

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Щербаков И.Д., Алексанян Г.К., Кучер А.И., Сулыз А.В., Моряхин Е.А.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,  
Новочеркасск, e-mail: graer@yandex.ru*

Работа посвящена разработке технических средств трехмерной визуализации внутренних структур в устройствах электроимпедансной томографии с поддержкой измерений в нескольких поясах пациента. В работе описываются принципы построения программного обеспечения представления внутренних структур исследуемого объекта в виде трёхмерного изображения. Построена трехмерная модель в виде объемной сетки конечных элементов для задач трехмерной электроимпедансной томографии, разработано программное обеспечение визуализации методом трехмерной электроимпедансной томографии. Разработаны алгоритмы функционирования информационно-измерительной системы, на основе которых разработано программное обеспечение. В результате разработки программного обеспечения получено представление внутренних структур исследуемого объекта в виде трёхмерного изображения. Получены изображения нескольких томографических срезов, соответствующих изменению электрических параметров внутренних структур, расположенных в плоскости размещения электродных поясов, подключенных к аппаратно-программному комплексу электроимпедансной томографии. Полученное представление предоставляет пользователю новую функциональность в виде возможности изучения нескольких томографических срезов, соответствующих изменению электрических параметров внутренних структур, расположенных в плоскости размещения электродных поясов. Кроме того, разработанный программный модуль позволяет задавать пользователю цветовую палитру и уровни прозрачности для визуализируемых томографических срезов для повышения информативности их отображения.

**Ключевые слова:** трехмерная электроимпедансная томография, трехмерная модель

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE MODULE OF THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION IN THE COMPOSITION OF THE INFORMATION-MEASUREMENT SYSTEM OF ELECTROIMPEDANCE TOMOGRAPHY

Shcherbakov I.D., Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Sulyz A.V., Moryakhin E.A.

*South Russian State Polytechnic University (NPI) them. M.I. Platova, Novochechassk,  
e-mail: graer@yandex.ru*

The work is devoted to the development of technical means of three-dimensional visualization of internal structures in electrical impedance tomography devices with support of measurements in several zones of the patient. The paper describes the principles for constructing software for representing the internal structures of the object under study as a three-dimensional image. A three-dimensional model was constructed in the form of a volume finite-element mesh for three-dimensional electrical impedance tomography problems, and visualization software was developed using the three-dimensional electrical impedance tomography method. Algorithms for the functioning of the information-measuring system, on the basis of which the software has been developed, have been developed. As a result of software development, a representation of the internal structures of the object under study in the form of a three-dimensional image was obtained. Images of several tomographic slices were obtained that correspond to changes in the electrical parameters of the internal structures located in the plane of placement of the electrode belts connected to the hardware-software complex of electrical impedance tomography. The resulting representation provides the user with new functionality in the form of the possibility of studying several tomographic slices corresponding to a change in the electrical parameters of the internal structures located in the plane of placement of the electrode belts. In addition, the developed software module allows you to set a custom color palette and transparency levels for visualized tomographic slices to increase the information content of their display.

**Keywords:** three-dimensional electrical impedance tomography, three-dimensional model

Одним из подходов к двумерной визуализации результатов реконструкции измерений, полученных методом электроимпедансной томографии (ЭИТ), является построение сетки конечных элементов [1]. В работе описываются принципы построения программного обеспечения представления внутренних структур исследуемого объекта в виде трёхмерного изображения. Такое представление данных даст поль-

зователю возможность изучения нескольких томографических срезов, получаемых устройством и лежащих в плоскости наложения электродных поясов. Для получения трехмерного изображения модели необходимо выбрать геометрические объекты, с помощью которых возможно построение структуры исследуемого объекта.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения (ПО) мо-

для трехмерной визуализации в составе информационно-измерительной системы электроимпедансной томографии.

Для достижения поставленной цели в рамках данной статьи предлагается разработка принципов построения ПО, алгоритмов функционирования ИИС ЭИТ, трехмерной модели томографического среза исследуемого объекта. В результате предложена разработка программного обеспечения модуля трехмерной визуализации, выполняющего функции приема, обработки, анализа и реконструкции визуализации измерительных данных.

