

УДК 004.9:533.9.087.4

## DAQVIEWER – КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ТОКАМАКА КТМ

А.А. Мезенцев, А.В. Шарнин, В.М. Павлов, А.В. Овчинников

Томский политехнический университет

E-mail: mezentsev.anton@gmail.com

Разработана программа DAQViewer, предназначенная для загрузки из базы данных и визуального анализа экспериментальных данных Казахстанского материаловедческого Токамака. Функции доступа к базе данных тестировались на модельном стенде Информационно-измерительной системы Токамака. В качестве модельных данных использовались экспериментальные данные Токамака T10. Описан механизм взаимодействия DAQViewer с системой автоматизации экспериментов на Токамаке. Представлены основные возможности математической модели, описывающей процесс зондирования плазмы, реализованные в утилите DAQModeling, а также механизм взаимодействия DAQViewer и DAQModeling.

### Ключевые слова:

Визуализация данных, математическое моделирование, импульсная рефлектометрия плазмы, транспортный файл, Токамак КТМ, MATLAB.

### Key words:

Data visualization, mathematical simulation, pulse reflectometry of plasma, transport file, KTM Tokamak, MATLAB.

### Введение

Казахстанский Токамак материаловедческий (КТМ) представляет собой малый сферический Токамак [1]. Он строится в Республике Казахстан для проведения исследований влияния плазмы на свойства материалов, располагаемых в диверторной зоне реактора. Эксперименты на термоядерной материаловедческой установке КТМ проходят в режиме «разряд-пауза» с циклами в 5 с и 10 мин соответственно [2]. Информационно-измерительная система (ИИС) Токамака КТМ будет обеспечивать сбор ~500 Мб экспериментальных данных (RAW) в каждом разряде. Разработку системы автоматизации экспериментов (САЭ) КТМ выполняет научная группа Томского политехнического университета.

Для обработки и визуализации данных на третьем уровне ИИС (пульты операторов Токамака) необходимо использовать специальный программный комплекс. С этой целью в САЭ КТМ проектируется комплекс DAQSoft, который будет выполнять поставленные задачи. Проектирование ведётся в инструментальной среде MATLAB путём адаптации программных компонентов других программ подобного класса (DAS-Tools) к задачам САЭ КТМ, а также внесением собственных функций.

### Анализ типов экспериментальных данных в ИИС КТМ

Все данные ИИС КТМ можно разделить на экспериментальные (RAW) данные и сервисную информацию. Экспериментальные данные получают от диагностического комплекса КТМ и передают в подсистемы САЭ для хранения и обработки. Часть сервисной информации (например, настроечные файлы ИИС) содержится в базе данных (БД) и передаётся в подсистемы ИИС САЭ. Параметры настройки диагностического комплекса, сформированные на локальных пультах управления, передаются на сервер сбора данных. Затем они загружа-

ются в одноплатные ЭВМ. После получения настроечных файлов выполняется конфигурирование оборудования диагностического комплекса.

В процессе эксплуатации Токамака КТМ [2] участие оператора в работе диагностического оборудования предусмотрено только на этапе перенастройки и конфигурирования подсистем сбора данных (ПСД). Настройка ПСД осуществляется дистанционно. Команды настройки посылаются с локальных пультов и центрального пульта управления на сервер сбора данных (ССД), далее эти служебные сообщения загружаются в ЭВМ ПСД и транслируются центральным процессором. Однако, главной функцией ССД является сбор и хранение экспериментальных данных, которые пересылаются ЭВМ ПСД из внутренней области памяти ЭВМ диагностического комплекса в базу данных эксперимента. Структура и состав экспериментальных данных являются специфическими. Для дальнейшего использования на верхнем уровне САЭ КТМ эти данные требуют специальной обработки.

