



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 10 за 2018 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Оплачко Е.С., Рыкунов С.Д.,
Устинин М.Н.

Облачный ресурс MathBrain
для обработки данных
энцефалографии

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Оплачко Е.С., Рыкунов С.Д., Устинин М.Н. Облачный ресурс MathBrain для обработки данных энцефалографии // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 10. 20 с. doi:[10.20948/prepr-2018-10](https://doi.org/10.20948/prepr-2018-10)
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-10>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук**

Е.С. Оплачко, С.Д. Рыкунов, М.Н. Устинин

**Облачный ресурс MathBrain
для обработки данных энцефалографии**

Москва — 2017

Оплачко Е.С., Рыкунов С.Д., Устинин М.Н.

Облачный ресурс MathBrain для обработки данных энцефалографии

Работа посвящена описанию облачного ресурса MathBrain, который предоставляет инструменты для обработки данных энцефалографии, используя модель «Приложение как Сервис». Ресурс предоставляет следующие методы анализа экспериментальных данных: прямое и обратное преобразования Фурье, анализ главных компонент, разложение на независимые компоненты, количественный анализ энцефалограмм, решение обратной задачи магнитоэнцефалографии на основе многоканальных спектральных данных.

Ключевые слова: энцефалография, облачные технологии

E.S. Oplachko, S.D. Rykunov, M.N. Ustinin

Cloud resource MathBrain for encephalography data analysis

The work is devoted to the description of cloud-based resource MathBrain, which works as a "Software as a Service" model. The resource provides access to the following analysis methods: direct and inverse Fourier transforms, Principal component analysis and Independent component analysis decompositions, quantitative analysis of encephalograms, magnetoencephalography inverse problem solution based on multichannel spectral data.

Key words: encephalography, cloud technologies

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 16-07-00937, 16-07-01000, 17-07-00677, 17-07-00686, 17-29-02178.

Оглавление

1. Введение	3
2. Программное обеспечение, используемое для анализа электроэнцефалограмм и магнитоэнцефалограмм.....	3
3. Облачный ресурс MathBrain	5
3.1. Архитектура ресурса MathBrain	6
3.2. Технологии, используемые для работы ресурса MathBrain	7
3.3. Методы анализа данных энцефалограммы, предоставляемые ресурсом MathBrain.....	8
3. Заключение.....	15
4. Библиографический список.....	16

1. Введение

Такие методы неинвазивного исследования, как электроэнцефалография (ЭЭГ) и магнитоэнцефалография (МЭГ) позволяют зафиксировать для дальнейшего анализа поля, вызываемые токами головного мозга. Результатом проведения указанных исследований являются большие объемы данных, к которым применяются различные математические методы для решения задачи определения источника, порождающего электрические токи, а также определения его характеристик. Для решения данной задачи используются возможности электронно-вычислительных машин больших мощностей, а также различное прикладное программное обеспечение (ПО). Все описанные ниже программные комплексы используют программное обеспечение MATLAB [1] как основу для разработки и хранения данных. Данный факт обусловлен несколькими факторами, включая обилие возможностей построения графиков, обработки большого объема данных, простой собственный верхнеуровневый язык программирования и тесную интеграцию со многими скриптовыми языками программирования.

2. Программное обеспечение, используемое для анализа электроэнцефалограмм и магнитоэнцефалограмм

Программный комплекс **FieldTrip** [2, 3] представляет собой набор инструментов для анализа МЭГ и ЭЭГ, который доступен по открытому лицензионному соглашению GNU, т.е. может использоваться бесплатно. С технической точки зрения, программное обеспечение полностью разработано в среде MATLAB, языке программирования высокого уровня с интерактивной средой для написания кода алгоритмов, анализа данных и визуализации, которая доступна для всех известных платформ. Стоит отметить, что MATLAB является широко известным инструментом для нейровизуализации, несмотря на высокую стоимость продукта.

Набор инструментов FieldTrip содержит 108 высокоуровневых и 858 низкоуровневых функций, которые суммарно составляют 103227 строк кода. Основной фокус делается на анализ данных неинвазивной и инвазивной электроэнцефалографии, включая записанные «спайки».

С функциональной точки зрения, набор утилит поддерживает обработку данных, анализ областей, относящихся к событиям, параметрический и непараметрический спектральный анализ, прямое и обратное моделирование источника, анализ связности, классификацию, обработку данных в реальном времени, статистические выводы.

Программный комплекс ELAN [4] предоставляет широкий спектр методов предварительной обработки и анализа сигналов многих видов электрофизиологических данных. Типы данных, которые анализируются с помощью ELAN, включают ЭЭГ, МЭГ, а также инвазивные записи, такие как внутричерепное ЭЭГ и локальные полевые потенциалы (LFP) животных. В дополнение ко многим основным инструментам обработки сигналов, основным функционал ELAN включает топографическое отображение и частотно-временной анализ наряду со статистическими данными и интерактивными инструментами для визуализации и навигации в наборах данных. Весь этот функционал реализован на языке программирования C.

Программный продукт ELAN доступен для 32 и 64-битных версий операционной системы Linux (Debian, Fedora, Ubuntu и CentOS). Операционные системы других производителей потребуют предварительной установки виртуальной машины для запуска Linux-подобных систем. Программный комплекс требует, как минимум, 128 мегабайт операционной памяти (однако, рекомендуется устанавливать 4 Gb RAM).

Программное обеспечение HADES [5, 6] представляет собой программное обеспечение, работающее на основе приложения MATLAB, код которого находится в общем доступе. ПО имеет графический пользовательский интерфейс, также основанный на ПО MATLAB, и соответственно, требует для своей работы запущенного в это время ПО MATLAB. Программный комплекс HADES был написан и протестирован для версии MATLAB 7.9.0. Входные данные могут быть представлены в стандартном формате .mat или в виде текстового файла (кодировка ASCII). Также поддерживается формат .fif при подключении функций MNE.

Программное обеспечение Brainstorm [7] это приложение с открытым кодом, основанное преимущественно на скриптах MATLAB. Интерфейс приложения написан с использованием таких языков программирования, как Java/Swing, встроенных в среду разработки MATLAB. Использование такого набора программных продуктов обеспечивает решению Brainstorm полную независимость от операционной системы и другого ПО.

Также стоит отметить, что Brainstorm не требует установленной версии MATLAB, что позволяет пользователю сэкономить на лицензии продукта. Все функции программного комплекса доступны через графический интерфейс (GUI) без какого-либо взаимодействия со средой MATLAB.

Анализ в системе Brainstorm затрагивает работу с различными данными, такими как МЭГ, ЭЭГ, результаты магнитно-резонансной томографии.

