

УДК 536.2:518.355.4

## ВОЛНОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА И ТКАНЫЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛИ

© 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](mailto:aa_shulzhenko.01@mail.ru)

**Аннотация.** В данной работе определялось, как воздействуют на человека волновые сигналы в пределах длинноволнового ИК диапазона. Новизной в данной работе является использование тканых электронагревателей, не только для генерации волнового сигнала, воздействующего на человека, но и для получения ответного сигнала от человека на это воздействие. Данный метод запатентован. Работа представляет интерес для медицинских работников, а также для специалистов, занимающихся созданием изделий на основе тканых электронагревателей для человека.

**Ключевые слова:** углеродные (графитовые) нити, тканые электронагреватели, волновые процессы, длинноволновый инфракрасный диапазон, контактный обогрев.

## WAVE EFFECTS ON HUMANS AND WOVEN ELECTRIC HEATERS

© A.A. Shul'zhenko, M.B. Modestov

Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[aa\\_shulzhenko.01@mail.ru](mailto:aa_shulzhenko.01@mail.ru)

**Abstract.** In this work, we determined how wave signals within the long-wave IR range affect a person. The novelty in this work is the use of woven electric heaters, not only to generate a wave signal that affects a person, but also to receive a response signal from a person to this effect. This method is patented. The work is of interest to medical professionals, as well as to specialists involved in the creation of products based on woven electric heaters for humans.

**Keywords:** carbon (graphite) filaments, woven electric heaters, wave processes, long-wave infrared range, contact heating.

В медицине уже давно используются методы волнового исследования человека [1]. При таком исследовании на основании полученных результатов о состоянии объектов (например, его органов) и с использованием существующих методик делаются заключения о его здоровье, намечаются пути его лечения.

Волновые методы обычно предполагают наличие:

- источника волновых колебаний, обеспечивающего определенный частотный диапазон;
- способа доведения этих колебаний до человека;
- способ получения обратной реакции человека на волновое воздействие;

- инвазивность.

Несколько слов о частотных диапазонах, существующих в природе. В таблице 1 представлена уже устоявшаяся градация диапазонов частот [2].

Название диапазона	Длины волн, $\lambda$	Частоты, $f$	Источники
<u>Сверхдлинные</u>	более 10 км	менее 30 кГц	
<u>Длинные</u>	10 км — 1 км	30 кГц — 300 кГц	
<u>Радиоволны Средние</u>	1 км — 100 м	300 кГц — 3 МГц	Атмосферные и <u>магнитосферные</u> явления. Радиосвязь.
<u>Короткие</u>	100 м — 10 м	3 МГц — 30 МГц	
<u>Ультракороткие</u>	10 м — 1 мм	30 МГц — 300 ГГц <sup>[5]</sup>	
<u>Инфракрасное излучение</u>	1 мм — 780 нм	300 ГГц — 429 ТГц	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях.
<u>Видимое излучение</u>	780 — 380 нм	429 ТГц — 750 ТГц	
<u>Ультрафиолетовое</u>	380 нм — 10 нм	$7,5 \cdot 10^{14}$ Гц — $3 \cdot 10^{16}$ Гц	Излучение атомов под воздействием ускоренных электронов.
<u>Рентгеновское</u>	10 нм — 5 пм	$3 \cdot 10^{16}$ Гц — $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц.
<u>Гамма</u>	менее 5 пм	более $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Ядерные и космические процессы, радиоактивный распад.

Сигналы всех этих частот с той или иной степенью интенсивности воздействуют на человека в нашей повседневной жизни.

Волновые сигналы отслеживаются различными системами, имеющимися у человека. Так для фиксации сигналов звукового диапазона (20 Гц – 20 КГц) используется слуховая система, для отслеживания тепловых сигналов (21 ТГц – 43 ТГц) используется система терморегуляции, в которую входят огромное количество терморцепторов, видимый диапазон частот фиксируется с помощью зрения (430 ТГц - 750 ТГц) [3]. Естественно, что и при исследовании человека, его подсистем используются волновые методы.