### Материалы и методы исследования

В качестве трехмерного конечного элемента выбрана треугольная прямая призма, так как за основу трёхмерной модели взяты треугольные нерегулярные сетки конечных элементов [1], каждая из которых представляет отдельный томографический срез. Соответственно, получение необходимого трехмерного конечного элемента в виде треугольной прямой призмы осуществляется параллельным переносом исходной геометрической фигуры (треугольника) перпендикулярно плоскости, в которой он лежит. Изображение полученного трехмерного конечного элемента показано на рис. 1.

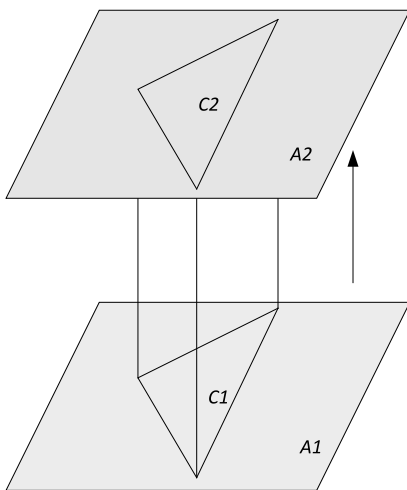


Рис. 1. Изображение конечного элемента томографического среза трехмерной ЭИТ

На рисунке представлен конечный элемент исходного томографического среза *C1*, лежащий в плоскости *A1*, в результате параллельного переноса образована плоскость *A2* и принадлежащий ей элемент томографического среза *C2*, и, соответственно, объемный конечный элемент, применение которого возможно в трехмерной ЭИТ.

Средствами платформы *Java* [2, 3] разработан модуль *monitoring3D*, включающий в себя пакеты, необходимые для работы с геометрическими объектами и отображения графического интерфейса.

На рис. 2 представлена структура организации модуля *monitoring3D*:

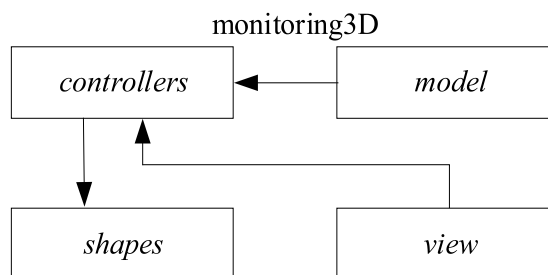


Рис. 2. Структурная схема программного модуля *monitoring3D*

В программный модуль *monitoring3D* входят следующие компоненты:

- 1) пакет *view*, который содержит классы, отвечающие за визуальное отображение данных как результат отслеживания изменения модели;
- 2) пакет *model*, который содержит классы для работы с подключенным устройством, служащим источником измерительных данных;
- 3) пакет *controllers* содержит набор классов, который интерпретирует действия пользователя, оповещая модель о необходимости изменений, а также включает в себя классы, нужные для взаимодействия с пакетом пакетов *view*;
- 4) пакет *shapes* содержит класс для построения 3-мерной фигуры.

Взаимодействие пакетов организовано согласно шаблону проектирования (паттерну) *MVC* [4, 5], или «Модель-Вид-Контроллер», который обеспечивает разделение ПО на три отдельных компонента: модель, вид и контроллер.

С помощью *MVC* происходит разделение вида и модели, между ними устанавливается протокол взаимодействия «подписка/оповещение». Вид должен гарантировать, что внешнее представление отражает состояние модели. При каждом изменении внутренних данных модель оповещает все зависящие от нее виды, в результате чего вид обновляет себя. Такой подход позволяет присоединить к одной модели несколько видов, обеспечив тем самым различные представления. Также преимуществом используемого является возможность создания нового вида без необходимости изменения модели. Данные решения позволяют повысить гибкость данных

модулей и сделать их максимально независимыми от других частей системы. Отдельные модули в дальнейшем можно будет использовать и в других системах. Таким образом, снижается проблема масштабируемости системы. В итоге использование выбранного шаблона проектирования позволило достичь следующих результатов:

- универсальность создаваемых модулей;
- упрощение процесса разработки программного обеспечения;
- гибкость проектирования;
- надежность, отказоустойчивость создаваемого программного продукта;

– масштабируемость выбранных технических решений.