Основным назначением **программного комплекса OpenMEEG** [8, 9] является решение прямых задач магнитной и электроэнцефалографии. Программное обеспечение написано на языке программирования C/C++ с

использованием библиотеки Intel MKL для ОС Windows и ATLAS (BLAS/LAPACK) для Linux, которые используются для достижения точных расчетов в линейной алгебре. Также, при разработке системы была использована библиотека MATIO для обеспечения совместимости с ПО Matlab для операционной системы iOS. Исходный код программного продукта располагается на платформе INRIA GForge и доступен для всех пользователей через публичную версию системы.

Приложение EEGLAB [10] представляет собой кросс-платформенное программное обеспечение, основанное на программной среде MATLAB, предназначенное для обработки экспериментальных данных ЭЭГ с различным количеством каналов. Доступный для пользователя функционал включает обработку данных ЭЭГ с учетом каналов и сведений о событиях (с возможностью импорта), визуализацию. Логически разделяют два функциональных слоя EEGLAB:

1. Верхний уровень состоит из функций, позволяющих пользователю взаимодействовать с ПО через графический интерфейс, что дает возможность избегать прямого использования ПО MATLAB. Меню EEGLAB позволяет управлять используемой приложением памятью, что выгодно, когда имеются ограничения со стороны аппаратной части.

2. Средний уровень позволяет настраивать обработку данных под конкретные нужды с помощью истории команд и интерактивных функций. Опытные пользователи MATLAB могут использовать структуры данных EEGLAB и автономные функции обработки сигналов, чтобы написать собственный пакет для анализа экспериментальных данных.

ПО EEGLAB находится в свободном доступе на условиях публичной лицензии GNU для некоммерческого использования.

3. Облачный ресурс MathBrain

Институт математических проблем биологии - филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН разрабатывает проект Mathbrain, который представляет собой интернет-ресурс для анализа данных энцефалографии, доступ к инструменту осуществляется по модели «Приложение как Сервис» (Software as a Service). Ресурс доступен по адресу www.mathbrain.ru. Система предоставляет пользователю инструменты для построения разложения в ряды Фурье полных временных рядов, а также для разложения в ряды Фурье скользящим окном, восстановления временных рядов по заранее рассчитанному спектру и другие функции. С точки зрения технической реализации программный комплекс представлен набором скриптов Python, которые выполняют роль основного вычислительного механизма с использованием библиотек numpy, scipy и numexpr [11].

3.1. Архитектура ресурса MathBrain

Архитектура решения построена на микросервисах, что дает возможность балансировать нагрузку, масштабировать решение, и, в случае пиковых нагрузок, использовать ресурсы публичных облаков. Данный подход позволяет разложить компоненты системы в отдельные контейнеры и настроить взаимосвязи между ними. При этом каждый из таких контейнеров может быть запущен на разных узлах, в зависимости от нагрузки и очереди задач. В качестве платформы была выбрана технология Docker Swarm [12, 13]. Все узлы кластера docker являются bare-metal серверами под управлением операционной системы Debian.

Архитектура ресурса MathBrain содержит три узла. Один из них является управляющим, остальные – узлы для выполнения задач пользователя. Управляющий узел содержит репозиторий «слепков», которые могут быть реализованы в контейнере, а также веб-интерфейс Portainer.

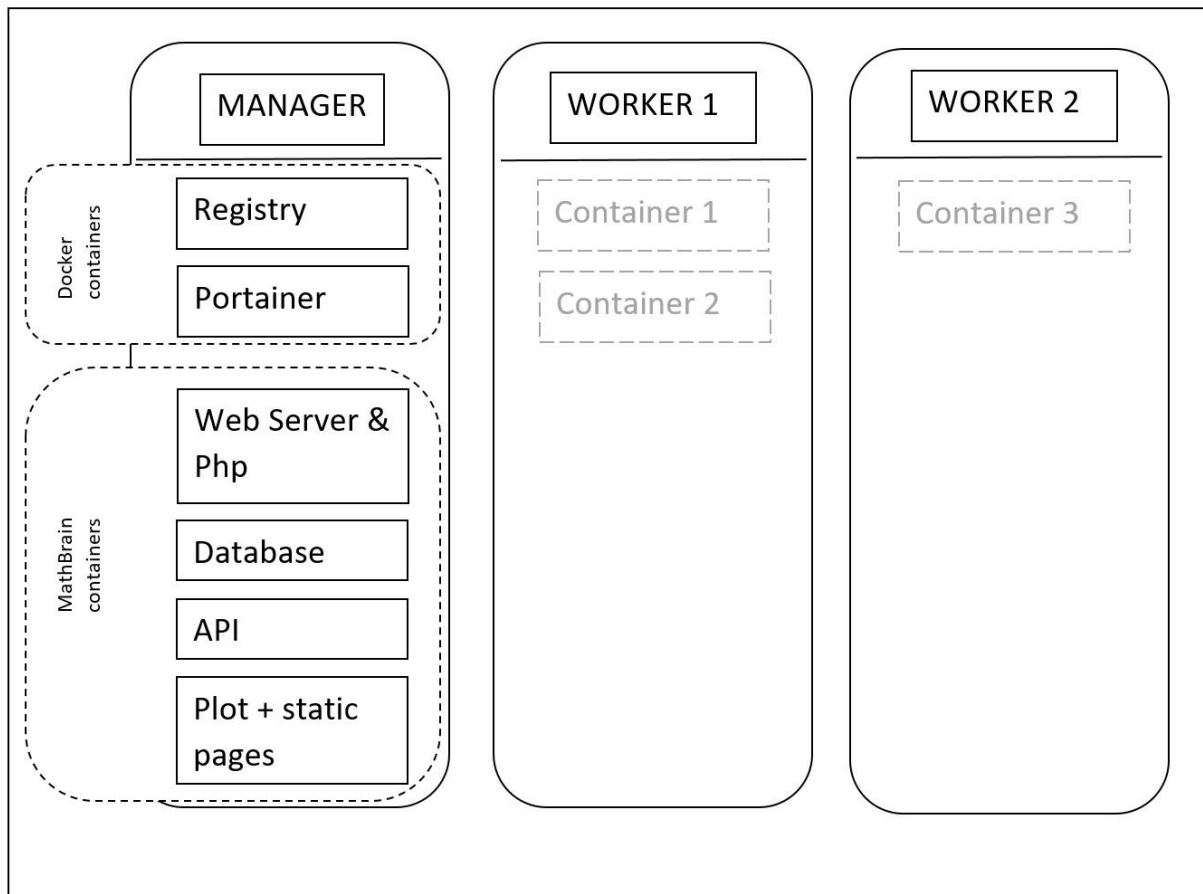


Рис. 1. Схематичное изображение архитектуры ресурса MathBrain.

Основная концепция облачного ресурса — это возможность быстрой масштабируемости. В такой ситуации для расширения локальных аппаратных ресурсов можно использовать публичные облачные мощности. Существует три основных поставщика публичных облаков: Google Cloud Platform [14], Amazon AWS и Microsoft Azure [15].

При создании гибридной инфраструктуры [16] (использование как локальных аппаратных мощностей, так и публичных ресурсов), создается один или несколько контейнеров в публичном облаке. После отработки задачи, такой контейнер удаляется.

