DOI: 10.18411/vntr2024-175-4

УДК 621.036:681.20

УСЛОВИЯ ФИКСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ПОТОВЫДЕЛЕНИЕМ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

© Александр Анатольевич Шульженко, Михаил Борисович Модестов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А.Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия
aa_shulzhenko.01@mail.ru

Аннотация. *В работе проводится математическое моделирование с целью определения возможности восприятия обратной реакции человека, в виде потовыделения, при использовании нагревателей, обладающих различными физическими свойствами. Приводятся примеры работы в тепловых системах, расположенных на поверхности тела человека, нагревателей с различными массами, теплоемкостями, теплопроводностями. Было выявлено, что при использовании нагревателей, обладающих определенными параметрами у тепловыделяющих элементов, изоляционных материалов, такое восприятие возможно. Моделирование проводилось на базе математических моделей, разработанных авторами, что является новизной. Данные результаты могут использоваться разработчиками изделий для обогрева человека, медицинскими работниками различных профилей.*
Ключевые слова: *электронагреватель, контактный обогрев, потовыделение, КГР, измерение.*

CONDITIONS FOR RECORDING TEMPERATURE CHANGES CAUSED BY HUMAN SWEATING DURING HEAT EXPOSURE

© Alexander Anatolyevich Shul’zhenko, Mikhail Borisovich Modestov
Federal State Budgetary Scientific Institution A.A. Blagonravov Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
aa_shulzhenko.01@mail.ru

Abstract. *The paper presents mathematical modeling to determine the possibility of perceiving a person's reverse reaction, in the form of sweating, when using heaters with different physical properties. Examples of operation in thermal systems located on the surface of the human body, heaters with different masses, heat capacities and thermal conductivities are given. It was found that when using heaters with certain parameters in heat-generating elements, insulating materials, such perception is possible. Modeling was carried out on the basis of mathematical models developed by the authors, which is novelty. These results can be used by developers of products for heating a person, medical workers of various profiles.*
Keywords: *woven electric heater, contact heating, sweating, GSR, measurement.*

Различного типа нагреватели уже давно и широко используются в медицинских целях [1]. Например, с их помощью осуществляют тепловое воздействие при лечении радикулита, для компенсации теплопотерь у ожоговых больных [2], для размораживания крови [3] и т.д. Еще одна возможность применения нагревателей была обнаружена совсем недавно. Эта возможность заключалась в отслеживании потовыделения, происходящего под воздействием нагревателей, путем измерения температуры [4, 5], что отличается от методов Фере и Тарханова [6].

Интересным оказался вопрос, при каких условиях становиться возможным отслеживание потовыделения с помощью измерения температуры на поверхности нагревателя [1].

Рассмотрим этот вопрос, для случаев, когда использовались нагреватели, такие как водяные, но в оболочке, или другого типа, например, электрогрелки. С этой целью проведем моделирование распространения температурных изменений, вызванных потовыделением, в тепловой системе, складывающейся на поверхности тела человека. Представим тепловую систему в виде тонкой стенки, состоящей из двух слоев (рис.1) в области при: $x < x_0$ - находится тело человека; $x_0 < x < x_1$ - промежуток между телом человека и нагревателем; $x_1 < x < x_2$ - нагреватель; $x > x_2$ - окружающая среда.

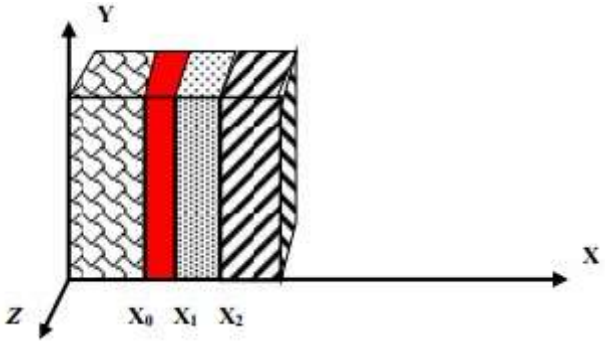


Рис. 1. Тепловая система на поверхности тела человека.

Начальные условия теплового состояния системы.