Работа данного модуля происходит по следующему алгоритму: для отображения объекта визуализации в программе создается окно, содержащее трехмерную сетку конечных элементов, затем производится инициализация устройства – источника измерительных данных, которые по мере их получения реконструируются и визуализируются с помощью вышеуказанной трехмерной сетки в соответствии с расположением поясов пациента  $i$ . Блок-схема алгоритма показана на рис. 3.

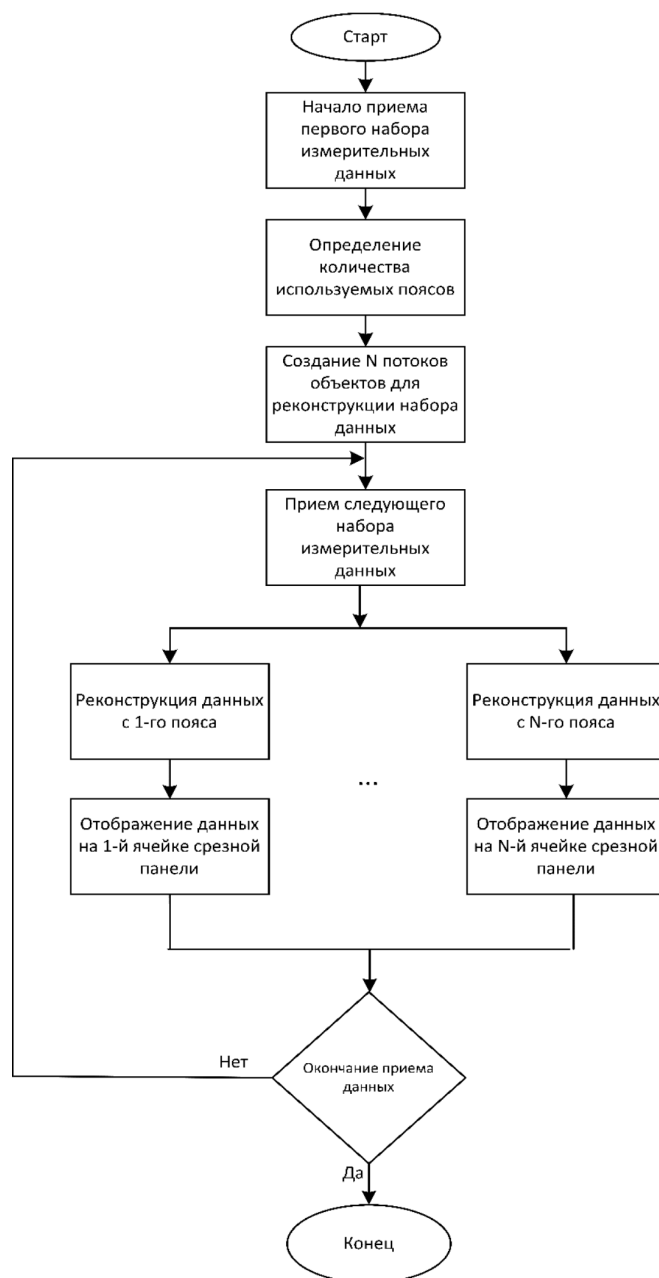


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы модуля monitoring3D

*Создание треугольной прямой призмы*

Построение трехмерного конечного элемента в виде прямой треугольной призмы реализовано с помощью платформы *JavaFX*, поддерживающей трехмерную компьютерную графику [6, 7], с использованием треугольной полигональной сетки. Трехмерная модель строится в прямоугольной декартовой системе координат.

С учетом того, что двухмерная модель строится на основе массива, хранящего координаты вершин треугольников [1], возможно использование данных координат для задания основания призмы. Высота призмы определяется координатой *height*, а соответственно, с ее помощью определяется высота и всего томографического среза.

Для создания прямой треугольной призмы осуществляется вызов соответствующей функции разработанного модуля – *createTriangularPrism*, в качестве аргументов указываются координаты основания призмы и её высота в прямоугольной декартовой системе координат.

