

мощности (TRP) волны TM_{01} в дальней зоне (3 м), излучаемой антенной (рупором), от местоположения диафрагмы Z_d в интервале частот 3,2...3,5 ГГц. Численное исследование показало, что коэффициент прохождения, полная излучаемая мощность и максимальная плотность излучения волны E_{01} обладают максимальными значениями при одном и том же значении частот и местоположении диафрагмы.

Заключение. Основными модами коаксиального виркатора являются моды TM_{01} и TE_{11} . В виркаторе со взрывоэмиссионном катодом может иметь место нарушение симметрии радиально-сходящегося электронного пучка и возбуждаться волна TE_{11} одновременно с волной TM_{01} (рис. 1, *в*). Однако, как показали численные исследования, с помощью диафрагмы можно проводить селекцию мод, определяя условия наиболее эффективного взаимодействия пучка с волной TM_{01} (рис. 1, *б*) и осуществляя генерацию электромагнитных колебаний в одномодовом режиме. Результаты численного исследования находятся в хорошем согласии с экспериментом, проведенным в НИ ТПУ ФТИ.

Список литературы

1. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Жерлицын А.Г. Генерация электромагнитных колебаний в системах с виртуальным катодом // Плазменная электроника. Сб. научных трудов под ред. В.И. Курилко. – Киев. – Наукова думка. – 1989. – С. 112–131.
2. Жерлицын А.Г. Генерация СВЧ излучения в триоде с виртуальным катодом коаксиального типа // Письма в ЖТФ. – 1990. – Т.16. – № 22. – С.78–80.
3. Григорьев В.П. Электромагнитное излучение в коаксиальном триоде с виртуальным катодом // Журнал технической физики. – 1994. – Т.64. – № 7. – С. 122–129.
4. Jiang W., Woolverton K., Dickens J., Kristiansen M. High Power Microwave Generation by a Coaxial Virtual Cathode Oscillator // IEEE transaction on plasma science. – 1999. – V. 27. – N 5. – P. 1538–1542.
5. Tuan N.M., Koval T.V., Melnikov G.V., Zherlitsyn A.G. The Research of the Coaxial Viricator with a Symmetric Converging Electron Beam // Proc. of 16th International Symposium of High Current Electronics. Tomsk, Russia, September 19–24, 2010. – P. 497–500.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕРЦАТЕЛЬНОЙ АРИТМИИ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА

*Нгуен Тхи Динь, А.С. Огородников
(г. Томск, Томский политехнический университет)
E-mail: dinhnguyen1610hv@gmail.com*

MATHEMATICAL MODELING OF THE ATRIAL FIBRILLATION FORMATION OF THE HUMAN HEART

*Nguyen Thi Dinh, A.S. Ogorodnikov
(Tomsk, Tomsk Polytechnic University)*

Abstract. This paper deals with the modeling of the electrical system of the human cardiac tissue. The paper's aim is creation of the model, which geometrical structure is closed to the actual geometry of the human heart. The processes occurring in the heart muscle are modeled by solving a system of nonlinear differential equations in COMSOL Multiphysics.

Keywords: the finite element method, cardiac arrhythmia, atrial fibrillation, the Landau-Ginzburg equations, COMSOL Multiphysics.

Введение. Под мерцательной аритмией на сегодняшний день понимают учащение ритма и беспорядочное сокращение сердечной мышцы, которые, в свою очередь, являются результатом возбуждения хаотических ионных токов [1]. В работе рассматривается построение

модели (рис. 1), упрощенная геометрическая структура которой близка к реальной геометрии человеческого сердца, как и в работе [2], а потенциалы электрического поля, генерируемого в сердечной мышце, находятся из решения краевой задачи для системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных Ландау-Гинзбурга [3]. Для исследования таких аритмий создаются трехмерные модели распространения ионных токов по клеткам миокарда человеческого сердца.

Материал и методы. Легковозбудимые среды – это общее понятие, которое используется при моделировании большого числа физических явлений, в частности, распространения электрических сигналов в сердечной мышце [2]. Уравнения Ландау-Гинзбурга для возбудимых сред описывают простейшие физиологические модели с двумя переменными, активатора и ингибитора [4]:

$$\begin{cases} u_{1t} - \Delta(u_1 - c_1 u_2) = u_1 - (u_1 - c_3 u_2)(u_1^2 + u_2^2) \\ u_{2t} - \Delta(c_1 u_1 + u_2) = u_2 - (c_3 u_1 + u_2)(u_1^2 + u_2^2) \end{cases} \quad (1)$$

Здесь u_1 – потенциал активатора, и u_2 – потенциал ингибитора. Константы c_1 и c_3 – параметры, отражающие свойства материала. Эти константы определяют наличие и характер устойчивых решений. Эти константы определяются электропроводящими свойствами клеток сердечной мышцы.

Начальное условие ($t=0$) определяет распределение потенциалов u_1 и u_2 :

$$\begin{aligned} u_1(0, x, y, z) &= \tanh(z) \\ u_2(0, x, y, z) &= -\tanh(z) \end{aligned} \quad (2)$$

Метод конечных элементов (который реализован в пакете COMSOL) выбран в качестве метода решения системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных (1). Использование данного метода подразумевает введение некоторых упрощений в исходную модель. В частности, поверхность геометрического тела для метода конечных элементов представляет собой набор подобластей, определяемых конечным числом параметров.

