

УДК 536.21

# КРИТЕРИЙ КОМФОРТНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ОЩУЩЕНИЙ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Симанков Д.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия (125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4),  
pegasds1@mail.ru

---

Рассмотрен теплофизический аспект формирования температурного ощущения медико-биологического объекта от соприкосновения с другим телом с другой температурой, в частности с искусственными кожей. В качестве критерия комфортности применялся только температурный диапазон в интервале от 29 до 37 °С. Учёт внешнего давления окружающей среды и её относительная влажность не производился. Описанная методика носит оценочный характер и не учитывает особенности кожи человека и его индивидуальность. Однако, выводы полученные в работе можно применять для массового производства одежды для населения, а так же при проектировании спецодежды. Методика кратковременных измерений в стадии иррегулярного теплового режима применима для исследования теплофизических характеристик искусственных кож. Характерная погрешность такого метода составляет до 3%.

---

Ключевые слова: медико-биологический объект; тепловая активность; импульсный метод; экспериментальные исследования; критерий комфортности.

## CRITERION COMFORT TEMPERATURE SENSATIONS BIOMEDICAL OBJECTS

Simankov D.S.<sup>1</sup>, Poberegsky S.Y.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal government budgetary institution of higher education "Moscow Aviation Institute (a national research university)", Moscow, Russia (125993, Moscow, Volokolamskoe highway, 4),  
pegasds1@mail.ru

---

Thermophysical aspect of forming temperature sensation biomedical objects from contact with another body with a different temperature, particularly with artificial leather. The criterion used only comfort temperature range of between 29 to 37 °C. Accounting for external ambient pressure and relative humidity is not produced. The described technique is evaluative and takes into account the person's skin and his personality. However, the findings obtained in this work can be used for the mass production of clothing for the population, as well as in the design of clothing. Short-term measurement technique being irregular thermal conditions applicable to the study of thermal characteristics of artificial leather. The typical error of this method is up to 3%.

---

Key words: medico-biological object; thermal activity; pulse method; experimental studies; comfort criterion.

## **Введение.**

Поверхностная ткань медико-биологического объекта (МБО) является основным фактором, определяющим теплообмен организма с окружающей средой. Теплофизические характеристики одежды необходимы для корректного расчета теплообмена пилота с системой терморегуляции, прогнозирования температурных ощущений.

Определенные перспективы изучения теплофизических характеристик живых МБО связаны с использованием стадии иррегулярного теплового режима с граничными условиями второго рода. Методика исследования теплофизических характеристик веществ и материалов, основанная на стадии иррегулярного режима достаточно широко вошла в практику теплофизического эксперимента, например, [2, 4, 5, 7]. Напомним, что в основе методики лежит импульсный нагрев резистивного элемента (РЭ), находящегося в контакте с исследуемой средой. Одновременно, в процессе нагрева, регистрируется температура РЭ. Последняя содержит информацию о теплопроводности среды ( $\lambda$ ), если симметрия температурного поля имеет цилиндрический характер и о тепловой активности ( $\varepsilon = \sqrt{\lambda \rho c}$ ), если поле плоское.

## **Метод.**

Исследование теплопроводности искусственной кожи проводилось в соответствии с методикой [8], ранее примененной для исследования жидкостей. В рассматриваемом случае датчик (резистивный элемент, размещенный на подложке), легким прижимом вводился в контакт с исследуемой кожей. Длительность измерительного импульса составляла 1,5–2 с. Нагрев РЭ в конце импульса не превышал 5<sup>0</sup>С. Измерение тепловой активности проводилось по аналогичной схеме. Отличие лишь в используемых датчиках. В этом случае для реализации плоской симметрии температурного поля использовались резистивные дорожки длиной около 10<sup>-2</sup> м, ширину 10<sup>-3</sup> м и толщиной 2000А°. В качестве зонда использовали напылённый никель на стекло толщиной (высотой)2000 А°. Погрешность измерений и теплопроводности и тепловой активности оценена в 5% [6].