3.2. Технологии, используемые для работы ресурса MathBrain

Запуск контейнеров с вычислительными программами осуществляется API-сервисом. Управление Docker Engine производится посредством Docker API. Для связи с фронтендом используется технология JSON-RPC. Пользовательский веб-интерфейс позволяет загружать входные данные, задавать параметры расчета, скачивать результаты анализа и визуализировать спектры в виде графиков. Все данные, как входные, так и результирующие, сохраняются в базе данных MySQL, что позволяет вести историю запросов и накапливать экспериментальную базу. Сами файлы в формате .mat располагаются на аппаратных ресурсах системы и в БД сохраняются лишь ссылки на них.

На диаграмме 1 изображена общая логика работы системы.

Для организации безопасного доступа к системе был разработан модуль авторизации, который состоит из нескольких скриптов PHP и записей в базе данных. В БД располагается отдельная таблица, в которой хранятся записи логинов и паролей пользователей. Пароли находятся в зашифрованном виде с помощью алгоритма хэширования MD5. Данный механизм основан на преобразовании входной строки с помощью функции с «плавающим» параметром, что не дает легкой возможности расшифровки исходных данных. При входе в систему MathBrain пользователю предлагается ввести логин и пароль, который сравнивается с записями в базе данных, при успешном совпадении, пользователь получает доступ к системе и автоматически переадресовывается на главную страницу ресурса. Для того, чтобы избежать возможности, так называемой, SQL инъекции (случай, когда злоумышленник, пользуясь брешью в системе безопасности, добавляет к выполняемому запросу свой код), в тексте SQL запроса используется параметр `mysql_real_escape_string`. В случае, если пользователь ввел связку логина и пароля неправильно, он будет переведен снова на страницу с предложением ввести данные аутентификации. Для того, чтобы пользователю не вводить данные каждый раз при переходе со страницы на страницу, используется метод хранения пользовательских данные в cookie. Данный механизм заключается в том, что на стороне сервера в коде PHP скрипта вызывается функция `setcookie`, которая помещает информацию локально на компьютер пользователя. В случае, если будет использован другой браузер или cookies обнулятся (такая возможность есть в настройках браузера), то пользователю необходимо будет ввести учетные данные заново. Более того, в модуль авторизации добавлен компонент, определяющий является ли указанный пользователь демонстративным (“demo”) и если так, то после авторизации вызывается

модуль демонстративной версии программного обеспечения. В данном модуле имеются уже предварительно загруженные входные файлы, которыми можно воспользоваться для получения представления о функционале системы. Все расчеты в демонстративном режиме производятся в реальном времени.

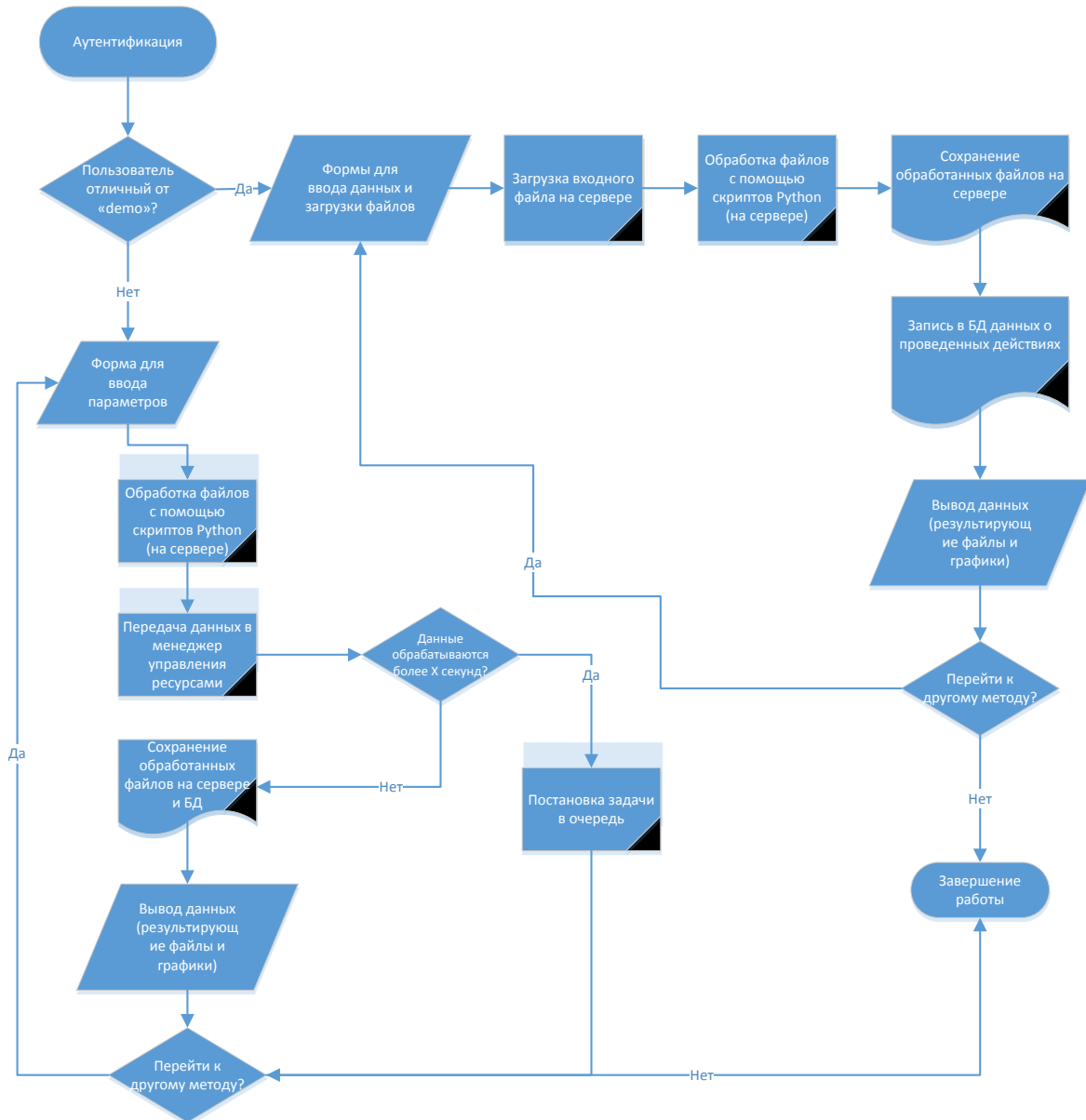


Диаграмма 1. Процесс обработки данных ресурса Mathbrain

3.3. Методы анализа данных энцефалограммы, предоставляемые ресурсом MathBrain

С точки зрения интерфейса, пользователю доступны следующие основные функции:

- аппроксимация спектра с задаваемыми параметрами промежутка частот, который будет анализироваться;
- восстановление спектра с задаваемыми параметрами промежутка частот, которые будут анализироваться, частоты дискретизации и промежутков времени;
- решение обратной задачи МЭГ;
- решение задачи с помощью преобразования Карунева-Лоэва;
- решение задачи с помощью анализа независимых компонент;
- количественный анализ ряда.