Будем считать температуру окружающей среды и температуру человека постоянной в течение всего времени проведения эксперимента

$$\Delta T_{sr} = const\,,\ \Delta T_{ch} = const.\ \text{при}\ t \le 0,\quad x_0 < x < x_1 \qquad (1)$$

При описании тепловой системы будем считать, что сам человека является со стороны промежутка между телом и нагревателем внешней средой с постоянным коэффициентом теплоотдачи,

$$\alpha_{ch} = const \qquad (2)$$

Для описания условий на границе между промежутком и телом человека будем использовать граничные условия III рода,

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial x} = \alpha_{ch} \cdot (\Delta T - \Delta T_{ch}) \qquad (3),$$

где λ_1 - коэффициент теплопроводности промежутка между телом человека и нагревателем; $\Delta T = T - T_{cp}$, T - текущее значение температуры; T_{cp} - температура окружающей среды; $\Delta T_{ch} = T_{ch} - T_{cp}$, T_{ch} - температура тела человека.

Для описания тепловых процессов в области промежутка между телом человека и тканым электронагревателем будем использовать уравнение Фурье с переменным коэффициентом теплопроводности [4]

$$\rho_1 \cdot c_1 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(\lambda_1(t) \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial x}) \quad \text{при } t > 0, x_0 < x < x_1 \qquad (4),$$

ρ_1 - плотность в промежутке; c_1 - удельная теплоемкость промежутка; x_0 - поверхность тела человека; x_1 - поверхность нагревателя со стороны промежутка; $\lambda_1(t)$ - коэффициент теплопроводности промежутка между телом человека и нагревателем.

При моделировании с помощью граничных условий II рода описывались тепловые процессы между промежутком и нагревателем

$$-\lambda_1 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial x}\Big|_{x=x_1} = -\lambda_2 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial x}\Big|_{x=x_1} \quad \text{при} \quad t > 0, \quad x = x_1 \qquad (5),$$

где λ_2 - коэффициент теплопроводности нагревателя.

Тепловые процессы в области нагревателя описывались уравнением Фурье с внутренним источником

$$\rho_2 \cdot c_2 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial^2 \Delta T}{\partial x^2} + q_v \quad \text{при} \quad t > 0, \quad x_1 < x < x_2 \qquad (6),$$

где q_v - объемное тепловыделение источника тепла; ρ_2 - плотность нагревателя; c_1 - удельная теплоемкость нагревателя.

На поверхности теплоизоляционного слоя применялись граничные условия III рода

$$-\lambda_2 \frac{\partial \Delta T}{\partial x} = -\alpha_{sr}(\Delta T_{ch} - \Delta T) \quad \text{при} \quad t > 0, \quad x = x_3 \qquad (7)$$

где $\alpha_{sr} = const$ - коэффициент теплоотдачи в окружающую среду является постоянной величиной.

Таким образом, используя выражения (1) - (7) смешанную задачу Коши можно представить

$$\begin{cases} \Delta T = \Delta T_{ch} \quad \text{при} \quad t = 0, \quad x = x_0 \\ \Delta T = \Delta T_{sr} = 0 \quad \text{при} \quad t = 0, \quad x = x_2 \\ -\lambda_1 \frac{\partial \Delta T}{\partial x} = -\alpha_{ch}(\Delta T_{ch} - \Delta T) \quad \text{при} \quad t > 0, \quad x = x_0 \\ \rho_1 \cdot c_1 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(\lambda_1(t) \frac{\partial \Delta T}{\partial x}) \quad \text{при} \quad t > 0, \quad x_0 < x < x_1 \\ -\lambda_1 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial x}\Big|_{x=x_1} = -\lambda_2 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial x}\Big|_{x=x_1} \quad \text{при} \quad t > 0, \quad x = x_1 \\ \rho_2 \cdot c_2 \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial^2 \Delta T}{\partial x^2} + q_v \quad \text{при} \quad t > 0, \quad x_1 < x < x_2 \\ -\lambda_2 \frac{\partial \Delta T}{\partial x} = -\alpha_{sr}(\Delta T_{ch} - \Delta T) \quad \text{при} \quad t > 0, \quad x = x_2 \end{cases} \qquad (8)$$

Далее, на основании сформулированной задачи (8), используя метод конечных разностей [7, 8], была написана программа [9].

