

P10-2011-101

А. С. Кирилов

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
КОМПЛЕКСА СПЕКТРОМЕТРОВ РЕАКТОРА ИБР-2М**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

Кирилов А. С.

P10-2011-101

Современное состояние и перспективы развития программного обеспечения комплекса спектрометров реактора ИБР-2М

Рассмотрены основные черты инструментального программного комплекса Sonix+, который сейчас используется для управления спектрометрами на реакторе ИБР-2М. Комплекс Sonix+ унаследовал основные решения от предыдущей системы Sonix. Это, в частности, модульная организация, использование специальной базы данных для управления устройствами и отражения текущего состояния системы, использование скрипта для программирования процедуры эксперимента. В то же время часть решений была пересмотрена для того, чтобы сделать комплекс более унифицированным, гибким и удобным для пользователей.

Основные изменения можно сгруппировать следующим образом: структурные улучшения, применение Python в качестве скриптового языка, реорганизация и унификация пользовательского интерфейса, организация дистанционного слежения и управления через сеть. Комплекс был протестирован на ряде спектрометров реактора ИБР-2 (РЕМУР, НЕРА-ПР) и на некоторых спектрометрах в других центрах. Планируется установить его на остальные спектрометры реактора ИБР-2М.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2011

Kirilov A. S.

P10-2011-101

Current State and Prospects of the IBR-2M Instrument Control Software

The article is devoted to the main features and plans of future improvements of the Sonix+ instrumental complex, which is used now to control experimental hardware at the IBR-2M spectrometers. The Sonix+ software inherited basic solutions from the older Sonix system. In particular, those are the modular organization using special database for device control and reflection of the current system state, using script programming for the measurement procedure. At the same time, some basic features were revised to make the system more unified, flexible and comfortable for the user.

Main changes can be grouped as follows: structural enhancements, using the Python as a script language, GUI redesign and unification, remote supervision and instrument control via network. During the last years, this complex has been tested at some IBR-2 instruments (REMUR, NERA-PR) and on some instruments at other centers. We are planning to install it at the other instruments of IBR-2M as well.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2011

Программное обеспечение (ПО) управляющих систем спектрометров реактора ИБР-2 (ИБР-2М) постоянно модифицируется. Время от времени оно изменяется коренным образом. Это происходит как для поддержки модификации самих спектрометров, так и вследствие общего развития электроники и программного обеспечения. Разработка текущей версии ПО была начата в начале 1990-х гг. для нейтронного спектрометра высокого разрешения (пучок ба реактора ИБР-2). Она предназначалась для работы на VME-компьютере в среде операционной системы реального времени OS-9. Позже эта программа была перенесена на ряд других спектрометров и получила название Sonix (Software fOr Neutron Instruments on X11 base) (см. [1,2]). Однако VME-оборудование и его системное программное обеспечение довольно дороги. Поэтому было принято решение о смене аппаратной платформы на ПК (IBM PC) в качестве базы для новых систем управления, а заодно и программной платформы на Windows XP. Такое радикальное решение стимулировало и критическую оценку накопленного опыта эксплуатации комплекса Sonix. К сожалению, изначально Sonix не был задуман в качестве универсальной системы. Поэтому его перенос на новые спектрометры был не всегда простым и сопровождался рядом ограничений. Учитывая эти обстоятельства, мы решили переработать принципы организации комплекса с целью получения большей унификации, упрощения переноса комплекса на новые установки и для обеспечения пользовательской политики на спектрометрах реактора ИБР-2М.

Новая версия комплекса унаследовала часть основных решений старой версии, а именно: модульную организацию, использование специальной базы данных для управления устройствами и хранения текущего состояния системы, использование скрипта для программирования измерительной процедуры и ряд других.

В то же время ряд решений был пересмотрен. Новая версия комплекса получила название Sonix+ (см. [1]). Мы называем комплекс инструментальным, потому что, во-первых, он содержит большое число доступных модулей, во-вторых, он организован так, чтобы максимально упростить сборку системы управления для новых спектрометров с использованием готовых модулей, программ, скриптов.