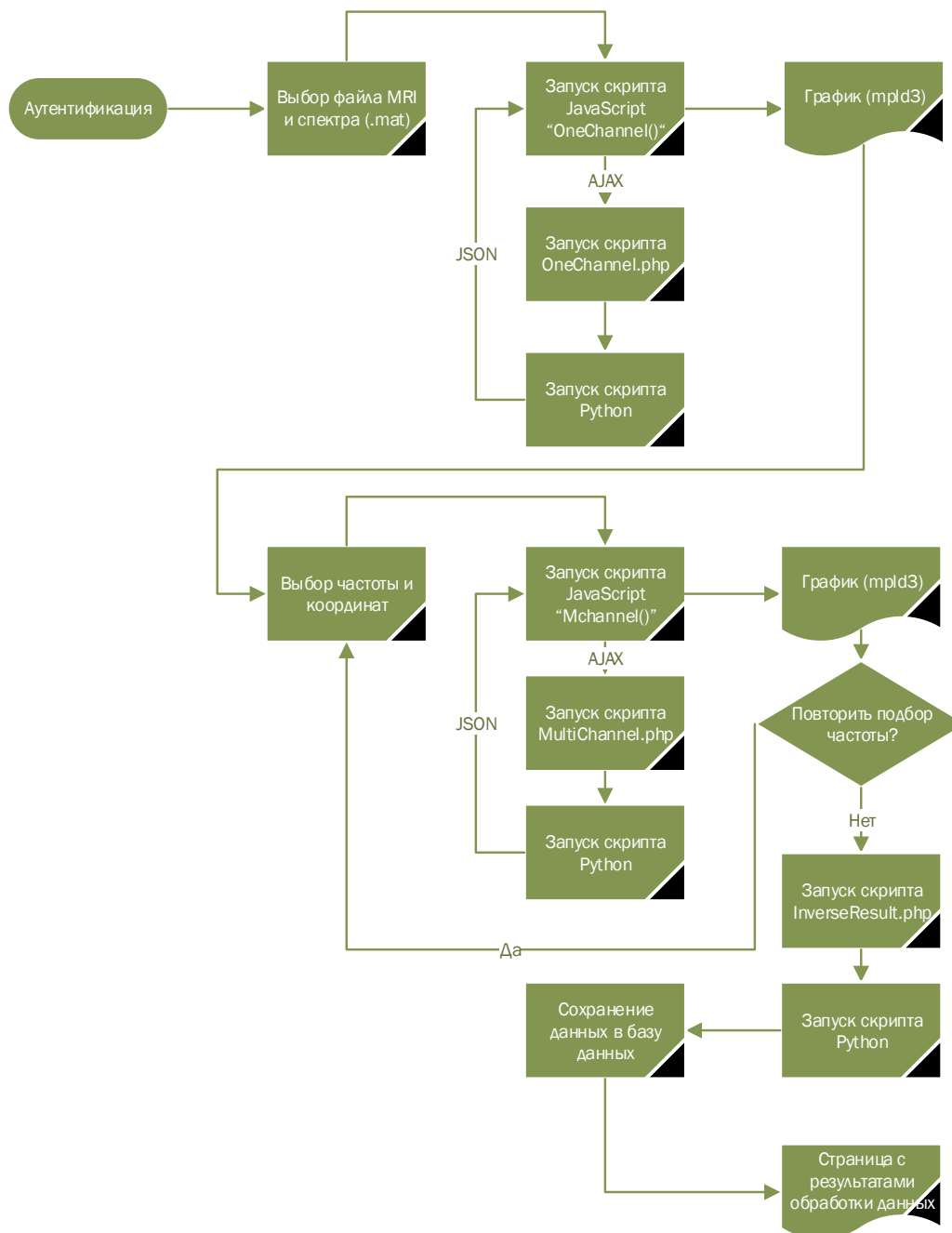


Диаграмма 2. Алгоритм работы программного ресурса для решения обратной задачи МЭГ.

Наиболее сложным в реализации было решение обратной задачи МЭГ [17], т.к. оно требовало асинхронной обработки данных, а также построения нескольких графиков на основе сформированных в реальном времени JSON данных. Более того, было предъявлено требование интерактивности данных графиков, что является ресурсоемкой задачей. На диаграмме 2 приведена схема работы программного ресурса для решения обратной задачи МЭГ.

На рис. 2-5 отображен пользовательский интерфейс для ввода данных.

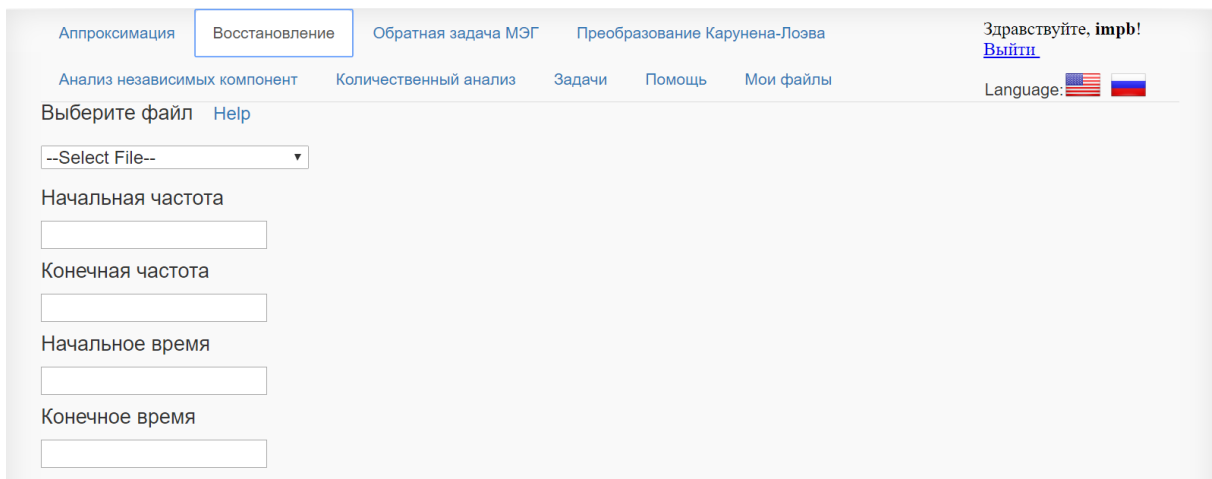


Рис. 2. Форма для ввода данных (восстановление).