Природа формирования сигналов различных диапазонов тоже различна. Поэтому для создания сигналов, воздействующих на человека и служащих для исследования его состояния, применяются устройства, построенные также на различных физических принципах:

- рентгеновские установки;
- ультразвуковые устройства;
- лазерно-доплеровские методы и т.д.

Следует отметить, что способы волнового исследования развиваются не только путем освоения новых частотных диапазонов, а и путем разработки новых устройств и освоения различных методов в пределах уже известных частотных диапазонов [2]. Так

рентгенологические исследования проводятся с использованием: рентгеноскопии, рентгенографии, флюорографии, компьютерной томографии [1].

Объектом нашего внимания является инфракрасный диапазон волн. Этот диапазон обычно подразделяют на ближнее ИК излучение (0,76-1,5 мкм), коротковолновое (1,5-5,5 мкм), длинноволновое (5,6-25 мкм) и дальнее (25-1000 мкм) [4]. Широко известны методы, в которых применяются сигналы инфракрасного (ИК) диапазона частот.

Проводятся исследования человека с помощью устройств, работающих в ближнем ИК диапазоне [5], то есть на человека воздействует сигнал от 120 ТГц до 430 ТГц. В этом случае, получают информацию о концентрации хромофоров оксигемоглобина, дезоксигемоглобина, миоглобина (только в мышцах), цитохромоксилазы и меланина кожи. Следует отметить, что при этом методе воздействующий на человека сигнал формируется с помощью лазерных диодов. С помощью лазерно-доплеровской флоуметрии (ЛДФ) определяют гемодинамику в организме. Метод ЛДФ основывается на оптическом зондировании тканей лазерным излучением и анализе рассеянного и отраженного излучения от движущихся в тканях эритроцитов. Измерения базируются на одной из главных особенностей этого метода - строгом соответствии между объемом функционирующего сосудистого русла и объемом циркулирующей по нему крови, определяемому по количеству эритроцитов в потоке крови [6]. Данный метод является неинвазивным.

Хорошо известен и метод ультразвуковой диагностики (УЗИ). Частотный диапазон генерируемых волн составляет 0,8 МГц до 20 МГц. Хотя этот частотный диапазон обладает более низкими частотами, чем инфракрасный, но он интересен тем, что с его помощью можно проводить исследования и получать визуализированную информацию о внутренних органах человека, о проходимости кровеносных сосудов и т.д..

Распространение волнового сигнала осуществляется исключительно контактным способом. УЗИ основывается на способности ультразвуковых волн отражаться от различных органов. Данный метод является малоинвазивным [7].

Уже сегодня, существуют измерительные устройства, позволяющие исследовать реакцию отдельных элементов организма человека на тепловые сигналы, то есть волновые сигналы длинноволнового ИК диапазона. К ним можно отнести, специальные устройства, термоды, в которых измерения поведения тепловых рецепторов осуществляется на фоне воздействия теплой водой или электричеством [3]. Такое воздействие обеспечивает влияние на формирование импульсов сокращений рецепторов. Следует отметить, что этот метод является инвазивным.

Существуют другие методы измерения результатов частотного воздействия в длинноволновом ИК диапазоне. Например, измерение потовыделения у человека при повышении температуры его тела (повышение температуры тела может происходить, как за счет внешнего теплового воздействия, так и за счет генерации тепла самим человеком (например, при выполнении физических упражнений)), или за счет повышения температуры внешней среды. При этом для отслеживания потовыделения - отклика на это воздействие, используются методы измерения, основанные на изменении электролитических свойств кожи, происходящих при потовыделении, предложенные У.Фере и Р.Тархановым [8]. Данные методы осуществляют только фиксацию выделения пота, но не позволяют стимулировать его генерацию. Метод является неинвазивным.

