

P10-2008-23

А. С. Кирилов, С. М. Мурашкевич, Р. Ю. Окулов,  
Т. Б. Петухова

**ОРГАНИЗАЦИЯ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
СПЕКТРОМЕТРАМИ НА РЕАКТОРЕ ИБР-2М**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

## Организация удаленного управления спектрометрами на реакторе ИБР-2М

Развитие сетевой инфраструктуры в Дубне создает предпосылки для удаленного слежения/управления экспериментом на реакторе ИБР-2М за пределами локальной сети ОИЯИ. Возможность наблюдения за ходом эксперимента со стороны позволяет своевременно реагировать на ошибки или непредвиденные ситуации, экономить реакторное время. Рассмотрены принципы организации и особенности реализации системы Web-Sonix, состоящей из центрального web-сайта и средств связи со спектрометрами. Система позволяет отражать актуальное состояние всех компонентов спектрометра, просматривать протоколы измерений, отображать графики накапливаемых спектров и руководить ходом эксперимента на спектрометрах под управлением программного комплекса Sonix+ (ОС Windows XP). Система не зависит от специфики спектрометров, позволяет простое изменение их состава и легкую адаптацию к специфике отображения спектрометрических данных. Система реализована с использованием PHP- и Python-скриптов. На компьютере сайта установлены ОС GNU/Linux Debian и web-сервер Apache 2.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2008

Organization of Remote Control of Spectrometers  
at the IBR-2M Reactor

The development of network infrastructure in Dubna creates conditions for the remote supervision/control of experiment at the IBR-2M reactor beyond the JINR local network. The opportunity of observing an experiment from outside makes it possible to respond to errors or unforeseen situations, to save the reactor time. The principles of organization and peculiarities of implementation of the WebSonix system consisting of the central web-site and communication facilities for spectrometers are considered in the paper. The system allows one to reflect the actual condition of all the components of the instrument, survey log files, visualize the accumulated spectra and to control the experimental procedure on the instruments controlled by the software complex Sonix+ (OS Windows XP). The system is an independent instrument, it is easy to extend or change and easy to adapt to the instrument data specifics. The system is implemented using the PHP and Python scripts. The OS GNU/Linux Debian and web-server Apache 2 are installed on the web-site computer.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2008

Управление экспериментом на реакторе ИБР-2 до появления систем управления на основе VME-компьютеров было только локальным из зала реактора. Применение систем на базе VME-компьютеров позволило разработать программные средства для удаленного управления спектрометрами в рамках сегмента ЛНФ [1]. В настоящее время развитие сетевой инфраструктуры в г. Дубна создает предпосылки для удаленного слежения/управления экспериментом из-за пределов сегмента ОИЯИ. Возможность наблюдения за ходом эксперимента со стороны позволяет своевременно реагировать на ошибки или непредвиденные ситуации, экономить реакторное время.

### ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Мы провели опрос участников NOBUGS (New Opportunities for Better User Group Software) [2], организующей конференции по программному обеспечению нейтронных и рентгеновских спектрометров. Как правило, действующие системы предоставляют возможность удаленного слежения за статусом установок, за основными параметрами, позволяют отображать накопленные данные в исходном или обработанном виде. При обслуживании группы спектрометров сервер сайта обычно выносится на отдельный компьютер. Как и ожидалось, самой популярной операционной системой оказалась ОС GNU/Linux, web-сервер — Apache, самой распространенной средой программирования — Java.

Наиболее характерные, с нашей точки зрения, подходы приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

Название	Организация, пучок	Программное обеспечение	Основные черты	Эксплуатация
Dixie [3]	ORNL		Управление и наблюдение за экспериментом	С 1997 г.
BARNS [4]	ILL	PHP, IDL	Отображение данных, статуса установки и устройств, протоколы измерений	С 1998 г.
DeepView [5]	ORNL	CGI, Perl, Java, C++	Управление и наблюдение за экспериментом	С 1999 г.