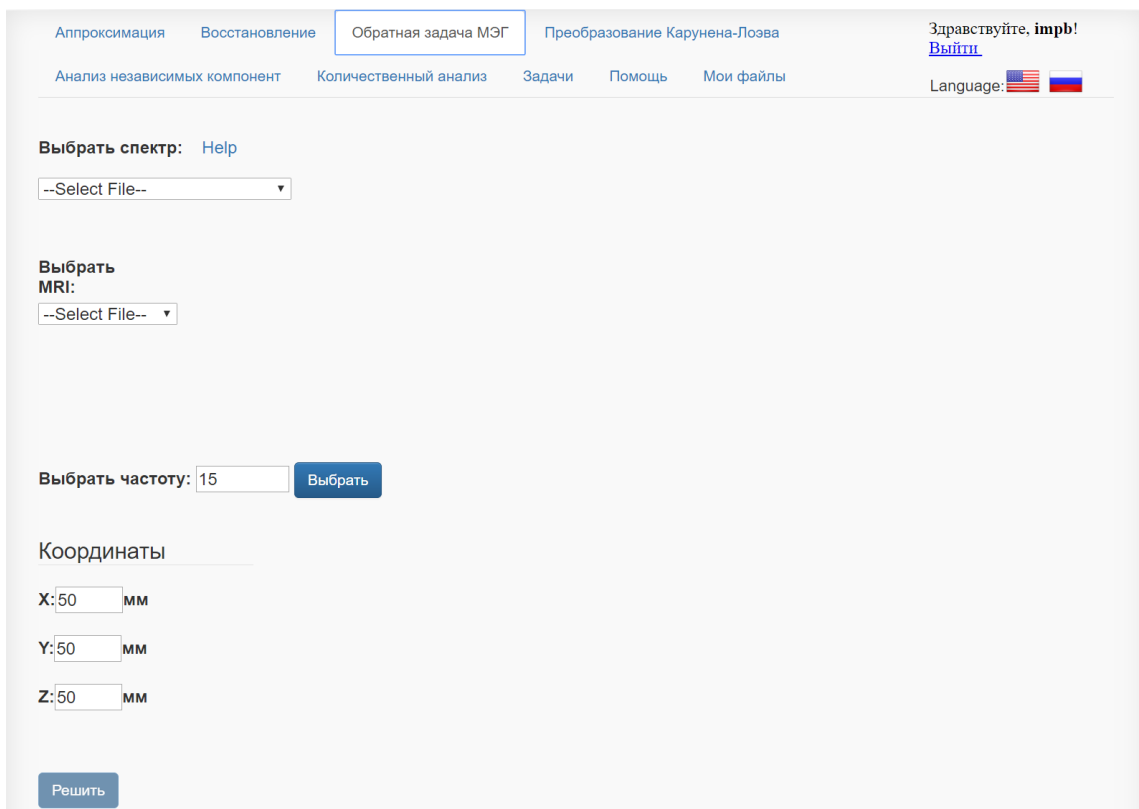


Рис. 3. Форма для ввода данных (обратная задача МЭГ).

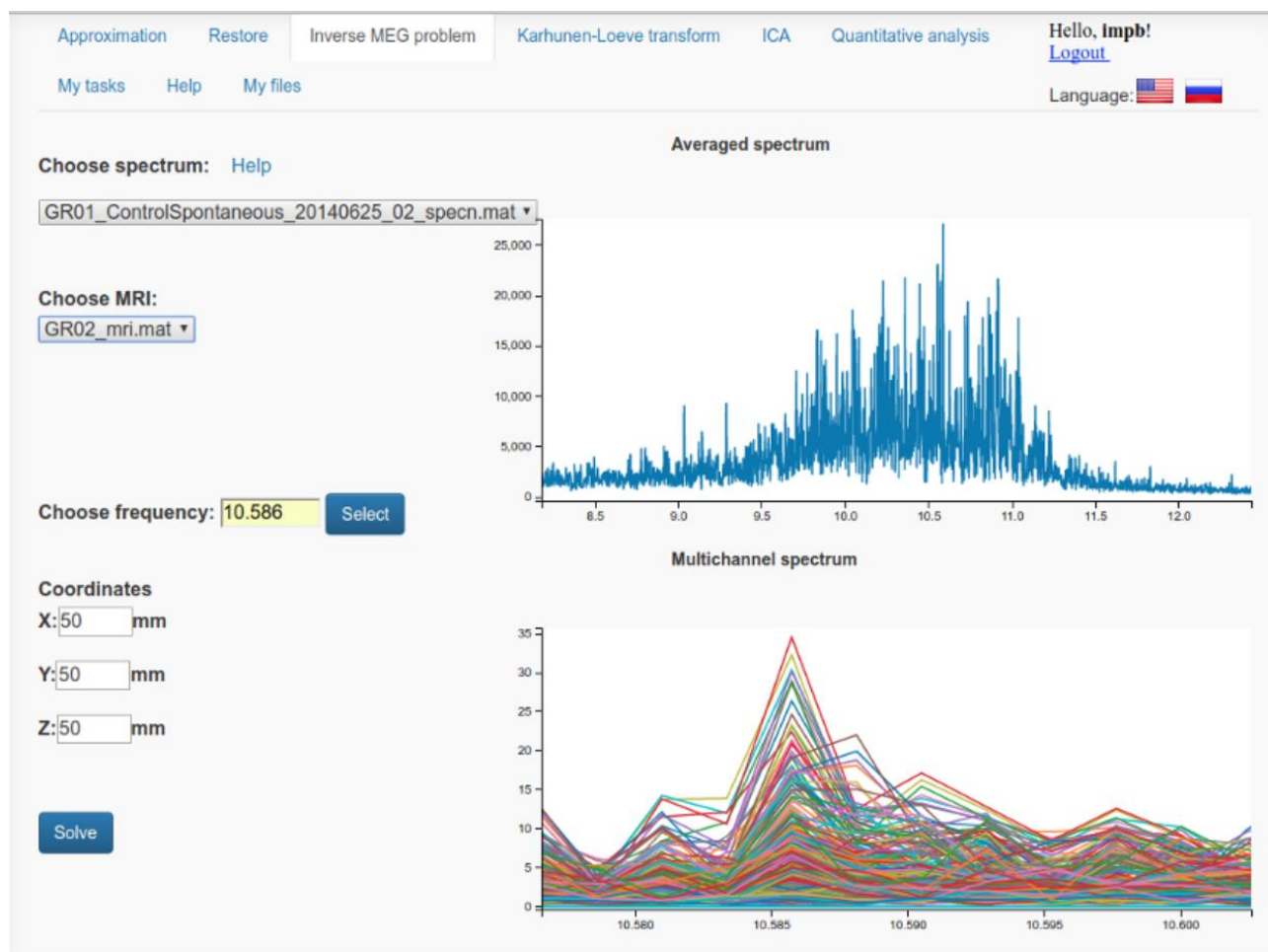


Рис. 4. Форма для ввода данных (обратная задача МЭГ, выбор частоты).