К наиболее существенным особенностям новой версии комплекса можно отнести:

- иерархическую модульную структуру, включающую большой набор модулей с необходимыми протоколами;
- унифицированный протокол взаимодействия с устройствами на основе базы данных Varman ([3]);
- использование скрипта (Python) (см. [4]) для реализации специфики спектрометра (измерения);
- двухступенчатую схему сохранения данных;

- унифицированный GUI и web-интерфейс.
- Рассмотрим их более подробно.

### ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА

Все спектрометры различны. Можно выделить четыре группы отличий:

- решаемые научные задачи,
- состав оборудования,

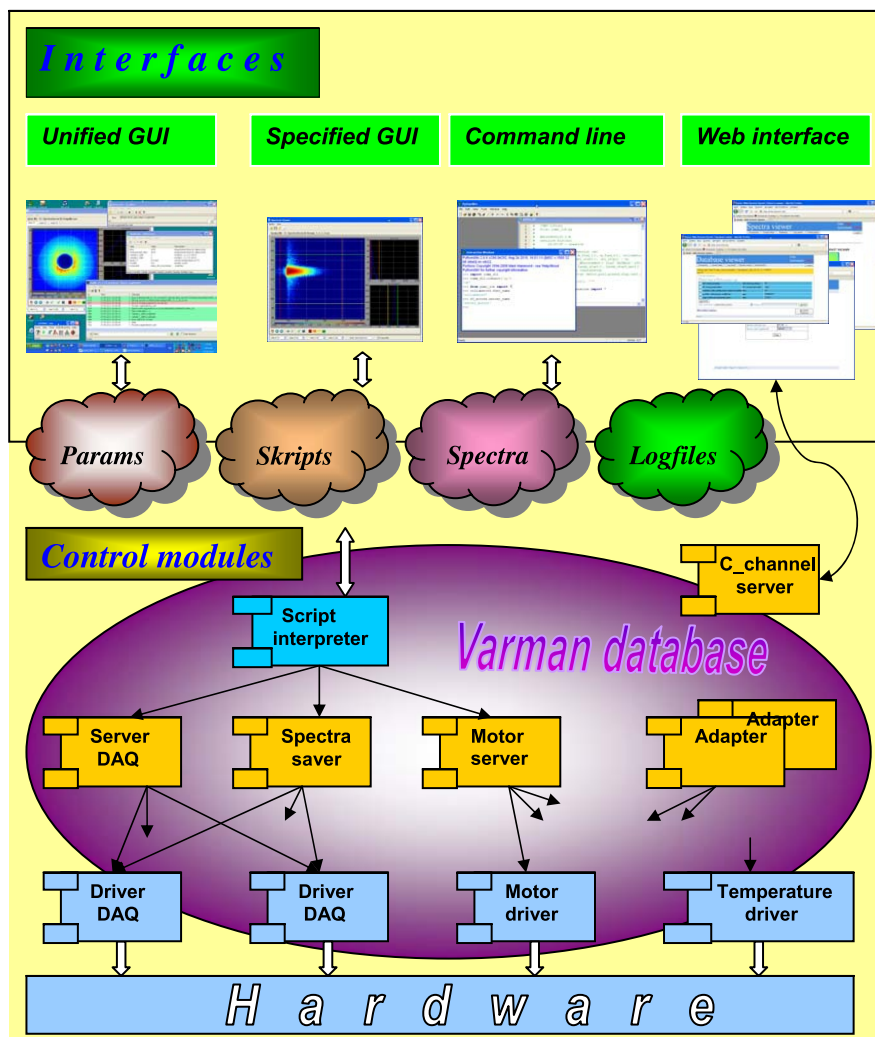


Рис. 1. Иерархия модулей в системе Sonix+ и связь с пользовательским интерфейсом

- методика (процедура) проведения измерений,
- форматы выходных данных.

