

УДК 616-71

А.В. Литвинов, А.В. Кобзев, В.Д. Семенов, Д.О. Пахмурин, В.Н. Учаев, А.Ю. Хоторной

Электротепловая модель локального объёма живой ткани для исследования тепловых процессов при реализации локальной гипертермии

Описывается модель области живой биологической ткани, полученная с использованием электротепловой аналогии. Модель обеспечивает возможность проводить исследования тепловой передачи энергии от игольчатых нагревателей, окружающих биологическую ткань, в ходе реализации локальной гипертермии.

Ключевые слова: электротепловая аналогия, биологическая ткань, теплопередача, теплоёмкость, электрическая модель.

Разработан комплекс для реализации локальной гипертермии [1–3], предназначенный для лечения онкологических заболеваний мягких тканей. Принцип его работы заключается в стабилизации температуры на игольчатых нагревателях. Игольчатые нагреватели помещают вокруг опухоли, а устройство стабилизирует температуру 45 °C на каждом игольчатом нагревателе. Процесс стабилизации температуры на каждом нагревателе не зависит от других. Чтобы проверить правильность работы устройства стабилизации температуры комплекса локальной гипертермии и верность расчета параметров схемы, планируется создать его электрическую модель. Модель будет управлять процессом стабилизации температуры на нагревателе согласно заложенным алгоритмам программы. Но для начала необходимо создать модель локальной области живой ткани в той же программной среде, в которой будет создана модель устройства стабилизации температуры. В качестве среды моделирования выбран Matlab, так как в нем есть все необходимые пакеты и инструменты.

Для того чтобы построить модель локальной области живой ткани в программной среде Matlab, мы использовали метод электротепловой аналогии, который применяется для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности с одно-, двух- и трехмерным направлением теплового потока. Метод электротепловой аналогии предусматривает взаимосвязь между электрическими и тепловыми параметрами. Температура и электрический потенциал представляются как напряжение, коэффициент теплопроводности – как удельная электрическая проводимость, теплоемкость – как электрическая емкость, термическое сопротивление – как электрическое сопротивление, плотность теплового потока как электрический ток. Замена осуществляется путем подстановки соответствующих электрических величин с соответствующими размерными коэффициентами [4–5].

Для создания адекватной модели для расчёта температуры в произвольных участках области нагрева было решено провести исследование передачи тепла от игольчатых нагревателей в локальную область живой биологической ткани с построением электротепловой модели данной среды. Входной сигнал для среды – температура игольчатого нагревателя, выраженная в виде напряжения U_t . Температура U_t передается на равномерно распределенное тело, обладающее теплоемкостью, которая выражается как электрическая емкость C . Температура U_t передается через тепловое сопротивление, которое выражается в виде электрического сопротивления R .

На рис. 1 представлена электрическая модель участка области нагрева, составленная по правилам электротепловой аналогии. На рис. 1, а представлен вид области живой ткани, разделенной на сегменты, обладающие своей теплоёмкостью C_i и температурой T_i . На рис. 1, б изображена электрическая модель этих сегментов, которые соединены между собой электрическими сопротивлениями, эквивалентными тепловому сопротивлению между граничными сегментами. Значения температур в сегментах представлены электрическими контактами $In_1\dots In_4$, потенциал измеряют относительно общей точки Out_6 . Контакты $Out_1\dots Out_4$ служат для подключения следующего такого же сегмента, чтобы можно было получить круговую область.

Процесс нагрева моделируется для среды «живой организм», а значит температура, которая окружает область нагрева, – это 36,6 °C. Поэтому к общему контакту Out_5 подключается источник опорного напряжения 36,6 В. Центральная часть области всех сегментов сходится в одной точке Out_0 .