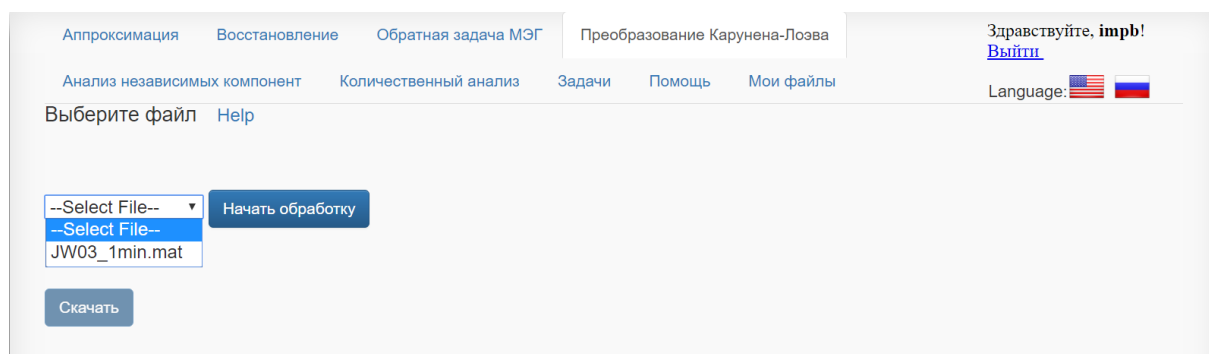


Рис. 5. Форма для ввода данных (преобразование Карунена-Лозва).

После нажатия кнопки «Начать обработку» происходит обработка входных данных и после ее завершения, пользователь автоматически перенаправляется на страницу с результатами, где он имеет возможность скачать получившийся файл в формате Matlab, а также может просмотреть параметры анализа и получившиеся графики.

Примеры приведены на рис. 6-7.

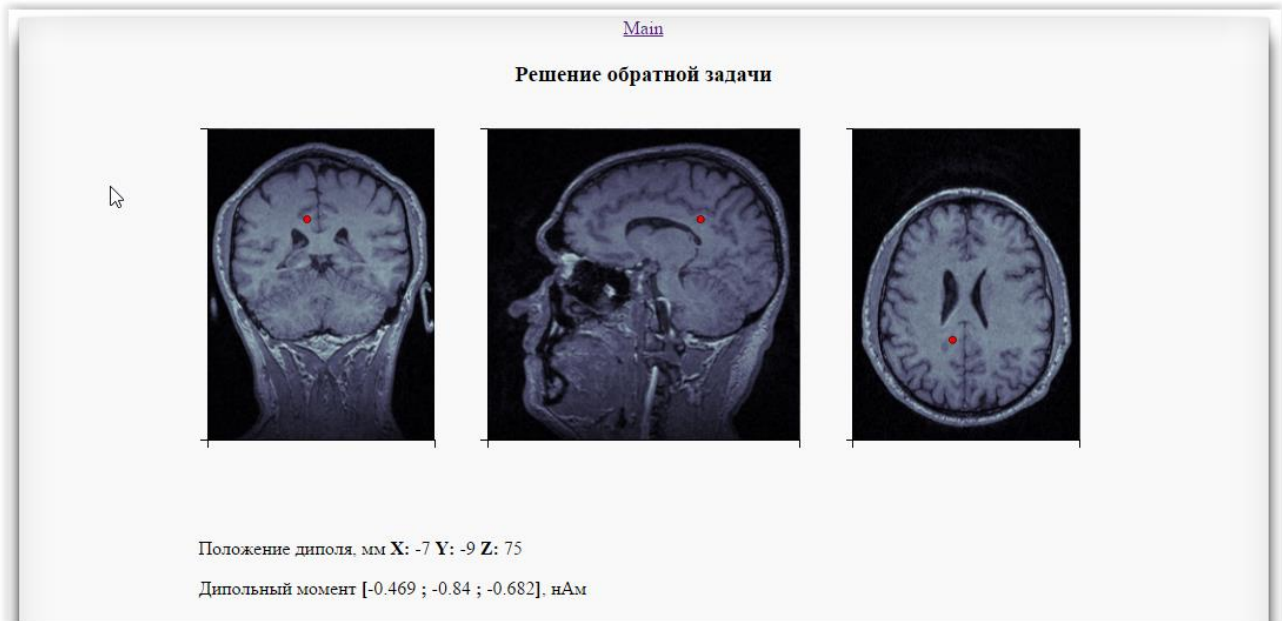


Рис. 6. Страница с результатами анализа входных данных (обратная задача МЭГ [17]).