Ввиду необходимости транспортирования значительных объёмов экспериментальных и служебных данных, нами была выполнена унификация структуры базы данных экспериментов и транспортного файла (X-файла). X-файл используется для передачи обработанных и RAW-данных эксперимента подсистемам КТМ и участникам удалённых экспериментов в Internet и Intranet, а также в качестве локального файла архива на жёстком диске ПЭВМ. Особая структура данных X-файла обеспечивает оптимальные методы компрессии данных, их быструю загрузку и выгрузку из БД. Состав полей и структура данных в БД и X-файле во многом подобны разработанным в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» (НИЦ КИ), но имеют ряд особенностей, специфичных для адаптации на КТМ (рис. 1).

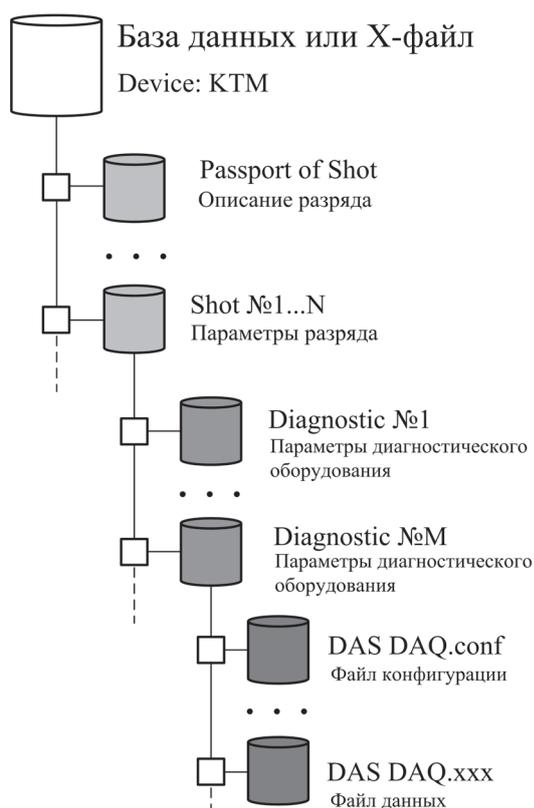


Рис. 1. Структура данных в базе данных результатов эксперимента

Структура БД в общем виде имеет следующие поля: Device – название экспериментальной установки; Passport of Shot – описание разряда; Shot – номер разряда; Diagnostic – параметры диагностического оборудования, от которого были получены данные.

#### Комплекс программ DAQSoft

Программное обеспечение верхнего уровня САЭ КТМ (рис. 2) предполагается использовать для обработки экспериментальных данных и их визуализации. В состав комплекса программ управления данными на КТМ входят программы ССД, сервера комплексной общей и специализированной обработки данных (СОД) и группа программ оперативной обработки и визуализации данных (DAQSoft), используемых операторами на пультах управления. Взаимодействие между программами DAQSoft, ССД и СОД обеспечивается с использованием DAQNet-сервиса (интерфейс IISNet).

В состав пакета программ DAQSoft входят:

- DAQViewer – программа, используемая для обработки, анализа и визуализации конечных результатов эксперимента, настройки диагностического оборудования и кодирования сценария разряда в X-файле или DAS-файле [3];
- DAQModeling – программа, необходимая для обработки RAW-данных по математической модели плазмы [4];

- DAQConfigurator – программа, используемая для программирования сценариев разряда (параметров настройки диагностического оборудования ИИС);
- DAQAccess – пакет MEX-функций, необходимый для взаимодействия с X-файлами и базой данных эксперимента (запись/чтение);
- DAQHandler – программа, используемая для оперативной обработки и визуализации данных нижнего уровня (RAW-data);
- DataConverter – программа, выполняющая преобразование DAS-файла в X-файл и обратно.

#### Программа DAQViewer

В настоящее время для визуализации экспериментальных данных установок по управляемому термоядерному синтезу (УТС) широко используют такие компьютерные программы, как jScore (один из Java компонентов программного комплекса MDSplus) [3], ReviewPlus [5] или DASTools [6]. Однако использование данных программ на КТМ без дополнительной модификации не возможно. В связи с этим, принято решение создать новый, адаптированный для КТМ, программный комплекс, в том числе с использованием компонентов существующих программ.