В соответствии с [1] оценочное значение длительности измерения в пределах погрешности рассматриваемого метода (5%) составляет 2с. Соответственно, эффективная глубина проникновения температурного поля в искусственную кожу составляет примерно  $l = \sqrt{at} \approx 1\text{мм}$ .

Исследование теплофизических характеристик МБО имеет важное значение для проблемы нестационарного теплообмена организма с окружающей средой. В частности, с тепловой активностью кожи связан практически важный вопрос о восприятии температуры окружающих тел при непосредственном кратковременном прикосновении к ним. Результаты

исследований кожи МБО согласно [1] показали, что диапазон теплопроводности при комнатной температуре составляет 0,35-0,45 Вт/(м·К), а тепловой активности 900-1200 Дж/(м·К·с<sup>0,5</sup>).

В основу теплофизического представления о формировании температурного ощущения при кратковременном контакте с нагретым (охлажденным) телом может быть положена тепловая задача о мгновенном соприкосновении двух разнородных полуограниченных тел, имеющих разные начальные температуры [1]. Пренебрегая зависимостью теплофизических характеристик от температуры, данную задачу запишем в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial t} &= a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x < \infty, \quad t \geq 0; \\ \frac{\partial T_2}{\partial t} &= a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, \quad -\infty < x \leq 0, \quad t \geq 0; \\ T_1(x, 0) &= T_{01}, \quad T_2(x, 0) = T_{02}; \\ \frac{\partial T_1}{\partial x} &= 0 \quad (x \rightarrow \infty), \quad \frac{\partial T_2}{\partial x} = 0 \quad (x \rightarrow -\infty), \\ T_1(0, t) &= T_2(0, t), \quad \frac{\partial T_1(0, t)}{\partial x} = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{\partial T_2(0, t)}{\partial x}. \end{aligned} \quad (7)$$

Решение сформулированной задачи, определяющее распределение температурного поля в средах имеет вид [3]:

$$\begin{aligned} T_1(x, t) - T_{01} &= (T_{01} - T_{02}) \frac{K_\varepsilon}{1 + K_\varepsilon} \left( 1 + \frac{1}{K_\varepsilon} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) \right), \\ T_2(x, t) - T_{02} &= (T_{01} - T_{02}) \frac{K_\varepsilon}{1 + K_\varepsilon} \operatorname{erfc} \left( \frac{|x|}{2\sqrt{a_2 t}} \right), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $K_\varepsilon = \varepsilon_1 / \varepsilon_2$ .

Пределы применимости рассматриваемой модели связаны с выполнением следующих основных условий: время введения в соприкосновение с нагретым телом должно быть заметно меньше длительности соприкосновения, длина диффузии температурного поля в каждую из сред должна быть заметно меньше линейного размера, характеризующего площадь соприкосновения; вместе с тем эта длина не должна превышать протяженность (толщину) соприкасаемых тел.

Несмотря на вышесказанные ограничения, соответствующий анализ показывает, что при длительности соприкосновения с нагретым телом порядка 1с выбранная модель удовлетворительно передает характерные черты рассматриваемого явления и может

использоваться для количественных оценок. Для наших целей достаточно рассмотреть лишь температуру в плоскости соприкосновения тел ( $x=0$ ), так как она соответствует температуре МБО и ответственна за формирование температурного ощущения. Эта температура равна

$$T_k = (T_{0T} - T_{0K}) \frac{\varepsilon_T / \varepsilon_K}{1 + \varepsilon_T / \varepsilon_K} + T_{0K}. \quad (9)$$

Индексом « $K$ » здесь обозначен биоткань, « $T$ » - нагретое (охлажденное) тело, то есть искусственная кожа, а « $0$ » относится к их начальным значениям температуры. Таким образом, на поверхности кожи МБО устанавливается температурный скачок, величина которого зависит лишь от разности начальных температур соприкасаемых тел ( $T_{0T} - T_{0K}$ ) и от отношения их тепловых активностей.