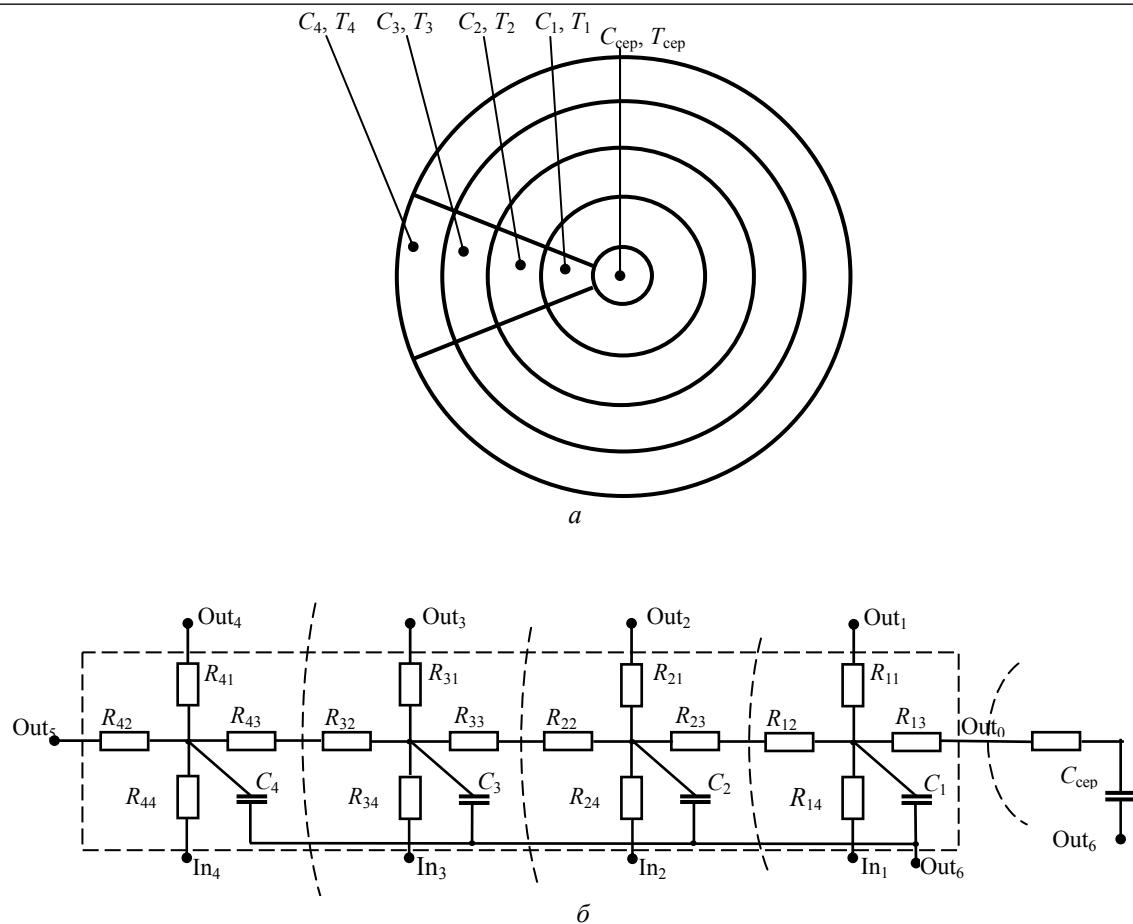


Рис. 1. Модель сегмента области нагрева живой ткани:
 α – рисунок сегмента области нагрева; β – модель сегмента области нагрева в Matlab