Решая поставленную задачу для постоянных внешних условий в тепловой системе, но для различных параметров нагревателей, был получен результат, показывающий, что изменения температуры, вызванные потовыделением, в промежутке между нагревателем и телом человека под воздействием нагрева, могут, как подавляться, так и хорошо распространяться в пределах тепловой системы.

Рассмотрим, как будет распространяться тепловой сигнал при использовании нагревателя, созданного на основе материалов, обладающих малой массой, малой теплоемкостью, но достаточно большой теплопроводностью.

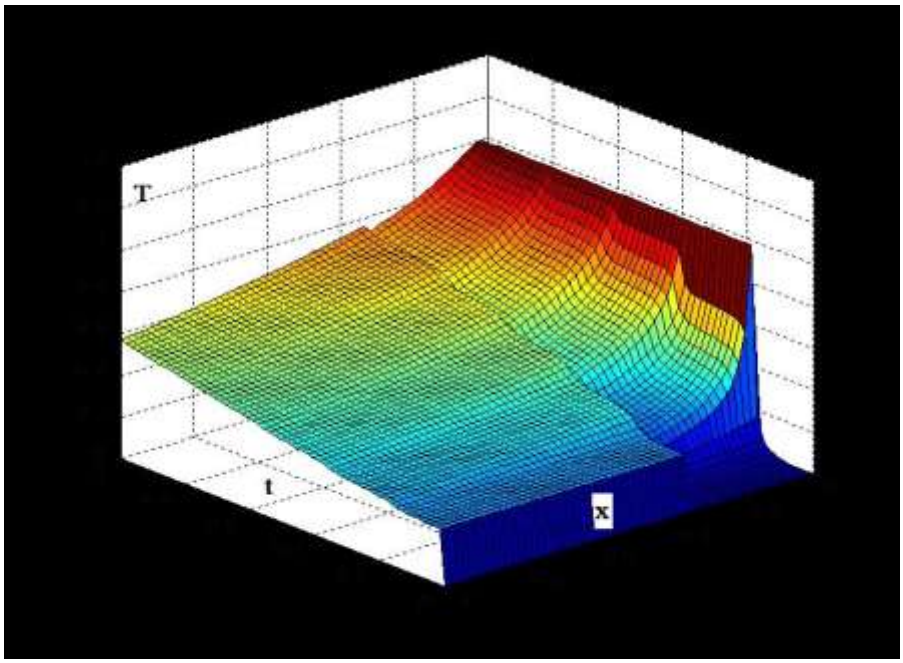


Рис. 2. Распространение изменений температуры во времени в пределах тепловой системы на поверхности тела человека при использовании нагревателя, обладающего малой массой, малой теплоемкостью и хорошей теплопроводностью.

Как хорошо видно на рис. 2, температурные колебания во времени, вызванные колебаниями коэффициента теплопроводности в области промежутка между телом человека и нагревателем за счет потовыделения, хорошо распространяются во всем пространстве тепловой системы.

Эти результаты математического моделирования хорошо совпадают с результатами, полученными в ходе натурного эксперимента. Термопара располагалась на поверхности нагревателя со стороны промежутка между телом человека и нагревателем (рис. 3).

Далее рассмотрим, какие происходят изменения в распространении колебаний температуры в тепловой системе при использовании нагревателя с большей массой и теплоемкостью, по сравнению с первым случаем, но при теплопроводности, как и в первом случае (рис. 4).

Колебания температуры в тепловой системе переместились в сторону к телу человека и их интенсивность существенно уменьшилась.

Однако, в этом случае, при повышении теплопроводности нагревателя можно опять добиться распространения изменений температуры за счет потовыделения в тепловой системе, аналогичного распространению температуры, показанному на рис. 2.