Различия всех групп, кроме, возможно, первой, существенно влияют на состав и сложность системы управления.

Нейтронный спектрометр собирается из элементов, наиболее важными из которых являются различные детекторы с DAQ-контроллерами, двигатели для перемещения и вращения различных элементов, приборы окружения образца (рефрижераторы, печки, магниты, нагрузочные машины и т. д.). Поэтому и программное обеспечение установки естественно разрабатывать в виде модульной системы.

В модульной системе каждый компонент (модуль) ответственен за какое-то устройство или функцию. На практике набор модулей для каждого инструмента можно представить в виде иерархической структуры (рис. 1). На нижнем уровне иерархии находятся модули для управления аппаратными устройствами. Их мы назвали драйверами. Кроме аппаратных средств, драйверы могут создаваться и для обслуживания чисто программных устройств, например списков параметров.

Для организации согласованной работы драйверов служат модули более высокого уровня — серверы. Как правило, сервер управляет целой группой сходных устройств или реализует некоторые общие функции. Функциональность серверов выбрана таким образом, чтобы, по возможности, использовать их без изменений на всех или большинстве спектрометров. Кроме серверов в комплексе присутствует класс адаптеров, которые являются обобщенными устройствами, выполненными как надстройка над более примитивными устройствами. В настоящее время комплекс включает в себя следующие модули и компоненты:

**Таблица 1. Качественный состав Sonix+**

Тип	Количество
Низкоуровневые модули для обслуживания различных устройств (DAQ, шаговые двигатели, регуляторы температуры и т. д.)	> 20
Промежуточные модули уровня: серверы и адаптеры	> 10
Системные скрипты Python	> 20
Графический интерфейс пользователя	> 10
Системные модули	4
Всего	> 65

В частности, разработаны сервера для:

- управления экспозицией (контроллерами DAQ);
- управления моторами;
- интерпретации скрипта для выполнения программы эксперимента;
- для чтения спектрометрических данных во время экспозиции;
- командного канала для удаленного управления через сокеты.

Для связи серверов с управляемыми модулями предложены специализированные протоколы. В настоящее время используются:

- универсальный протокол для управления устройствами и их опроса;
- протокол для работы с DAQ-устройствами;
- протокол для управления моторами;
- протокол для удаленного управления через сокеты.

### **УНИФИЦИРОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С УСТРОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ VARMAN**

В Sonix+ основным объектом управления являются устройства. Устройства могут соответствовать реальному объекту (детектору, мотору и т. п.) или программному «объекту» (списку).

Важное условие обеспечения унификации — принятие общего протокола взаимодействия с устройствами. Взаимодействие осуществляется через общее хранилище данных, называемое базой данных Varman (см. [3]) (далее БД). Это взаимодействие осуществляется достаточно быстро, чтобы пренебречь временем выполнения операций. Данные хранятся в виде блоков, называемых переменными. Каждый клиентский процесс (модуль) может объявить «интерес» к переменным, например, при изменении ее значения. В этом случае такой процесс автоматически извещается о выполнении «интересного» условия. Этот механизм и используется для реализации протокола управления устройствами.

Устройства могут иметь:

- параметры конфигурирования,
- параметры состояния,
- командный интерфейс.

Параметры конфигурирования записаны в конфигурационном файле Sonix+ и задаются при инициировании устройства.

Параметры состояния устройства хранятся в БД. Оно состоит из двух частей:

- статической — для неизменяемых или редко изменяемых параметров (называемой параметрами);
- динамической — для часто изменяемых параметров (называемой статусом).

Каждая из них хранится в отдельной переменной. Поскольку состояния всех устройств хранятся в едином месте, то копия БД, сохраненная в виде файла («снимок» БД), отражает полное и точное состояние всей системы на момент снимка. Помимо самого состояния в БД хранятся и дескрипторы, описывающие структуру состояния. Это позволяет проводить расшифровку снимков в любой необходимый момент.