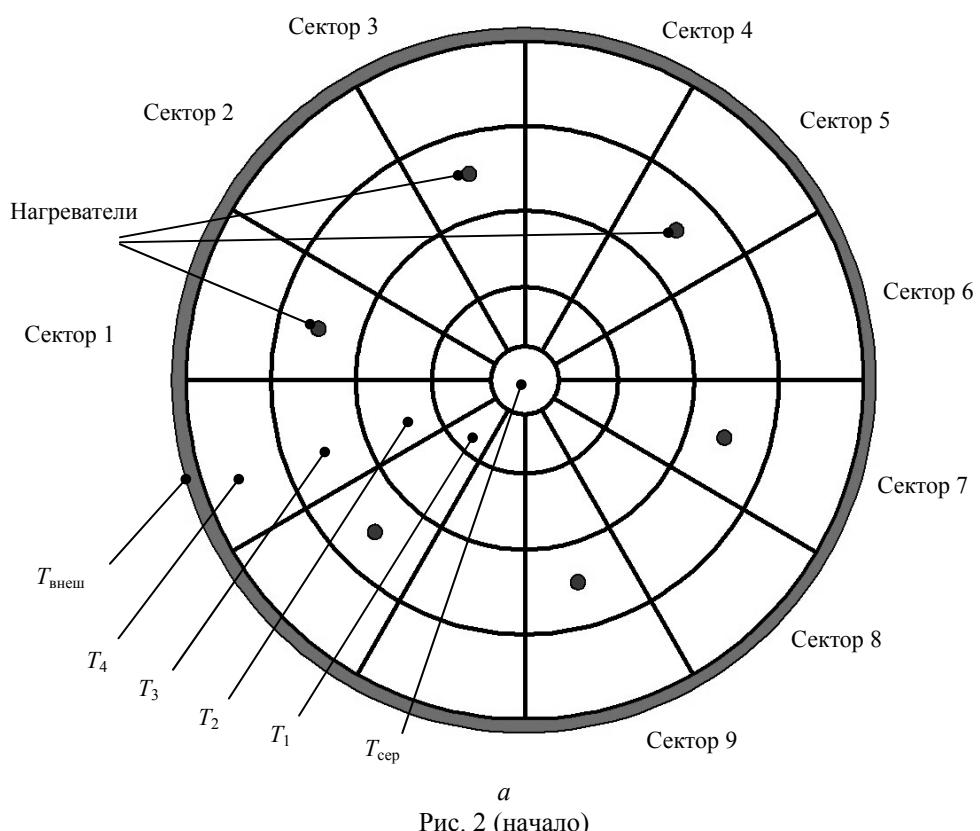


Рис. 2 (начало)

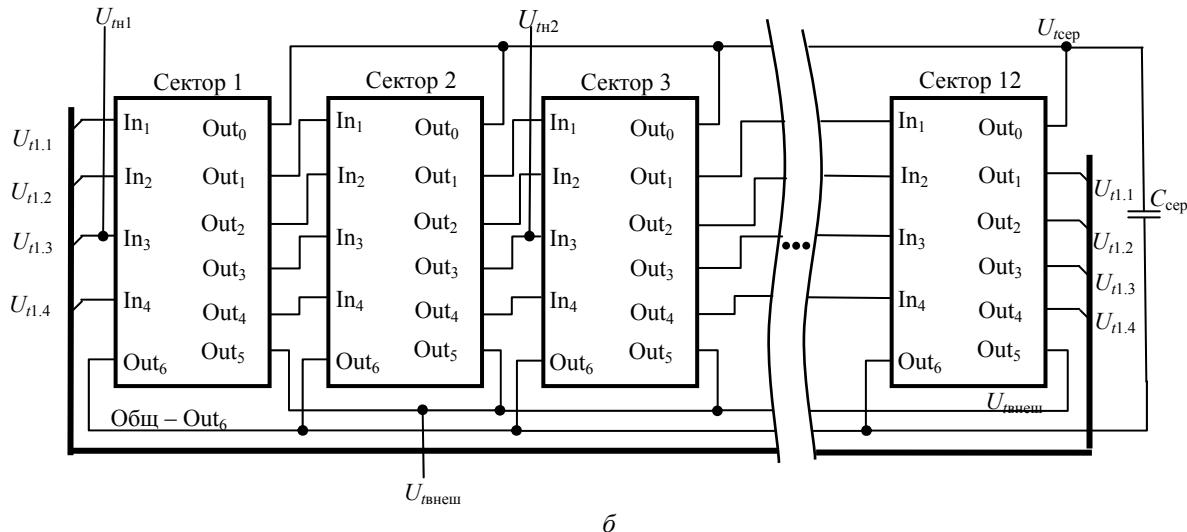


Рис. 2 (окончание). Модель области живой ткани для нагрева:
а – представление в виде рисунка, б – представление в Matlab

На рис. 2, б представлена модель области живой ткани, полученная в программной среде Matlab. Здесь имеются контакты для подключения нагревателей в места позиционирования игольчатых нагревателей, температура которых представлена в виде напряжения U_{th} , которое прикладывается относительно общей точки Out_6 . Распределение температурных полей можно измерить в точках $Out_0 - Out_5$ в каждом секторе. Контакт Out_0 имеет напряжение U_{tcep} , которое соответствует температуре в центре нагреваемой области. $Out_1 - Out_4$ имеют напряжения $U_{t1.1} - U_{t1.4}$, соответствующие значениям температуры в точках $T_1 - T_4$, а Out_5 – напряжение $U_{tвнеш}$ – температуре внешней среды $T_{внеш}$. Все 12 секторов соединены между собой в единую электрическую цепь, соответствующую рассматриваемой зоне нагрева биологической ткани, представленной на рис. 2, а.