При создании DAQViewer решалась задача локального и удаленного доступа к базе экспериментальных данных. В НИЦ КИ на Токамаке Т-10 существует опыт создания подобного программного обеспечения. Доступ к всероссийской базе экспериментальных данных Токамаков НИЦ КИ может осуществляться либо с использованием функций библиотеки DASAccessLib, либо MEX-функций для MATLAB – DASMex. Компоненты этих библиотек были использованы в DAQViewer для обеспечения доступа к базе данных КТМ через СУБД PostgreSQL, а также к локальному архиву данных – X-файл.

Для отображения данных в программе применяются принципы, заложенные в jScore, но механизм управления областями отображения графиков модифицирован. Графический интерфейс программы DAQViewer представлен на рис. 3. Количество и конфигурация областей отображения графиков настраивается флагами в правом верхнем углу окна программы. Габариты данных областей, в зависимости от их количества, автоматически масштабируются в рамках рабочей области окна программы. Выбор пакета данных выполняется в списке, в правой части окна программы.

При визуальной диагностике и обработке данных применяются функции свободной трансформации MATLAB, которые позволяют группировать графики в одних координатных осях, изменять цвет и тип линий. Соосное расположение графиков позволяет синхронизировать начало событий и оценить их временные характеристики.

Общий перечень функций программы:

- загрузка данных эксперимента из БД КТМ и удаленной БД НИЦ КИ. Для взаимодействия