Результаты. На рис. 2 представлено распределение электрического потенциала u_1 по поверхности камер сердца. Наиболее интенсивный красный цвет соответствует наибольшему значению потенциала, синий, в свою очередь, соответствует наименьшему значению потенциала.

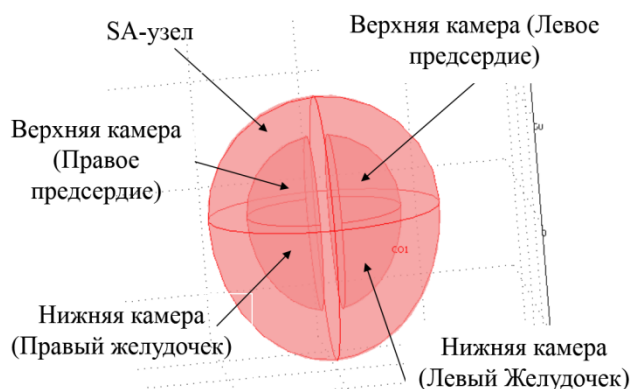


Рис. 1. Упрощенная модель сердца

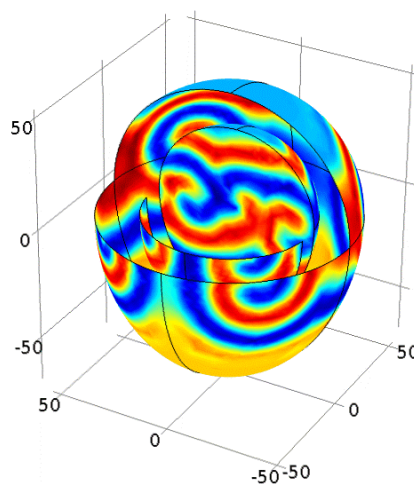


Рис. 2. Распределение электрического потенциала u_1

Из рисунка можно увидеть, что распределение формируется характерным спиралевидным узором, начинаясь в том месте, где предположительно в сердце человека находится синусно-предсердный узел, а затем затухает на периферии.

Заключение. Для решения поставленной задачи использовался метод конечных элементов, использовался набор встроенных модулей COMSOL Multiphysics для моделирования физических процессов, связанных с рассматриваемым процессом, в частности, модули, основанные на математических формулировках задач. Кроме того, построена трехмерная модель сердца и визуализирована передача электрических сигналов в электрической системе сердца. Следует отметить, что результаты, представленные здесь, могут быть использованы только в качестве первой оценки качественного поведения, которое можно ожидать от системы при заданных биохимических, физических параметрах тканей. Дальнейшие результаты моделирования могут быть получены путем изменения констант c_1 и c_3 таким образом, чтобы найти области существования устойчивых колебаний электрических потенциалов. В дальнейшем в ходе проведения вычислительных экспериментов необходимо также подбирать параметры решателей и сеток таким образом, чтобы избежать численной неустойчивости.

Список литературы

1. Кушаковский М.С. Аритмии сердца. – М.: Наука. – 1992. – 465 с.
2. Асланиди О.В., Морнев О.А. Эхо в возбудимых волокнах сердца // Математическое моделирование. – 1999. – Т.11. – С. 3–22.
3. Дядова А.В., Огородников А.С. Моделирование распространения электрических сигналов в сердечной мышце человека с использованием программного пакета COMSOL // Бюллетень сибирской медицины. – 2014. – Т.13. – № 4 – С. 43–46.
4. FitzHugh R.A. Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane // Biophys. J., 1961. pp. 445–461

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ НЕПРЕРЫВНЫХ ДРОБЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СТОХАСТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

М.А. Новосельцева, Е.С. Агеева
(г. Кемерово, Кемеровский государственный университет)
E-mail: man300674@gmail.com, lenus1000@mail.ru

USING THE THEORY OF CONTINUED FRACTIONS TO CONSTRUCT STOCHASTIC MODELS OF THE OBJECT WITH DIFFERENT INPUTS

M.A. Novoseltseva, E.S. Ageeva
(Kemerovo, Kemerovo State University)

Abstract. In work the method of structural and parametrical identification of dynamic object at casual entrance influence in the conditions of aprioristic uncertainty is offered. The main mathematical apparatus in work is the theory of continuous fractions which is the section of algorithmic mathematics. The method allows to define structure and parameters of models of object, excluding thus search of trial models and procedure of adjustment of model.

Keywords: Structural-parametric identification, continuous fraction, identifying the matrix, discrete transfer function, correlation function

Введение. Вопросы идентификации процессов и явлений занимают одно из центральных мест в современной теории управления и принятия решений. В условиях априорной неопределенности информация играет большую роль, так как от ее анализа во многом зависит применение тех или иных методов, позволяющих получить математическое описание исследуемого объекта. Прежде чем применять методы параметрической идентификации необходимо определить структуру модели. Это одна из основных проблем теории идентификации. Основные подходы к выбору структуры по-прежнему основываются на интуиции исследователя и методе