Рассмотрим ряд следствий формулы (9). В частности, с ее помощью можно записать критерий комфортности при соприкосновении покровной ткани МБО с нагретым (охлажденным) телом. Скачок температур (применительно к изделиям легкой промышленности: одежде, обуви и прочим он изучается, обычно, органолептически) не должен быть велик, чтобы не вызвать ощущение дискомфорта.

Считая, что диапазон комфортных температур поверхности кожи составляет  $29 \div 37^\circ\text{C}$ , критерий комфортности можно записать в виде

$$29 \leq \frac{T_{0K} \varepsilon_K + T_{0T} \varepsilon_T}{\varepsilon_K + \varepsilon_T} \leq 37. \quad (10)$$

При заданной тепловой активности кожи МБО данный критерий определяет допустимый диапазон температур тела, соприкосновение с которым будет восприниматься как комфортное. Естественно, чем меньше тепловая активность тела, тем его исходная температура может дальше отстоять от границ комфортной температуры поверхности кожи.

### **Результаты и обсуждение.**

В Таблице 1 приведены результаты экспериментов на искусственных кожах. Расчёт выводов о том, что одежда из конкретного материала (искусственной кожи) соответствует критерию комфортности вычисляется по формуле (10). Полученные данные актуальны при производстве одежды для массового потребления как на военных учреждениях, так и для гражданских и крупных промышленных предприятий.

Измерения проводились при комнатной температуре. Были проведены так же испытания при  $0^\circ\text{C}$  и  $-20^\circ\text{C}$  тепловой активности искусственных кож, однако результаты отличались от измерений при комнатной температуре не более 10%.

Тепловая активность искусственных кож.

№	Искусственная кожа	Тепловая активность, Дж/(м <sup>2</sup> ·К·с <sup>0,5</sup> )
1	Винилискожа ТР	290
2	Перчаточная, пористая	276
3	Винилискожа ТР, пористая	235
4	Винилискожа Т, галантерейная	450

### Выводы.

Рассмотрено количественное соотношение определяющее комфортность температурных ощущений МБО при соприкосновении с телами различной температуры, в частности с искусственными кожами.

### Библиографический список

1. Василевский Д.В., Преображенский Б.А., Спиринов Г.Г. Теплофизические аспекты взаимодействия пилота с внешней средой, Вестник МАИ, 2010, том 17, №4, с.23-26.
2. Ильин Б.И., Гурская А.В., Салохин В.Ф., Спиринов Г.Г. Измерения тепловой активности перегретых жидкостей // ИФЖ, 1975, том 29, №24, с.595-599.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 650с.
4. Спиринов Г.Г., Мышленник Г.В. Зондовые измерения теплопроводности твердых образцов // ИФЖ, 1985, том 49, №2, с.330.
5. Спиринов Г.Г. Измерение теплопроводности перегретых жидкостей // ИФЖ, 1978, том 35, №3, с.445-447.
6. Спиринов Г.Г. Методические особенности кратковременных измерений в стадии иррегулярного теплового режима // ИФЖ, 1980, том 38, №3, с.403-409.
7. Спиринов Г.Г., Поляков Ю.А. Измерение тепловой активности электропроводящих растворов // ИФЖ, 1971, том 21, №5, с.801.
8. Тимофеев О.А., Спиринов Г.Г., Василевский Д.В. метод исследования теплопроводности жидкостей в микрообъемах // Вестник МАИ, 2007, том 14, №1, с.50-56.

### Рецензенты:

Спиринов Геннадий Георгиевич, д.т.н., проф. кафедры «Физика» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва.

Камзолов Сергей Константинович, д.т.н., профессор кафедры «Физика» Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА), Заслуженный работник высшей школы РФ, Москва.