В действительности, несколько устройств могут управляться через общий контроллер (например детекторы, моторы и т.п.). Поэтому зачастую модуль драйвера соответствует именно контроллеру, а не устройству. Модулю могут посылаться команды и сигналы. Команды чаще всего направляются конкретному устройству и могут запускать «короткие» (непрерываемые) и «длинные» (прерываемые) операции.

Сигналы имеют приоритет над командами. Они направляются всему модулю целиком. Приняты следующие сигналы:

- «break» — прервать текущую операцию (только для длинных операций);
- «suspend» — приостановить текущую длинную операцию и/или прекратить выборку команд из очереди;
- «continue» — продолжить текущую операцию и/или выборку команд из очереди;
- «reset» — перезагрузить модуль.

Интерфейс каждого устройства представлен в БД в виде трех переменных:

- ящика команд,
- ящика сигналов,
- ящика ответа на команды.

Команды и сигналы, полученные модулем, ставятся в соответствующие очереди. Сигналы имеют приоритет над внутренними событиями синхронизации. Внутренние события синхронизации имеют приоритет над командами.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКРИПТА

Использование интерпретативных языков — одна из наиболее характерных черт современных систем управления.

В комплексе *Sopix* применялся скриптовый язык собственной разработки, что во многом ограничивало функциональные возможности при программировании эксперимента. В *Sopix+* в качестве скриптового используется полноценный язык программирования Python (см. [4]). Это и удобнее для использования, и позволяет перераспределить внутреннюю работу в комплексе более оптимально. Python используется в качестве слоя, соединяющего все компоненты системы управления в единое целое. Его применение позволяет собрать значительную часть специфики конкретного спектрометра и процедуры измерения в скрипте, т.е. в наиболее гибком и простом в изменении компоненте системы. Это очень полезно с точки зрения унификации и облегчения переноса комплекса на новые спектрометры.

Кроме того, становится доступным все многообразие программного обеспечения на этом языке, которое может быть применено как для управления экспериментами, так и для предварительной обработки данных.

Принципиальным моментом является то, что применение Python в качестве скриптового языка открывает широкую возможность для пользователя программы изменять методику измерений и обработки данных самостоятельно даже без обязательной помощи авторов Sonix+. Это делает систему управления установкой максимально открытой для подготовленного пользователя.

### **ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ СХЕМА СОХРАНЕНИЯ ДАННЫХ**

Программы обработки экспериментальных данных — наиболее консервативная часть программного обеспечения спектрометра. Соответственно, при модернизации системы управления спектрометром форматы входных данных для этих программ должны быть сохранены. Для того чтобы максимально облегчить адаптацию комплекса для нового спектрометра, была принята схема двухуровневого сохранения данных. Первоначально спектры сохраняются во «внутреннем» формате, который является общим для всех спектрометров. Результаты каждого измерения сохраняются в двух файлах: в первом — спектры со всех детекторов, во втором — снимок с БД. Таким образом, эта пара файлов содержит полную информацию о конкретном измерении.

Окончательно все файлы данных переводятся в формат конкретного спектрометра. Аналогично обеспечиваются необходимые требования по именованию файлов данных. Как отмечалось в предыдущем разделе, эти процедуры также запрограммированы на Python.

### **ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

Новый подход к организации структуры комплекса позволяет предложить и новый вариант унифицированного пользовательского интерфейса, который обладает достаточной функциональностью для управления любым измерением на любом спектрометре. Прежний интерфейс был организован так, чтобы каждый из компонентов спектрометра имел свое управляющее окно. Таким образом, интерфейс для сложной многокомпонентной установки обычно состоял из большого числа окон (рис. 2). Это мешало эффективному управлению и требовало разработки отдельной программы (окна) для каждого нового устройства.

