материала для комплекта одежды №3 делает его использование нецелесообразным.

В Ы В О Д Ы

1. Использование интегрального показателя при оценке теплоизоляционных свойств нетканых материалов в составе комплектов одежды при стендовых испытаниях на тер-

моманекене в режиме движения и имитации перспирации позволяет оценить эффективность материалов с учетом экономической составляющей.

2. Нетканые теплоизоляционные материалы, имеющие в своем составе полиакрилатные волокна, являются более эффективными при их использовании в режиме движения и перспирации, по сравнению с теплоизоляционными материалами, состоящими только из полиэфирных волокон.

3. С точки зрения эффективности теплозащитных свойств с учетом условной стоимости нетканых материалов, наиболее эффективен "зонированный" принцип использования теплоизоляционного слоя в комплекте одежды. В зоне ядра тела и его ближайшего окружения (область головы, груди, спины, бедер, плеч) целесообразно использование нетканых теплоизоляционных материалов, состоящих из 45% полиэфирных, 35% полиакрилатных, 20% легкоплавких волокон, с целью обеспечения температурного гомеостаза внутренних органов и предупреждения переохлаждения человека во время физической активности при низких температурах окружающей среды. Во всех остальных зонах целесообразно применение более экономичных нетканых теплоизоляционных материалов, состоящих из 80% полиэфирных и 20% легкоплавких волокон. Такой принцип позволяет создавать максимально эффективную утепленную одежду с учетом не только теплоизоляционных свойств, но и экономической составляющей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gao Ch., Holmér I. Initial, Transient and Steady State Evaporative Resistance of Impermeable Protective Clothing. Thermal Manikins and Modelling. Sixth international thermal manikin and modelling meeting (6I3M). – 2006. P.253...261.

2. ГОСТ ISO 15831–2013. Одежда. Физиологическое воздействие. Метод измерения теплоизоляции на термоманекене. – Введ. 2014-07-01. – М.: ОАО "ВНИИС", 2013.

3. Готовкина М.С., Мезенцева Е.В. Маркетинговый анализ конъюнктуры рынка теплоизоляционной верхней зимней одежды (на примере Курской и Белгородской областей) // Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса. – 2018. Т. 4, № 4.

4. Иванов В.В., Мезенцева Е.В. Научные исследования как неотъемлемый фактор внедрения инноваций (на примере деятельности заводов нетканых материалов "Термопол", Холлофайбер™ // Мат. XX Междунар. научн.-практ. форума: Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2017), 22-26 мая 2017 г. – Иваново: ИВГПУ, 2017. С.25...31.

5. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю., Готовкина М.С. Утепленная верхняя одежда: социологический анализ предпочтений россиян // Дизайн и технологии. – 2018, № 65(107). С. 122...130.

6. Мезенцева Е.В. Инновационные методы создания термоизоляционных саморегулирующихся волоконистых систем в "умной одежде" // Мат. XXI Междунар. научн.-практ. форума: Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018), 26-28 сентября 2018 г. – Иваново: ИВГПУ, 2018. Часть 2. С. 78...81.

7. Мезенцева Е.В., Иванов В.В., Мишаков В.Ю. Перспективные подходы к повышению термоизоляционных свойств одежды: "следующие шаги", технологии, инновации // Мат. XXI Междунар. научн.-практ. форума: Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018), 26-28 сентября 2018 г. – Иваново: ИВГПУ, 2018. Часть 2. С. 82...87.

8. Мезенцева Е.В., Иванов В.В. Современные модификации сырья для текстильных полотен // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018). Часть 2. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2018. С.113...116.

9. Мезенцева Е.В., Иванов В.В., Мишаков В.Ю. Современные технологические подходы к повышению теплоизоляционных свойств утепленной одежды // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018). Часть 1. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2018. С. 160...164.

10. Kasturiya N., Subbulakshmi M., Gupta S. and Raj H. System Design of Cold Weather Protective Clothing // Defence Science. – 49(5), 1999. P.457...464.

11. Мезенцева Е.В., Иванов В.В., Мишаков В.Ю. Вопросы термоизоляции одежды: что делать? Как делать? // Легкая промышленность. Курьер. – 2018, № 7. С.16...17.

12. Иванов В.В., Мезенцева Е.В. Одежда – это теплоизоляция [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Москва: Аргументы и Факты, 2019. – режим доступа к журн.: https://e-mm.ru/b2b/brand/3598/hollofajber/article/4778/odezhda_jeto_teploizolyaciya/

13. Silbernagl S. Color Atlas of Physiology (6th ed., p. 441). – Stuttgart: Thieme, 2010.

14. Smith C., & Havenith G. Body mapping of sweating patterns in male athletes in mild exercise-induced

hyperthermia // *European Journal Of Applied Physiology*. – 111(7), 2010. P.1391...1404. doi: 10.1007/s00421-010-1744-8.

15. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. – М.: Колосс, 2011.

REFERENCES

1. Gao Ch., Holmér I. Initial, Transient and Steady State Evaporative Resistance of Impermeable Protective Clothing. Thermal Manikins and Modelling. Sixth international thermal manikin and modelling meeting (6I3M). – 2006. P.253...261.

2. GOST ISO 15831–2013. Odezhda. Fiziologicheskoe vozdeystvie. Metod izmereniya teploizolyatsii na termomanekene. – Vved. 2014-07-01. – М.: OAO "VNIIS", 2013.

3. Gotovkina M.S., Mezentseva E.V. Marketingovyy analiz kon'yunktury rynka teploizolyatsionnoy verkhney zimney odezhdy (na primere Kurskoy i Belgorodskoy oblastey) // *Nauchnyy rezul'tat. Tekhnologii biznesa i servisa*. – 2018. T. 4, № 4.

4. Ivanov V.V., Mezentseva E.V. Nauchnye isledovaniya kak neot'emlemyy faktor vnedreniya innovatsiy (na primere deyatel'nosti zavodov netkanykh materialov "Termopol", Khollofaybertm // *Mat. XX Mezhdunar. nauchn.-prakt. foruma: Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX-2017)*, 22-26 maya 2017 g. – Ivanovo: IVGPU, 2017. S.25...31.

5. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu., Gotovkina M.S. Uteplennaya verkhnyaya odezhda: sotsiologicheskii analiz predpochteniy rossiyan // *Dizayn i tekhnologii*. – 2018, № 65(107). S. 122...130.

6. Mezentseva E.V. Innovatsionnye metody sozdaniya termoizolyatsionnykh samoreguliruyushchikhsya voloknistykh sistem v "umnoy odezhde" // *Mat. XXI Mezhdunar. nauchn.-prakt. foruma: Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX-2018)*, 26-28 sentyabrya 2018 g. – Ivanovo: IVGPU, 2018. Chast' 2. S.78...81.

7. Mezentseva E.V., Ivanov V.V., Mishakov V.Yu. Perspektivnye podkhody k povysheniyu termoizolya-

tsionnykh svoystv odezhdy: "sleduyushchie shagi", tekhnologii, innovatsii // *Mat. XXI Mezhdunar. nauchn.-prakt. foruma: Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialov (SMARTEX-2018)*, 26-28 sentyabrya 2018 g. – Ivanovo: IVGPU, 2018. Chast' 2. S.82...87.

8. Mezentseva E.V., Ivanov V.V. Sovremennye modifikatsii syr'ya dlya tekstil'nykh poloten // *Sb. mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.: Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (INNOVATsII-2018)*. Chast' 2. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2018. S.113...116.

9. Mezentseva E.V., Ivanov V.V., Mishakov V.Yu. Sovremennye tekhnologicheskie podkhody k povysheniyu teploizolyatsionnykh svoystv uteplennoy odezhdy // *Sb. mat. Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.: Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (INNOVATsII-2018)*. Chast' 1. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2018. S. 160...164.

10. Kasturiya N., Subbulakshmi M., Gupta S. and Raj H. System Design of Cold Weather Protective Clothing // *Defence Science*. – 49(5), 1999. P.457...464.

11. Mezentseva E.V., Ivanov V.V., Mishakov V.Yu. Voprosy termoizolyatsii odezhdy: chto delat'? Kak delat'? // *Legkaya promyshlennost'*. Kur'er. – 2018, № 7. S.16...17.

12. Ivanov V.V., Mezentseva E.V. Odezhda – eto teploizolyatsiya [Elektronnyy resurs] – *Elektron. tekstovye dan.* – Moskva: Argumenty i Fakty, 2019. – rezhim dostupa k zhurn.: https://e-mm.ru/b2b/brand/3598/hollofajber/article/4778/odezhda_jeto_teploizolyaciya/

13. Silbernagl S. *Color Atlas of Physiology* (6th ed., p. 441). – Stuttgart: Thieme, 2010.

14. Smith C., & Havenith G. Body mapping of sweating patterns in male athletes in mild exercise-induced hyperthermia // *European Journal Of Applied Physiology*. – 111(7), 2010. P.1391...1404. doi: 10.1007/s00421-010-1744-8.

15. Kiryukhin S.M., Shustov Yu.S. *Tekstil'noe materialovedenie*. – М.: Koloss, 2011.

Рекомендована Программным комитетом форума. Поступила 08.10.19.