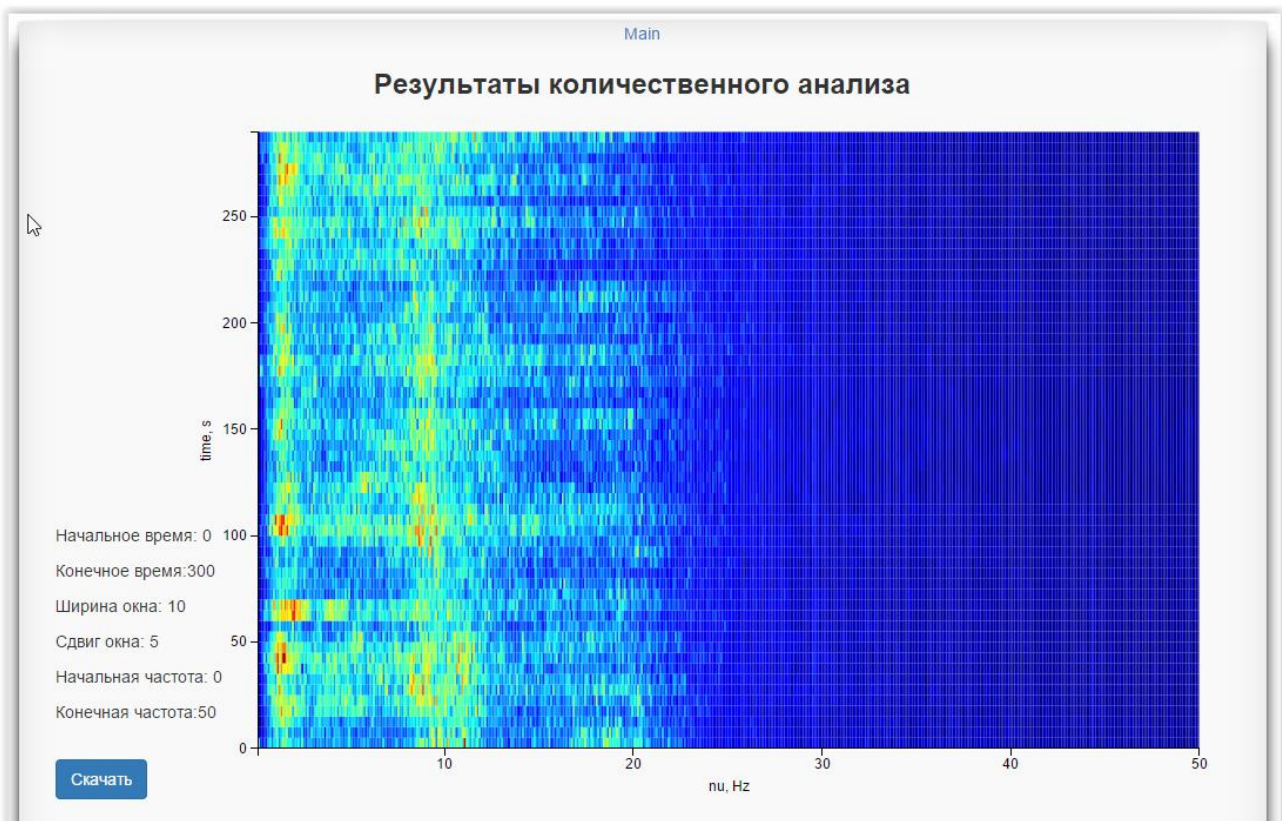


Рис. 7. Страница с результатами анализа входных данных (количественный анализ).

Для решения задачи с помощью преобразования Карунева-Лоэва задачи с помощью анализа независимых компонент не используется отдельная страница

с результатами, все вычисления производятся на стороне сервера и когда они заканчиваются, пользователю становится доступна кнопка для скачивания обработанного файла.

Для построения графиков используется сторонняя библиотека бесплатная `mpld3`, код которой находится в открытом доступе. Данный инструмент позволяет «на лету» строить графики, передавая данные в JSON формате. Таким образом, мы получаем дополнительный функционал, с помощью которого пользователь может интерактивно поработать с графиками: увеличить интересующую его часть или, наоборот, посмотреть на картину целиком. Также для составления удобного пользовательского интерфейса и добавления визуализации использовался набор CSS скриптов `Bootstrap`, который доступен в открытом доступе.

Весь интерфейс доступен на двух языках: русском и английском. Возможность переключения между языками реализована с помощью `.ini` файлов. Заданный пользователем язык запоминается в `cookie` и проверяется при каждом обновлении страницы. Для всех пользователей, отличных от «demo», доступен функционал загрузки своих экспериментальных файлов для обработки. Загрузка файлов организована с помощью стандартной функции `POST` языка `PHP` с применением фильтра для формата `.mat`. Более того, при загрузке файла на сервер идет проверка на загрузку исполняемых файлов для обеспечения безопасности ресурса. При загрузке имя файла программно меняется на уникальное с помощью команды `uniqid()`, а первоначальное название сохраняется в таблице для удобства работы с ресурсом.

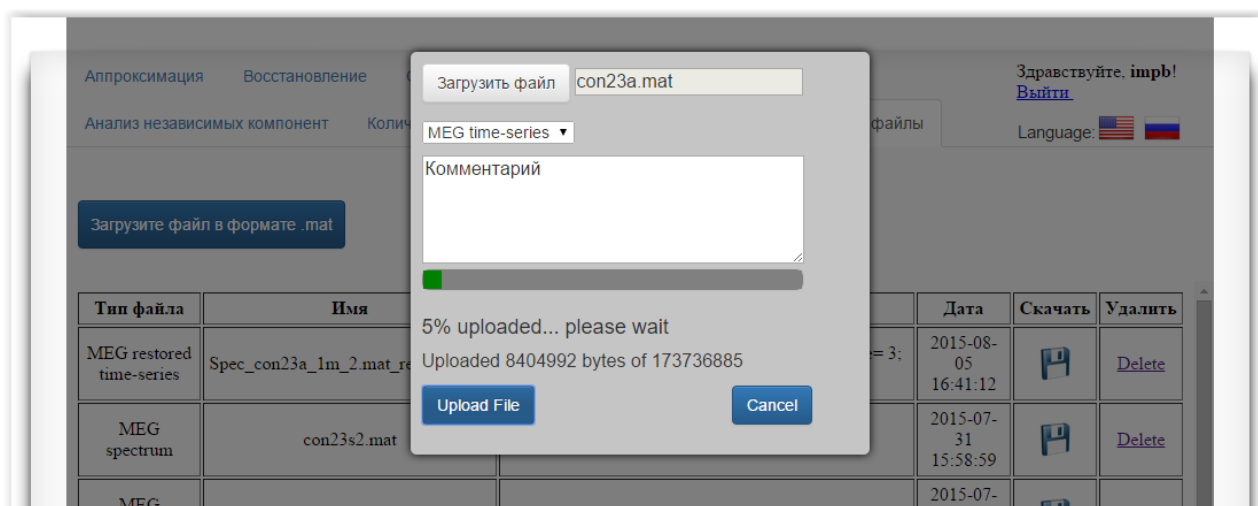




Рис. 8. Всплывающее окно для загрузки файлов.

После загрузки файлов пользователь видит таблицу с загруженными файлами и результатами их обработки (рис. 9).

Аппроксимация Восстановление Обратная задача МЭГ Преобразование Карунена-Лозва Здравствуйте, **impr!** [Выйти](#)

Анализ независимых компонент Количественный анализ Задачи Помощь Мои файлы Language:  

Загрузите файл в формате .mat










Тип файла	Имя	Комментарий	Дата	Скачать	Удалить
MEG spectrum	GR01_ControlSpontaneous_20140625_02_specn.mat	Comments	2017-12-07 00:46:41		Delete
MRI	GR02_mri.mat	Comments	2017-12-06 22:33:03		Delete
QA spectrum	JW03_1min.mat_QA	NUmin = 0NUmax = 50 t_start = 0 t_end = 300 shift = 5 window = 10	2017-07-02 14:15:54		Delete
QA spectrum	JW03_1min.mat_QA	NUmin = 0NUmax = 50 t_start = 0 t_end = 300 shift = 5 window = 10	2017-05-08 22:45:44		Delete
QA spectrum	JW03_1min.mat_QA	NUmin = 0NUmax = 50 t_start = 0 t_end = 300 shift = 5 window = 10	2017-05-08 22:44:49		Delete
QA spectrum	JW03_1min.mat_QA	NUmin = 0NUmax = 50 t_start = 0 t_end = 300 shift = 5 window = 10	2017-05-08 22:43:23		Delete
QA spectrum	JW03_1min.mat_QA	NUmin = 0NUmax = 50 t_start = 0 t_end = 300 shift = 5 window = 10	2017-05-08 22:42:41		Delete
restored MEG time-series	JW03_1min.mat_spec_1_2_restored	NUmin = 1NUmax = 2start = 1end = 2	2017-05-08 22:37:26		Delete
MEG spectrum	JW03_1min.mat_spec_1_2	NUmin = 1 NUmax = 2	2017-05-08 22:33:41		Delete

Рис. 9. Страница с данными работы пользователя.