Возможно задание дополнительных параметров визуализируемого трехмерного конечного элемента, таких как цвет и прозрачность, соответствующие результатам измерений для данного элемента.

*Построение 3D модели*

Таким образом, для перевода двухмерной модели, основанной на треугольной сетке конечных элементов, в трехмерную предлагается вместо построения двухмерных треугольников создание прямых треугольных призм на основе исходных данных координат. Полученная модель визуализирует внутренние структуры исследуемого объ-

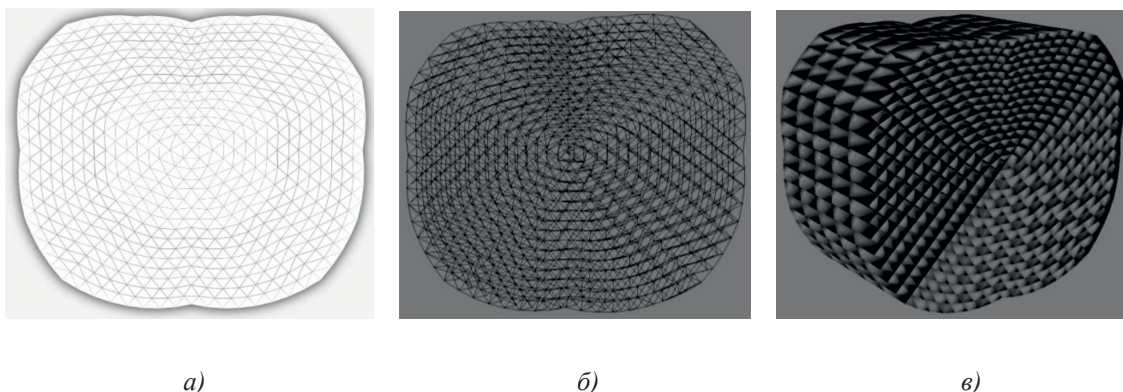
екта как множество сегментов – призм, цвет которых изменяется в зависимости от значения изменения электрической проводимости в каждом сегменте, полученного в результате проведенных измерений и реконструкции их результатов. На рис. 4, а, показана исходная двухмерная модель, на рис. 4, б, и 4, в, показана трехмерная модель, построенная по алгоритму, описанному выше.

**Результаты исследования и их обсуждение**

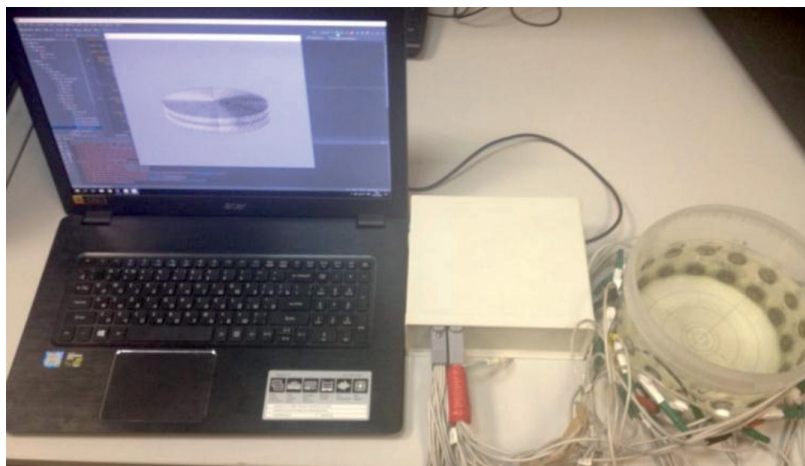
В результате проведенных работ разработан программный модуль, позволяющий построить трёхмерный объект исследования в окне интерфейса, в реальном времени отображающий изменение электрических свойств внутренних структур исследуемого объекта на основе реконструкции результатов измерений. В лабораторных условиях проведено тестирование программного обеспечения на искусственном макете (фантоме), подключённом к аппаратно-программному комплексу электроимпедансной томографии посредством двух поясов (показан на рис. 5, а).

Результаты работы разработанного приложения показаны на рис. 6, а–г.