Новый интерфейс организован в соответствии с другим принципом: каждое окно посвящено удовлетворению одной из основных потребностей пользователя (рис. 3). Мы выделили четыре такие потребности: наблюдение за текущим состоянием параметров измерения (установки), просмотр истории измерения (файла протокола), визуализация набираемых спектров. Четвертая



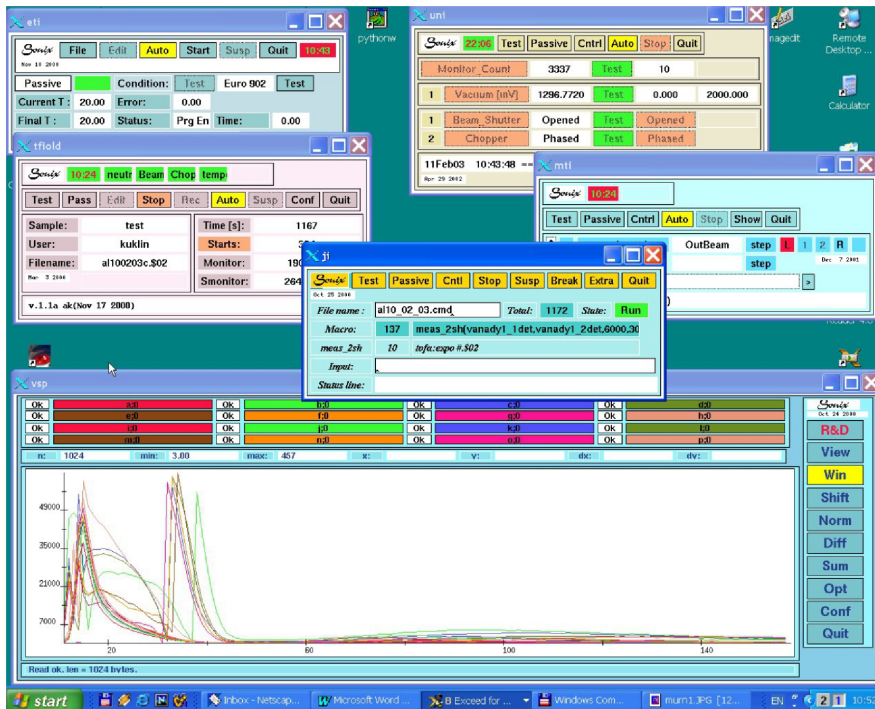


Рис. 2. Интерфейс пользователя для спектрометра ЮМО (старый вариант)

потребность состоит в управлении процессом измерения (процессом интерпретации скрипта). Таким образом, четырех программ (окон), как правило, достаточно, чтобы провести эксперимент (см. табл. 2).

Важно отметить, что для контроля доступны все программно-управляемые или отображаемые параметры. Кроме того, имеется возможность выбора списка наиболее важных параметров, которые выводятся в виде отдельной таблицы.

Помимо основных программ в интерфейсе Sonix+ есть и дополнительные, которые не обязательны в повседневной работе. По отдельным запросам для установки могут разрабатываться и специализированные интерфейсные программы. Конечно, использование специализированного интерфейса может быть более удобным, чем применение универсального. Тем не менее наличие универсального интерфейса существенно ускоряет перенос комплекса на новые спектрометры и упрощает адаптацию пользователя в случае, если он работает с несколькими спектрометрами, т. е. облегчает проведение пользовательской политики. Более подробная информация о пользовательском интерфейсе может быть получена на сайте Sonix+ (см. [1]).