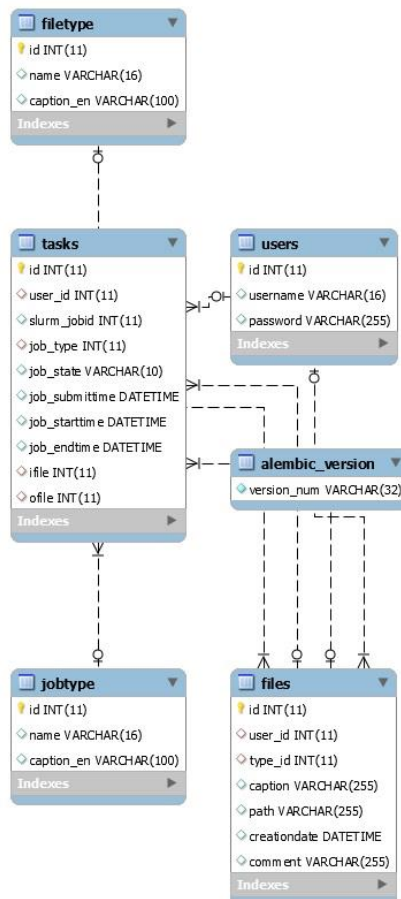


Рис.10. Структура базы данных.

На этой странице можно скачать файлы или удалить их из базы данных. При удалении возникает запрос за подтверждение операции. Для удобства работы с ресурсом вся история обработки данных сохраняется в базе данных MySQL. При этом сами файлы, как входящие, так и исходящие, хранятся в структуре папок, а в БД хранятся соответствующие ссылки на них.

База данных имеет простую схему, состоящую из шести таблиц. Схема базы данных изображена на рис. 10.

Для визуализации решения были использованы внешние библиотеки bootstrap, которые представляют собой набор скриптов jQuery и стилей CSS. Весь программный код основной страницы находится в одном файле. При этом визуально пользователь видит отдельные вкладки для каждого метода.

3. Заключение

Программный комплекс Mathbrain дает возможность пользователю решать задачи, связанные с обработкой экспериментальных данных МЭГ, такие как:

- a. аппроксимация спектра с задаваемыми параметрами промежутка частот, который будет анализироваться;
- b. восстановление спектра с задаваемыми параметрами промежутка частот, которые будут анализироваться, частоты дискретизации и промежутки времени;
- c. решение обратной задачи МЭГ;
- d. решение задачи с помощью преобразования Карунева-Лоэва;
- e. решение задачи с помощью анализа независимых компонент;
- f. количественный анализ ряда.

При реализации ресурса были учтены также задачи и ограничения, связанные с большим объемом обрабатываемых данных и, в некоторых случаях, с трудоемким вычислительным процессом. Таким образом, были использованы новейшие методы и программные продукты, которые позволили реализовать облачный ресурс, предоставляемый по модели Приложение как Сервис (Software as a Service, SaaS). Реализованная архитектура ресурса позволяет не задумываться над требуемыми для анализа данных аппаратными мощностями и пользоваться всеми преимуществами облачных технологий. К таким преимуществам относятся независимость от операционной системы и отсутствие необходимости установки программного обеспечения (платного и бесплатного) на компьютер.

4. Библиографический список

1. Quarteroni A., Saleri F., Gervasio P. Scientific Computing with MATLAB and Octave. Third Edition // Texts in Computational Science and Engineering. 2014. pp. 1-4.
2. Ostenveld R., Fries P. FieldTrip: Open Source Software for Advanced Analysis of MEG, EEG, and Invasive Electrophysiological Data // Computational Intelligence and Neuroscience. Volume 2011. 2011. [doi:10.1155/2011/156869](https://doi.org/10.1155/2011/156869)
3. Stolk A., Todorovic A. Online and offline tools for head movement compensation in MEG // NeuroImage. 2013 (68). p. 39–48.
4. Aguera P., Jerbi K. ELAN: A Software Package for Analysis and Visualization of MEG, EEG, and LFP Signals // Computational Intelligence and Neuroscience. Volume 2011. 2011. [doi:10.1155/2011/158970](https://doi.org/10.1155/2011/158970)
5. Campi C., Pascarella A. Highly Automated Dipole Estimation (HADES) // Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2011. 2011. [doi: 10.1155/2011/982185](https://doi.org/10.1155/2011/982185)
6. Hämäläinen M. MNE Software Overview // MGH/HMS/MIT Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging. 2009. URL: <https://wiki.aalto.fi/download/attachments/40600812/MNE-manual-2.7.pdf> (дата обращения 26.11.2017)
7. Francois T., Baillet S. Brainstorm: A User-Friendly Application for MEG/EEG Analysis // Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2011. 2011. [doi:10.1155/2011/879716](https://doi.org/10.1155/2011/879716)
8. Gramfort A., Papadopoulos A., Olivi E. OpenMEEG: opensource software for quasistatic bioelectromagnetics // Gramfort et al. BioMedical Engineering OnLine. 2010. [doi:10.1186/1475-925X-9-45](https://doi.org/10.1186/1475-925X-9-45)
9. Gramfort A., Papadopoulos T. Forward Field Computation with OpenMEEG // Computational Intelligence and Neuroscience. Volume 2011. 2011. [doi:10.1155/2011/923703](https://doi.org/10.1155/2011/923703)
10. Delorme A., Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis // Journal of Neuroscience Methods. 2004. v. 134, №. 1, pp. 9–21.
11. Shell S. An introduction to Numpy and SciPy // 2014. URL: <http://www.engr.ucsb.edu/~shell/che210d/numpy.pdf> (дата обращения 26.11.2017)

12. Lee H.-C. DCCN Docker Swarm Cluster Documentation // 2017. URL: <https://media.readthedocs.org/pdf/dccn-docker-swarm/latest/dccn-docker-swarm.pdf> (дата обращения 26.11.2017)
13. De Souza J. Is Docker container based virtualization useful for Scientific purposes at DESY? // University College London. 2015. URL: <http://www.desy.de/f/students/2015/reports/JoshuaDeSouza.pdf.gz>
14. Liu Z., Cho S. Characterizing Machines and Workloads on a Google Cluster // Proceedings of the Eighth International Workshop on Scheduling and Resource Management for Parallel and Distributed Systems(SRMPDS'12). 2012. pp. 397 - 403.
15. Gandhi V.A., Kumbharana C.K. Comparative study of Amazon EC2 and Microsoft Azure cloud architecture // International Journal of Advanced Networking Applications (IJANA). 2010. pp. 117 - 123.
16. Calatrava Arroyo, A. High Performance Scientific Computing over Hybrid Cloud Platforms // Universitat Politècnica de València. 2016. doi:10.4995/Thesis/10251/75265
17. Устинин М.Н., Сычев В.В., Линас Р.Р. Интегрированный пакет программ MEGMRIAn для анализа и моделирования данных магнитной энцефалографии // Математическая биология и биоинформатика. 2013. Т. 8. № 2. с. 691–707