Окончание таблицы 1

Название	Организация, пучок	Программное обеспечение	Основные черты	Эксплуатация
SICS WWW Instrument Status Display [6]	PSI, 13 спектрометров	GNU/Linux, Apache, Java	Отображение статуса установки, важнейшие параметры установки, файл протокола	С 2000 г.
USAXS [7]	ANL, APS, 32ID-B USAXS	GNU/Linux (CentOS 4), Apache, PHP, JavaScript, Tcl	Статичные web-страницы: статус текущего эксперимента, графики последних данных, текущие параметры устройств	5 лет
CIMA [8]	ANL, APS, sector 34ID-E	Fedora Core 4, Apache, PHP, JavaScript	Отображение данных почти в реальном времени (необработанные и обработанные данные, время начала и конца сканирования)	—
CBASS [9]	BNL NSLS	GNU/Linux, Windows, Java	Отображение параметров эксперимента, визуализация кристаллографических образов	—

### **ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ УДАЛЕННОГО СЛЕЖЕНИЯ/УПРАВЛЕНИЯ ЗА ЭКСПЕРИМЕНТОМ НА УСТАНОВКАХ РЕАКТОРА ИБР-2М**

Всех потребителей системы удаленного слежения/управления можно разбить на три группы:

- Группа ведущих эксперимент. Для членов этой группы наиболее существенна, во-первых, проверка соответствия хода и условий эксперимента заявленной программе. Во-вторых, им могут потребоваться удаленный останов/пуск программы, коррекция или замена ее, т.е. элементы управления.
- Группа пользователей-наблюдателей. Для членов этой группы более существенна история измерений и степень готовности результата. Удаленное управление они не используют.

- Технический персонал (программисты и т. д.). Для членов этой группы также достаточно удаленного слежения, так как их интересует правильность функционирования программ или аппаратуры. Однако для анализа ситуации им может потребоваться более детальная информация, чем другим пользователям.

Разрабатываемая система должна удовлетворять требованиям всех групп потенциальных пользователей. Она должна допускать не только *слежение*, но и включать элементы *управления* установкой.

Система должна допускать легкое *расширение*. Включение новых спектрометров не должно вызывать в ней большие переделки. К тому же система должна быть организована в целом *независимо от специфики* спектрометров (по возможности избегать «частных» страниц), в то же время *легко адаптироваться* к их особенностям. *Защищенность* от несанкционированного доступа и *устойчивость* являются важными факторами, так же как *удобство в работе* и понятность интерфейса.

Система должна обеспечивать при необходимости получение *детальной информации* о ходе эксперимента и состоянии оборудования.

Работа системы не должна существенно нагружать управляющие компьютеры спектрометров.

## **ОСОБЕННОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

На большинстве спектрометров реактора ИБР-2 для проведения измерений используются программные комплексы Sonix [1] (управляющий компьютер в стандарте VME, операционная система OS-9) и Sonix+ [10](PC, Windows XP соответственно). Дальнейшее рассмотрение относится только к Sonix+, поскольку он разработан взамен морально устаревшего предшественника.

Программный комплекс Sonix+ образован набором модулей

- управляющих компонентами спектрометра (драйверы, серверы);
- выполняющих служебные функции;
- пользовательского интерфейса, визуализации спектров и т. п.

Для составления заданий на эксперимент в пакетном режиме в комплекс встроен интерпретатор с языка Python [11].

Важной особенностью комплекса является то, что взаимодействие всех управляющих модулей происходит в рамках единого принятого протокола

и реализовано через «хранилище данных» называемое *базой данных Vartan* [12]. Это, в частности, позволяет легко расширять комплекс за счет подключения дополнительных модулей.

При разработке программного комплекса Sonix+ задача удаленного управления экспериментом изначально не входила в число приоритетных. Поэтому специальные средства не разрабатывались. Предполагалось воспользоваться услугами *Удаленного рабочего стола* Windows XP. Это средство позволяет полностью переключать рабочий стол управляющего компьютера на удаленный компьютер, что было приемлемым решением на начальном этапе эксплуатации систем Sonix+.

Однако такой подход предполагает и существенные ограничения. Рабочий стол средствами Windows XP не может быть размножен, следовательно, слежение/управление экспериментом в каждый момент времени возможно только с одной точки. Хотя это и предотвращает возможные конфликты по управлению, но неудобно при совместной работе группы пользователей.