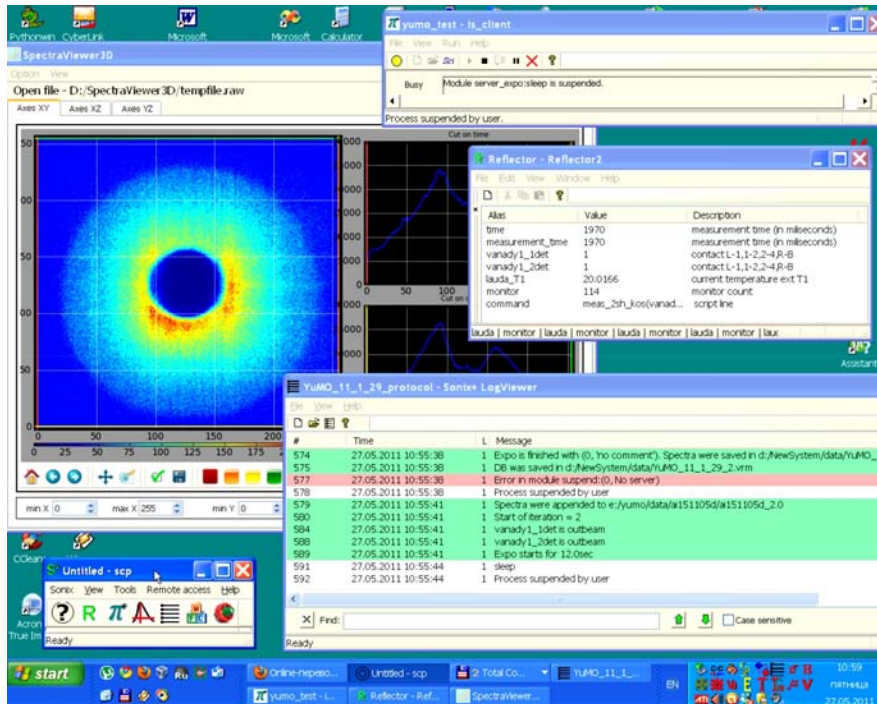


Рис. 3. Новый вариант интерфейса пользователя для спектрометра ЮМО

Таблица 2. Программы унифицированного графического интерфейса

Программа	Назначение
Reflector	Отображение текущих значений параметров измерения и оборудования
LogViewer	Просмотр протоколов (online и offline)
Is_client	Запуск скриптов и управление ходом интерпретации
SpectraViewer	Визуализация спектров (online и offline)

## WEB-ИНТЕРФЕЙС

Система WebSonix (см. [5]) предназначена для удаленного слежения через Интернет за ходом измерения на установке управления этим процессом. Мы рассматриваем этот интерфейс в качестве дополнения к основному. Он организован по принципу, аналогичному основному интерфейсу. Важно подчеркнуть, что и в данном случае специфика спектрометра, а именно визуализация спектров, вынесена в скрипт на Python, что позволило сделать сайт универсальным.

## ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЛАНЫ НА БУДУЩЕЕ

В 2004 г. Sonix+ был установлен на двух спектрометрах — NERA-PR и REMUR реактора ИБР-2. Обе установки успешно отработали до остановки реактора в 2006 г. Кроме них, для практических испытаний была подготовлена версия для спектрометра ЮМО. В период модернизации реактора работы по Sonix+ продолжались. Новые модифицированные версии были протестированы на различных инструментах вне ОИЯИ (DSD в Екатеринбурге в 2005 г., GEK3 и GEK5 в Обнинске, МОНД в Курчатовском институте в 2007 г.).

Ниже приведен график модернизации ПО систем управления спектрометрами реактора ИБР-2М в ближайшие годы:

Номер пучка	Установка	Характер работ	Срок завершения
4	YuMO	Модификация оборудования	2011
5	HRFD	Замена Sonix на Sonix+	2013
6a	RTD	Новая установка	2012
6b	DN-6	Новая установка	2013
7a	EPSILON, SKAT	Замена Sonix на Sonix+	2012
7b	NERA-PR	Модификация оборудования	2011
8	REMUR	Модификация оборудования	2011
9	REFLEX	Новая установка	2011
10	GRAINS	Новая установка	2013
11	FSD	Замена Sonix на Sonix+	2011

Развитие самого комплекса прежде всего связано с созданием драйверов для новых контроллеров DAQ и других устройств, а также с совершенствованием пользовательского интерфейса. В частности, в новых контроллерах DAQ предусмотрен режим работы «list mode», который должен быть поддержан программно.