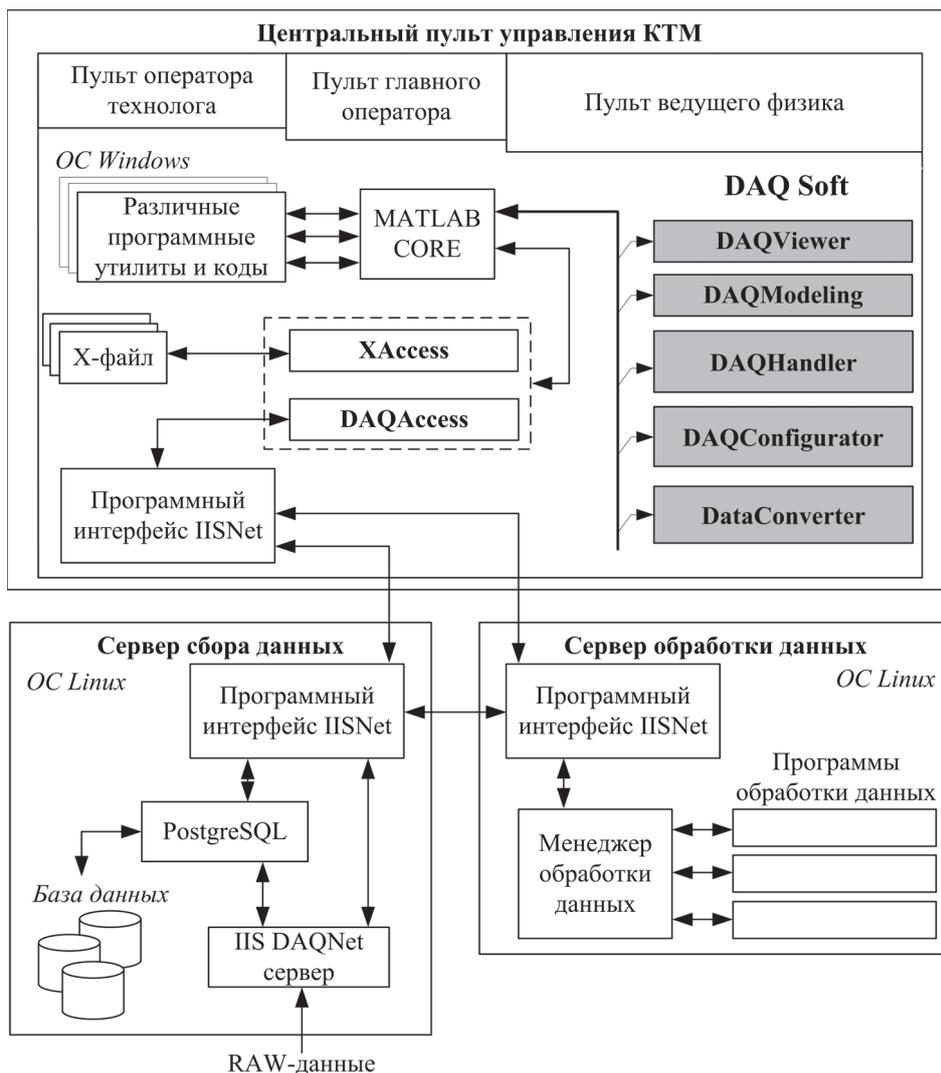


Рис. 2. Структура комплекса программ обработки и визуализации экспериментальных данных КТМ