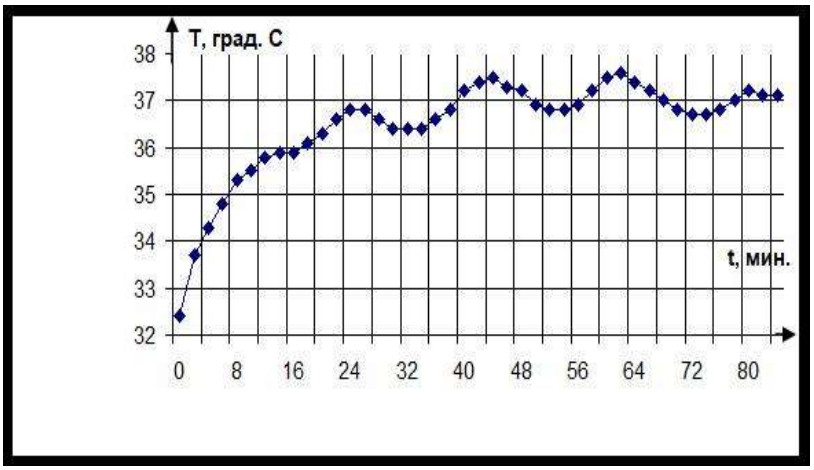


Рис. 3. Изменения температуры во времени на поверхности нагревателя, находящегося на теле человека и обладающего малой массой, малой теплоемкостью и хорошей теплопроводностью.

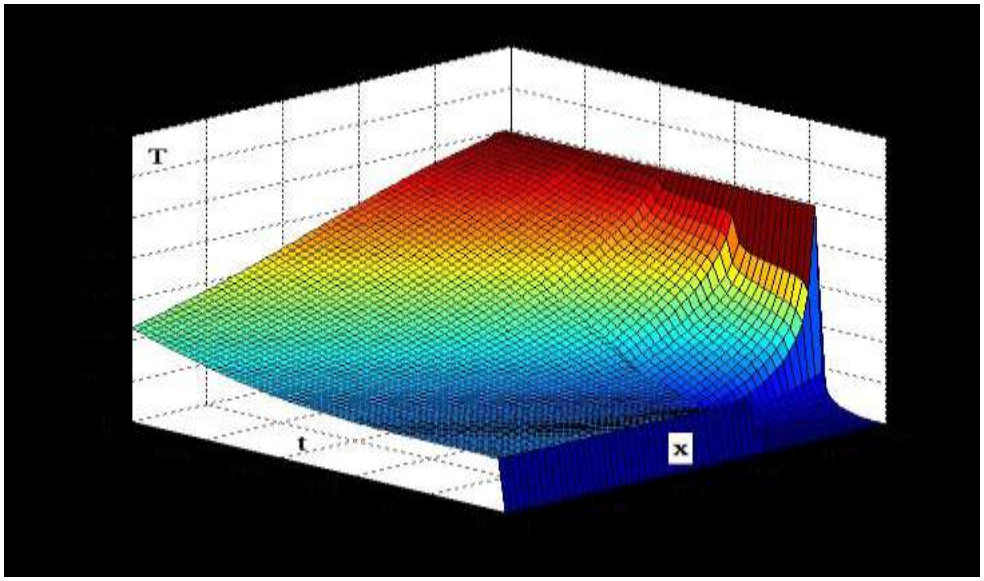


Рис. 4. Распространение изменений температуры во времени в пределах тепловой системы на поверхности тела человека при использовании нагревателя, обладающего большой массой, теплоемкостью и хорошей теплопроводностью.

Теперь посмотрим, что будет происходить в пределах этой же тепловой системы (для случая, показанного на рис. 4), но, если будем снижать теплопроводность нагревателя, то есть и масса, и теплоемкость, будут достаточно большими, а теплопроводность - низкая, например, как при использовании нагревателя в виде водяной грелки, (рис. 5).