Еще одним примером метода измерения результатов при частотном воздействии является определение потовыделения с использованием пробы Минора. В этом случае в световой будке используют обычные лампы накаливания, которые обеспечивают тепловое, частотное воздействие на человека, и вызывают у него потовыделение. Для повышения эффекта за 10—

15 минут испытуемому дают аспирин. Затем руки смазывают равномерно растворами: йодной настойки, касторового масла и винного спирта,- после высыхания кожу припудривают тонким слоем предварительно просеянной крахмальной муки. Затем над руками помещают в световую будку, после чего будку и испытуемого накрывают одеялом для общего согревания. Через некоторое время появляются темные точки в областях выделения пота. Метод обладает и технологической сложностью, и сложностью конструкций используемых устройств. Он является полуинвазивным [9].

Используются методы исследования теплового состояния человека с помощью термальных ванн: водяных, грязевых и т.д.[5].

Следует уточнить, что тепловое волновое воздействие, с помощью различных грелок и ванн, осуществляется в пределах температур от 31 до 42°C, что соответствует диапазону частот от 21 ТГц до 43 ТГц частот, то есть частот генерируемых самим человеком [10] и принадлежащих к длинноволновому ИК диапазону. Такие уровни частотного воздействия теплового сигнала вызывают у человека привычные для него в повседневной жизни включения системы терморегуляции, ее подсистем. Отслеживание изменений на такое воздействие возможно с помощью измерения температур в различных областях тела.

Характерной чертой этих методов является громоздкость конструкции ванн и инвазивный характер измерения температур (например, измерение температур под кожей) [5]. Также, в этом случае невозможно отслеживать потовыделения непосредственно на поверхности тела человека, так как оно постоянно находится в состоянии соприкосновения с водой.

Еще одной особенностью при использовании водяных ванн является их низкая теплопроводность, высокая теплоемкость и большие массогабаритные размеры, существенно отличающиеся от обычных условий – условий воздушной среды, что вносит свои коррективы в проводимые измерения. Как было показано в работе [11], даже при использовании тепловых водяных грелок, а не ванн, возможность отслеживания обратной реакции человека на тепловой сигнал затруднена из-за их большой тепловой инерции.

Недостатки, связанные с массивностью водяных грелок и изменением физических характеристик на поверхности тела при применении водяных ванн, сложности конструкций и технологий измерений можно устранить при использовании тканых электронагревателей. Тепловой сигнал генерируется ими в основном под воздействием электрического поля, за счет фонон-фононного взаимодействия, происходящего в углеродных (графитовых) нитях, используемых в тканых электронагревателях в качестве тепловыделяющих элементов. Расчет частоты волнового сигнала  $f_{max}$ , согласно [12], можно произвести при использовании следующего выражения

$$f_{max} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \gamma}{M}} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{M}} \quad (1)$$

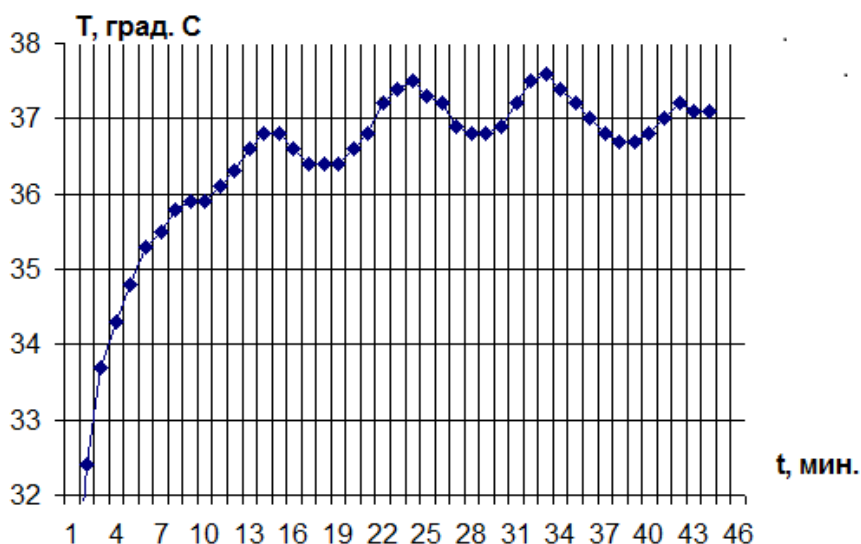
$\gamma$  – коэффициент квазиупругой силы,  $M$  – масса атома.