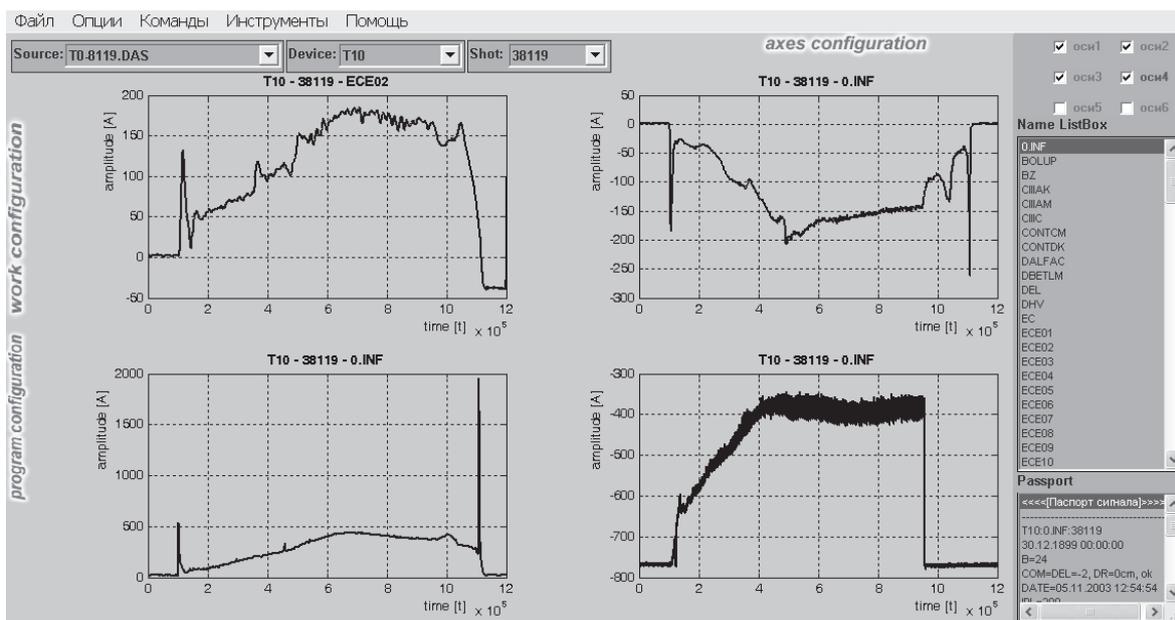


Рис. 3. Графический интерфейс пользователя программы DAQViewer

- с БД КТМ в составе DAQViewer используется сервис IIS Net, библиотека XAccessLib и модифицированный нами интерфейс доступа к БД, который необходим для работы с СУБД PostgreSQL под управлением ОС Linux. Для взаимодействия с БД НИЦ КИ используется библиотека DASAccessLib и MEX-функции DASMex;
- программирование параметров настройки ПСД. Интерфейс между программой и ПСД выполнен таким образом, что параметры настройки оборудования задаются с использованием специальной графической формы, а затем записываются в одном из полей базы данных. Затем диагностическая аппаратура ПСД считывает данные из БД и самонастраивается;
  - оперативное изменение количества графиков в рабочей области окна программы. Данная функция позволяет выбрать необходимое количество одновременно представляемых графиков для анализа. Функция обеспечивает повышение информативности при анализе информации с многоканальных диагностических комплексов;
  - автоматическое масштабирование рабочей области графика при добавлении новых графиков на экран. Также предоставляются инструменты независимой ручной настройки масштаба и характеристик отображения графиков для каждой области. Данная функция позволяет максимально эффективно использовать рабочее пространство дисплеев, а также выбрать оптимальный масштаб графика для анализа;
  - построение нескольких трендов на одном графике;
  - масштабирование тренда в одних координатных осях;
  - автоматическое разделение больших объемов загружаемых данных на несколько пакетов. Данная функция необходима для повышения скорости работы ЭВМ с данными. Она применяется при работе DAQViewer на маломощных компьютерах и одноплатных ЭВМ в составе ПСД ИИС;
  - прореживание данных. Данная функция необходима для ускорения процесса работы с данными;
  - сглаживание пиков сигнала при помощи сплайнов.

#### Программное обеспечение DAQModeling

Обработка и анализ экспериментальных данных диагностической аппаратуры установок УТС очень часто неосуществима без моделирования. Моделирование позволяет выделить важные черты исследуемого процесса и упростить интерпретацию экспериментальных данных. В основу всех алгоритмов обработки данных заложены математические модели. При этом важна степень адекватности выбранной модели. Она должна обеспечивать решение поставленной задачи с требуемой точностью при имеющихся принципиальных ограниче-

ниях. Для этого целесообразно исследовать несколько моделей и соответствующих им алгоритмов анализа экспериментальных данных на предмет точности вычислений заданных параметров. Такой подход позволяет осуществить осмысленный поиск или разработку методов и средств интерпретации экспериментальных данных, и добиться получения достоверных и достаточно точных результатов их обработки.

Степень адекватности модели и исследуемого физического процесса может быть оценена путем проведения теста Тьюринга: если эксперт не может отличить экспериментальные тренды от трендов, созданных имитационной моделью, то имитационная модель считается адекватной. Имитационное моделирование экспериментальных данных с диагностической аппаратуры установки УТС для теста Тьюринга может быть осуществлено путем создания симуляторов для каждого диагностического комплекса. Для интеграции симуляторов в структуру ПО ИИС целесообразно использовать унифицированный подход. Для решения этой задачи в MATLAB была создана среда моделирования DAQModeling, определяющая программный интерфейс для подключения диагностических симуляторов в структуру ПО DAQSoft, а именно в DAQViewer.

В настоящее время разработан симулятор импульсной рефлектометрии плазмы установок УТС (RSIM). Один из режимов его функционирования – 2D-моделирование процесса распространения микроволнового пакета в плазме (рис. 4).

Модель позволяет оценить влияние плазмы и параметров диагностической аппаратуры на результаты измерений (учитывается положение приемной и передающей антенн, размеры их апертур, длина волны и мощность излучения). В пакете RSIM можно исследовать зависимость свойств отраженного плазмой микроволнового излучения от радиуса кривизны отражающей поверхности и параметров антенной системы импульсного радара. На рис. 4 представлена дополнительная информация о поле отраженного плазмой микроволнового излучения.

#### Заключение

Проектирование системы автоматизации экспериментов в части программ для ЭВМ приводит к образованию модульной структуры программного проекта. Эффективное взаимодействие между компонентами проекта осложняется ввиду специфики решаемых компонентами задач. В работе показана возможность решения проблемы в рамках единой инструментальной среды MATLAB. Представлен результат проектирования прикладного программного обеспечения верхнего уровня информационно-измерительной системы Казахстанского материаловедческого Токамака (DAQSoft).