Заключение. В работе получена электротепловая модель локальной области живой ткани, позволяющая исследовать тепловые процессы при нагреве конкретной области биологической ткани с известными теплофизическими параметрами. Для проведения расчетов по правилам для электрических цепей необходимо будет использовать параметры для конкретного вида живой ткани [6].

Модель области нагрева в дальнейшем будет использоваться для проверки работоспособности устройства стабилизации температуры, а также для исследований тепловых процессов передачи тепла от нагревательных элементов, которыми управляет устройство стабилизации температуры.

Литература

1. Патент 78659 РФ, МПК А61В 18/04. Установка и устройство для лечения опухолевых заболеваний / А.В. Кобзев, Д.О. Пахмурин, В.Д. Семенов, А.А. Свиридов. – № 2008128639/22; заявл. 14.07.2008; опубл. 10.12.2008. Бюл. № 34. – 3 с.
2. Управление электронными игольчатыми нагревателями при реализации метода локальной гипертермии и его экспериментальная проверка / А.В. Кобзев, В.Д. Семенов, Д.О. Пахмурин, А.В. Литвинов, А.Ю. Хуторной, В.Н. Учаев // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2 (22), ч. 2. – С. 300–302.
3. Патент 98116 РФ, МПК А61В 18/12. Установка локального нагрева биологической ткани / А.В. Кобзев, В.Д. Семенов, Д.О. Пахмурин, А.А. Свиридов, В.А. Федотов, А.В. Литвинов, А.Ю. Хуторной, В.Н. Учаев. – № 2010118885/14; заявл. 11.05.2010; опубл. 10.10.2010. Бюл. № 28. – 4 с.
4. Тугов Н.М. Полупроводниковые приборы: учеб. для вузов / Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков; под ред. В.А. Лабунова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
5. Вавилов А.Ю. Теплофизические параметры тканей внутренних органов человека в раннем постмортальном периоде для целей определения давности наступления смерти термометрическим способом: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2000. – 24 с.
6. Фокин В.М. и др. Основы технической теплофизики / В.М. Фокин, Г.П. Бойков, Ю.В. Видин. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 172 с.

Литвинов Александр Викторович

Инженер ООО «ПромЭл», г. Томск

Тел.: 8-923-414-13-33

Эл. почта: exet@mail.ru

Кобзев Анатолий Васильевич

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. промышленной электроники (ПрЭ) ТУСУРа

Тел.: (382-2) 51-05-30

Эл. почта: akobzev@ie.tusur.ru

Семенов Валерий Дмитриевич

Канд. техн. наук, профессор, зам. зав. каф. ПрЭ по научной работе

Тел.: (382-2) 413-918

Эл. почта: svd@ie.tusur.ru

Пахмурин Денис Олегович

Канд. техн. наук, доцент, зав. лабораторией каф. ПрЭ

Тел.: 8-903-913-46-38

Эл. почта: mbasmt@gmail.com

Учаев Виктор Николаевич

Инженер ООО «ПромЭл»

Тел.: 8-923-423-17-00

Эл. почта: viktor_86@sibmail.com

Хуторной Александр Юрьевич

Аспирант каф. ПрЭ, мл. науч. сотрудник

лаборатории интелектуально-модуляционных энергетических систем

Тел.: 8-913-883-26-26

Эл. почта: work.tusur@gmail.com

Litvinov A.V., Kobzev A.V., Semenov V.D., Pakhmurin D.O., Uchaev V.N., Khutornoy A.U.

Electricity and model of the local volume of tissue for study of thermal processes in the implementation of local hyperthermia

The paper describes the model area of living biological tissue obtained using electro-thermal analogy. The model provides the opportunity to study the thermal energy transfer from the needle heaters surrounding biological tissue during the implementation of local hyperthermia.

Keywords: Electricity analogy, biological tissue, heat transfer, thermal capacity, electric model.