Оценка частоты колебаний оптической ветви при фонон-фононном взаимодействии произведенная с помощью (1) показывает, что эта частота примерно равна  $f_{max} \approx 20 \text{ ТГц}$ .

Тканые электронагреватели, расположенные на поверхности тела человека, позволяют обеспечить не просто генерацию терагерцовых тепловых сигналов, а и их высокопрецизионный характер воздействия. Происходит это за счет контактного способа передачи сигнала.

Кроме того, тканые электронагреватели способны не только осуществлять тепловое воздействие, а и воспринимать реакции человека на этот тепловой сигнал. Связано это с

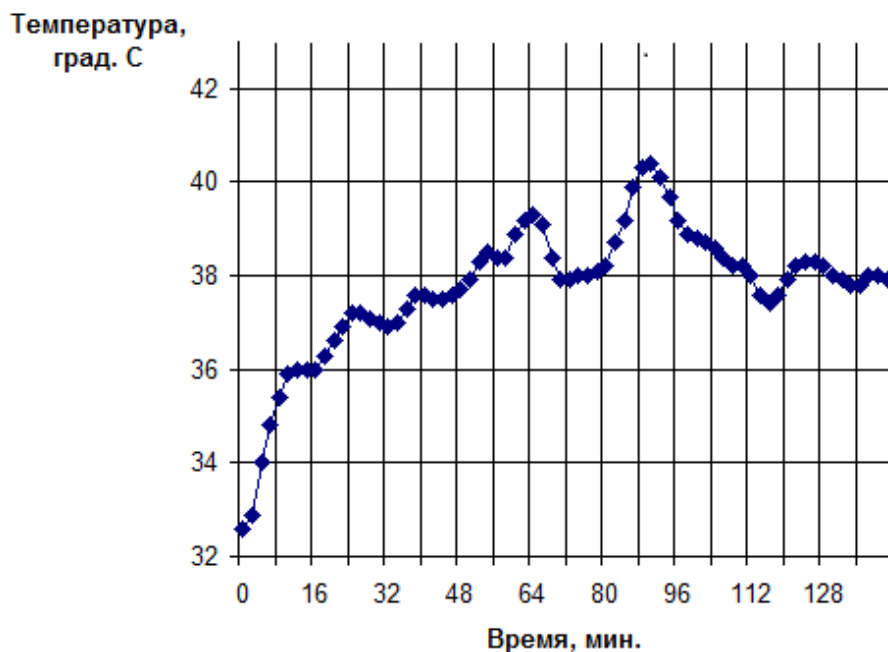
малой массой, низкой теплоемкостью и относительно высокой теплопроводностью этих электронагревателей. Измеряемая температура в области тканого электронагревателя, находящегося на поверхности тела человека, отражает не только изменения температуры, связанные с генерацией тепла нагревателем, а и реакцию человека на воздействующий на него тепловой сигнал. На рис. 1 показаны изменения температуры, вызванные потовыделением и его испарением [13].



**Рис. 1.** Суммарный тепловой сигнал в области тканого электронагревателя при воздействии на человека сигнала, достаточного только для включения подсистемы потовыделения.

На рис. 2 показаны суммарные изменения температуры во времени в области тканого электронагревателя при более длительном и более высоком уровне воздействия теплового сигнала.

Рассмотрим подробнее результаты экспериментов, приведенные на рис. 2. Они наглядно показывают, как включаются во времени механизмы терморегуляции, его подсистем, при воздействии сигналов инфракрасного диапазона. На первом этапе, от начала теплового воздействия до 5 мин., виден рост температуры, происходящий только за счет изменения температуры, генерируемой тканым электронагревателем. На 5 минуте, при достижении температуры, равной 34°C, на поверхности тела человека происходит потовыделение. На этом втором этапе, начиная с 5 минуты, за счет потовыделения, происходит изменение теплофизических параметров в промежутке между телом человека и нагревателем. Затем, температура снова начинает расти из-за испарения пота. Опять меняются теплофизические параметры в промежутке между телом человека и нагревателем. Суммарный сигнал в области тканого электронагревателя носит колебательный характер. И так до 54 минуты.