В проведенном исследовании пригодности применения разработанного ПО в задачах трехмерной ЭИТ производилось перемещение неоднородности в фантоме в горизонтальной и вертикальной плоскости, показанное на рис. 5, б–г. В результате проводимых измерений и реконструкций измерительных данных на экране персонального компьютера наблюдались соответствующие перемещения конечных элементов построенной трехмерной модели (показаны на рис. 6, а–г).



*Рис. 4. а) сходная двухмерная модель томографического среза исследуемого объекта, б) полученная с помощью разработанного программного обеспечения трехмерная модель томографического среза исследуемого объекта, вид сверху, в) полученная с помощью разработанного программного обеспечения трехмерная модель пяти томографических срезов исследуемого объекта*



a)



б)

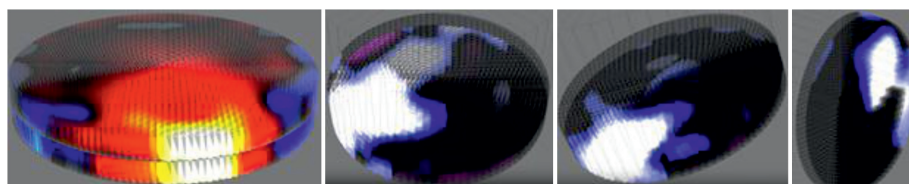


в)



г)

Рис. 5. а) аппаратно-программный комплекс электроимпедансной томографии с подключенным фантомом, б–г) перемещения неоднородности в фантоме



a)

б)

в)

г)

Рис. 6. а–г) Результаты работы разработанного программного обеспечения

Каждому элементу двухмерной матрицы ставятся в соответствие элементы соответствующего отдельного томографического среза. Программное обеспечение позволяет задание пользовательской цветовой палитры для визуализации изменения свойств каждого из конечных элементов в сетке. Цветовая

палитра может быть модифицирована, к отображаемым элементам модели может быть применено свойство «прозрачность» для более наглядного представления.

На показанном примере белым цветом обозначены области с более низкой электропроводностью.

### Выводы

В результате выполненной работы была осуществлена разработка принципов построения программного обеспечения информационно-измерительной системы трехмерной электроимпедансной томографии. Были разработаны алгоритмы функционирования ИИС ЭИТ, построена трехмерная модель томографического среза исследуемого объекта.

В результате разработки программного обеспечения получено представление внутренних структур исследуемого объекта в виде трёхмерного изображения. Полученное представление предоставляет пользователю новую функциональность в виде возможности изучения нескольких томографических срезов, соответствующих изменению электрических параметров внутренних структур, расположенных в плоскости размещения электродных поясов, подключенных к аппаратно-программному комплексу электроимпедансной томографии. Также разработанный программный модуль позволяет задавать пользовательскую цветовую палитру и уровни прозрачности для визуализируемых томографических срезов

для повышения информативности их отображения.

*Работы выполняются в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-196.2017.8.*

### Список литературы

1. Кучер А.И., Алексанян Г.К. Определение алгоритма реконструкции и параметров реконструирования для электроимпедансной томографии // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22751> (дата обращения: 19.12.2018).
2. Герберт Шилдт. Полный справочник по Java SE 6 = Java: The Complete Reference. 7-е изд. М.: «Вильямс», 2007. С. 1040.
3. Эккель Б. Философия Java. М.: Питер, 2016. 809 с.
4. Адам Фримен. ASP.NET MVC 4 с примерами на C# 5.0 для профессионалов, 4-е изд. = Pro ASP.NET MVC 4, 4th edition. М.: «Вильямс», 2013. С. 688.
5. Чедвик Дж., Снайдер Т., Панда Х. ASP.NET MVC 4: разработка реальных веб-приложений с помощью ASP.NET MVC. М.: «Вильямс», 2013. С. 432.
6. JavaFX Developer Home // Oracle | Integrated Cloud Applications and Platform Services [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/javafx-overview-2158620.html> (дата обращения: 06.11.2018).
7. Шилдт Г. Java 8. Полное руководство. 9 изд. М.: Вильямс, 2015. 1376 с.