Для группы рефлектометров разрабатывается программа юстировки, включающая компоненты задач основного интерфейса, а именно подокна отображения параметров, протоколов, управления скриптом и визуализации данных. Для этой цели средства Microsoft Visual Studio 2008, которые были использованы для разработки основного интерфейса, не очень удобны. Мы предполагаем применить другие программные средства. В частности, мы намерены организовать библиотеку элементов интерфейса, используя PyQt ([6]) и QT ([7]), а для визуализации данных — matplotlib ([8]). Matplotlib является графической библиотекой, аналогичной MatLab, с интерфейсом для языка Python. На рис. 4 приведен пример применения данной технологии для визуализации данных с 2D ПЧД. Это окно образовано тремя виджетами и, в свою очередь, может быть использовано как самостоятельная задача, так и элемент для более сложного интерфейса.

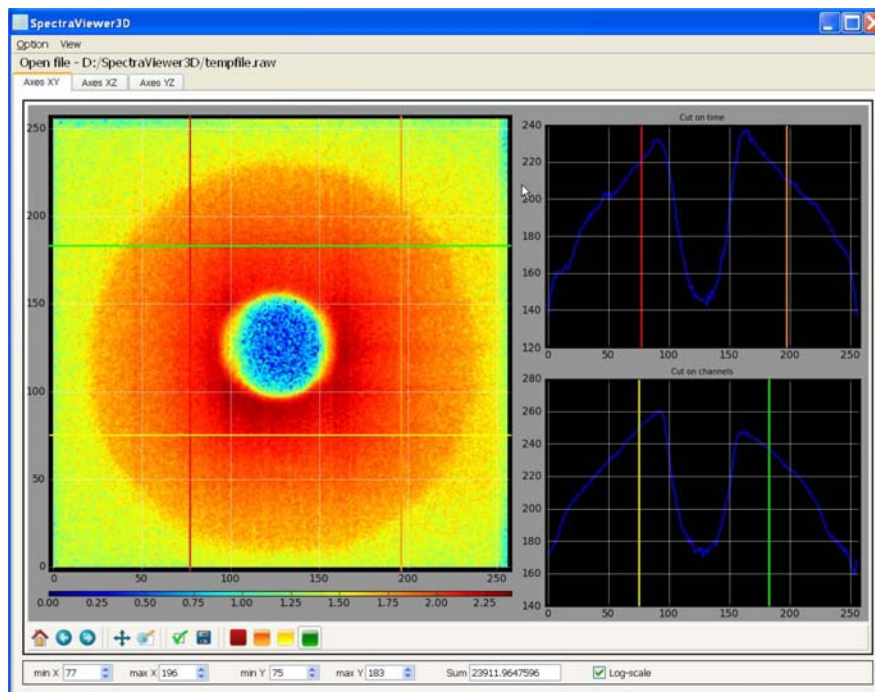


Рис. 4. Программа для визуализации данных с одно- и многомерных детекторов на основе matplotlib, PyQt и QT

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://sonix.jinr.ru/>
2. Kirilov A. S. *et al.* Evolution of the Sonix Software Package for the YuMO Spectrometer at the IBR-2 Reactor // *Instruments and Experimental Techniques*. 2004. V. 47, No. 6. P. 334–336.
3. Кирилов А. С., Юдин В. Е. Реализация базы данных реального времени для управления экспериментом в среде MS Windows. Препринт ОИЯИ Р13-2003-11. Дубна, 2003.
4. <http://www.python.org/>
5. Kirilov A. S. *et al.* An Arrangement of the Remote Control of Spectrometers on the IBR-2M // *Reactor Instruments and Experimental Techniques*. 2009. V. 52, No. 1. P. 37–42.
6. <http://www.riverbankcomputing.co.uk/software/pyqt/intro>
7. <http://qt.nokia.com/products/>
8. <http://matplotlib.sourceforge.net/users/intro.html>

Получено 5 октября 2011 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 16.12.2011.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,75. Уч.-изд. л. 0,94. Тираж 250 экз. Заказ № 57533.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)