**Рис. 2.** Суммарный тепловой сигнал в области тканого электронагревателя при воздействии на человека сигнала, достаточного не только для включения подсистемы потовыделения, и других систем терморегуляции.

Начиная с 54 минуты, на третьем этапе, температура начинает расти еще больше, так как тепловая волна, сформированная за счет генерации тепла нагревателем на поверхности тела человека и тепла тела человека, достигает уровня срабатывания теплового рецептора, находящегося в теле человека. Рост температуры и срабатывание на 64 минуте теплового интерорецептора происходит из-за недостаточности потовыделения для компенсации внешнего тепла, что приводит к росту температуры за счет генерации тепла телом человека. При достижении на 64 минуте температуры  $39,3^{\circ}\text{C}$ , происходит дополнительное к механизму потовыделения включение подсистем терморегуляции человека, таких как: расширение сосудистого русла, испарение влаги в легких и т.д. Использование дополнительных подсистем терморегуляции приводит к более значительному снижению температуры тела человека, и как следствие, температуры в области тканого электронагревателя.

### **Выводы.**

Проведенные исследования показали, что тканые электронагреватели, в которых углеродные нити являются тепловыделяющими элементами, генерируют длинноволновый ИК сигнал, идентичный сигналам, воздействующим на человека в повседневной жизни. Тканые электронагреватели позволяют с помощью сгенерированного теплового сигнала включать в действие систему терморегуляции человека.

Именно тканые электронагреватели, как уже отмечалось в [11], позволяют устойчиво получать в области их нахождения отклик на длинноволновый ИК сигнал.

Можно отметить простоту конструкции используемого тканого нагревателя.

Данный метод является неинвазивным.

Список литературы

1. Алешкевич А.И. Лучевая диагностика и лучевая терапия. - М.: Новое знание, 2017.-382с.
2. Мощанский Ю.В., Нечаев А.С. Теоретические основы радиотехники. Сигналы. Учебное пособие. - М.: Издательство «Лань», 2016.-213 с.
3. Иванов К.П., Минут-Сорохтина О.П., Майстрах Е.В. Физиология терморегуляции. - Л. Наука, 1984. - 470 с.
4. Зарецкий В.В., Выховская А.Г. Клиническая термография. - М.: Медицина, 1976. – 168 с.
5. Eugene H. Vissler Human. Temperature. Control. - B.Springer, 2018.- 425 p.
6. Козлов В.И. Развитие системы микроциркуляции. - М., 2012. – 328 с.
7. Сайт:[http://vmede.org/sait/?id=Gigiena\\_truda\\_izmerov\\_2010&menu=Gigiena\\_truda\\_izmerov\\_2010&page=14](http://vmede.org/sait/?id=Gigiena_truda_izmerov_2010&menu=Gigiena_truda_izmerov_2010&page=14)
8. Суходоев В.В. Модифицированная методика измерений и оценки кожно-гальванических реакций. - М.: ИП РАН,1990. - 84 с.
9. Сайт: [https://dommedika.com/xirurgia/issledovanie\\_potootdelenia.html](https://dommedika.com/xirurgia/issledovanie_potootdelenia.html)
10. Сайт: <http://biofile.ru/bio/3882.html>
11. Шульженко А.А., Модестов М.Б. Моделирование тепловых процессов нагревательной системе// Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2021. - № 2. - С. 116-124.
12. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – М.: Мир, 1978. – 616 с.
13. Шульженко А.А., Модестов М.Б. Моделирование реакции человека на тепловое воздействие// Вестник научно-технического развития. – 2017. - № 5. - С. 23-33.

*Дата поступления: 15 марта 2021 г.*