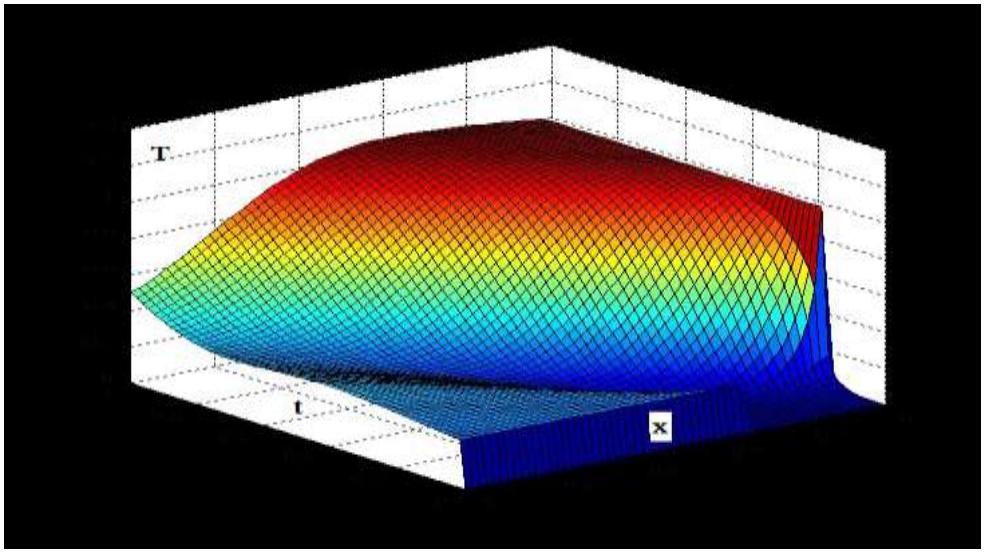


Рис. 5. Распространение изменений температуры во времени в пределах тепловой системы на поверхности тела человека при использовании нагревателя, обладающего большой массой, теплоемкостью и низкой теплопроводностью.

Как видно на рис. 5, колебания температуры во времени, не только в области нагревателя, а и вообще в тепловой системе совершенно пропали.

Конечно, рассмотренный пример происходящих на поверхности тела человека тепловых процессов в двухслойной тонкой стенке является упрощенным представлением реальной тепловой картины.

В действительности, используемый нагреватель и, в целом, вся тепловая система намного сложнее, но даже такое упрощенное представление дает возможность убедиться, что на распространение теплового сигнала от тела человека, отражающего реакцию человека в виде потовыделения, оказывает существенное влияние теплофизические параметры элементов тепловой системы.

То есть, для получения возможности распространения сигнала с целью его дальнейшей фиксации необходимо решить много критериальную задачу, связанную с тепловыми свойствами всех элементов, участвующих в работе тепловой системы, их согласования.

Список литературы

1. Vissler E.H. Human. Temperature. Control. B. - Springer, 2018. - 425 с.
2. Алексеев А.А., Виноградов В.Л., Модестов М.Б., Модестова О.Б., Чуйко Т.В., Шульженко А.А. Способ компенсирования теплопотерь у ожоговых больных. Патент № 2701170, М., 2019, Бюллетень № 27.
3. Шульженко А.А., Мнев Б.А., Модестов М.Б., Модестов Б.М. Способ размораживания жидких медицинских и пищевых продуктов и устройство его реализации. Патент РФ № 2552822, М., 2015, Бюллетень № 16.
4. Шульженко А.А., Модестов М.Б. Моделирование реакции человека на тепловое воздействие // Вестник научно-технического развития. – 2017. - № 5. - с. 23-33.
5. Шульженко А.А., Модестов М.Б., Модестов Б.М. Способ измерения реакции потовых желез человека при наличии теплового воздействия. Патент № 2578864, М., 2016, Бюллетень № 9.

6. Суходоев В.В. Модифицированная методика измерений и оценки кожно-гальванических реакций. - М.: ИП РАН,1990. - 84 с.
7. *Плохотников К.Э.* Вычислительные методы. Теория и практика в среде МАТЛАБ. Учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2013. - 496 с.
8. *Кузнецов Г.В., Шеремет М.А.* Разностные методы решения задач теплопроводности. – Томск: Из-во ТПУ, 2007. - 172 с.
9. Шульженко А.А., Модестов М.Б. Программа моделирования проявления новых возможностей тканого электронагревателя. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618044, М., 2020.

Дата поступления: 18 ноября 2024 г.