В результате адаптации программных компонентов DASTools к системе автоматизации экспериментов Казахстанского материаловедческого То-

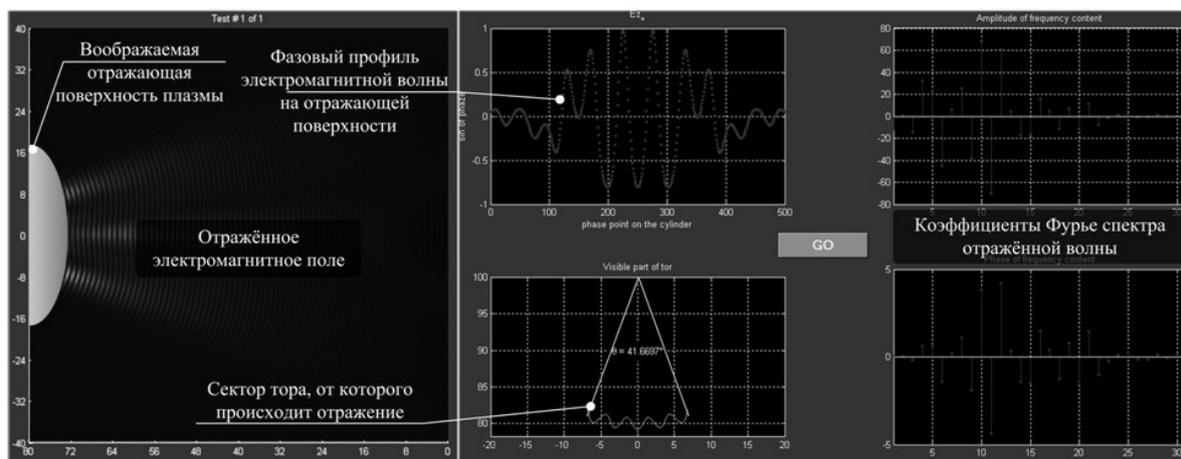


Рис. 4. Обработка данных импульсной рефлектометрии плазмы по модели плазмы в программе DAQ Modeling (графический интерфейс пользователя)

камака удалось решить задачу доступа программы к экспериментальным данным установки. Тестирование выполнялось на базе СУБД PostgreSQL (ОС Linux), библиотеки DASAccessLib и компонентов MEX.

Известно, что обработка результатов экспериментов на установках типа Токамак является нетривиальной задачей, которая в настоящее время в целом не решена. Разработка программных решений, основанных на моделировании процессов зондирования плазмы позволила оценить влияние

геометрических параметров плазмы на результаты зондирования в области импульсной рефлектометрии плазмы. Настроен интерфейс взаимодействия полученного программного кода (DAQModeling) с компонентами DAQSoft.

*Авторы выражают благодарность сотруднику Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» М.М. Соколову за предоставленные материалы и помощь, оказанную при выполнении работы.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Korotkov V.A., Azizov E.A., Shapovalov G.V., Tazhibaeva I.L., et al. Kazakhstan Tokamak for material testing conceptual design and basic parameters // Fusion Engineering and Design. – 2001. – V. 56–57. – P. 831–835.
2. Shamin A.V., Pavlov V.M., et al. Control and data acquisition system of Tokamak KTM // American Institute of Physics: Proc. of 17<sup>th</sup> Conf. – 2008. – V. 996. – № 1. – P. 297–306.
3. Manduchi G., Taliercio C., Luchetta A. The Java interface of MDSplus: towards a unified approach for local and remote data // Fusion Engineering and Design. – 2000. – V. 48. – № 1. – P. 163–170.
4. Калашников А.А., Шарнин А.В. Модель распространения излучения импульсного радара в высокотемпературной плазме // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 2. – С. 120–124.
5. Schachter J. Data Analysis Software Tools for Enhanced Collaboration at the DIII-D National Fusion Facility // Fusion Engineering and Design. – 2000. – V. 48. – № 1. – P. 91–98.
6. Sokolov M.M., Igonkina G.B., Koutcherenko I.Yu., Nurov D.N. New system for Tokamak T-10 experimental data acquisition, data handling and remote access // American Institute of Physics: Proc. of 17<sup>th</sup> Conf. – 2008. – V. 996. – № 1. – P. 269–275.

Поступила 18.03.2011 г.