Существуют коммерческие программы «размножения» рабочего стола Windows, и они применялись на ряде спектрометров. Однако применение подобных систем за пределами сегмента Лаборатории не вполне безопасно, к тому же доступ с компьютеров, на которых данная программа не установлена, по-прежнему, невозможен.

Web-технологии более популярны для решения задачи организации удаленного слежения и управления. Они содержат разнообразные инструментальные возможности и гарантируют доступ из произвольной точки.

## ОСНОВНЫЕ ИДЕИ

Как отмечалось ранее, выделение отдельного компьютера для базирования сайта системы является общепринятой практикой. Этот компьютер должен быть доступен круглосуточно, а следовательно, обладать повышенной надежностью. Критерии надежности и защищенности также являются основными при выборе его ОС и web-сервера.

При наличии отдельного сервера управляющие компьютеры спектрометров могут быть скрыты от внешнего для ОИЯИ пользователя. Это повышает их защищенность от внешних атак.

*Информационное содержание сайта* должно

- отражать актуальное состояние всех компонентов спектрометра (позиции моторов, значения условий на образце и т. п.);
- обеспечивать доступ к протоколам измерений;
- отображать текущие графики спектров;
- предоставлять возможность управления измерением.

Текущее состояние всех компонентов спектрометра в Sonix+ может быть легко получено, поскольку вся информация о параметрах измерения хранится в специализированной базе данных Varmap и может быть сохранена в виде файла как *снимок с базы данных*. Пользователь должен иметь возможность не только просматривать полный список параметров целиком, который может быть весьма объемным, но и выделять параметры, представляющие особую важность, — *favorites* — в отдельный список слежения.

*Протоколы измерений* содержат детальную информацию о ходе эксперимента. Помимо протокола текущего измерения пользователя могут заинтересовать более ранние протоколы. Поэтому в наборе команд должна присутствовать команда чтения каталога протоколов. Как показала опытная проверка, передача протокола целиком неразумна, особенно при больших размерах файла. Сортировку протокола и выделение порции для просмотра следует выполнять на управляющем компьютере.

Существенным моментом является *визуализация текущих спектров* по всем детекторам. Формирование картинки графика на управляющей машине выглядит более практичным решением, чем передача исходных массивов, особенно для ПЧД с большим разрешением.

Управление предполагает включение средств *просмотра, редактирования и манипуляции со скриптами* в сервис, предоставляемый сайтом.

Внешний доступ к *компьютеру*, безусловно, должен быть под контролем. При этом локальный пользователь (тот пользователь, который работает через основной интерфейс) должен иметь безусловный приоритет по управлению. При необходимости внешний доступ может быть полностью запрещен. Внешние пользователи могут получать доступ для слежения или управления. Допустимо подключение нескольких пользователей в режиме слежения одновременно. Однако в режиме управления в каждый момент времени доступ может быть предоставлен только одному пользователю.

Все удаленные пользователи должны *авторизоваться* при выборе спектрометра. Это необходимо по трем причинам:

- часть пользователей хочет ограничить возможность «подсматривания» за измерением со стороны;
- неумеренно частое построение графиков спектров может перегрузить управляющий компьютер установки;
- для регламентирования доступа к управлению установкой.

При авторизации имя пользователя и его пароль передаются на управляющий компьютер, где и принимается решение о предоставлении доступа. Список учетных записей спектрометра с правами доступа хранится в конфигурационном файле Sonix+ на управляющем компьютере. Это позволяет

ответственному за установку совершенно самостоятельно регулировать процесс внешнего доступа.

Сервер WebSonix получает информацию об измерении непосредственно от управляющего компьютера. Можно представить два способа формирования этой информации: циклический через определенный интервал времени либо актуальный *по запросу*. Второй способ сложнее в реализации, поскольку требует организации специального канала для передачи команд, однако он предпочтительнее на наш взгляд, поскольку общая нагрузка на управляющий компьютер меньше, а предоставляемая информация — точнее.

## РЕАЛИЗАЦИЯ

В ЦВК ЛНФ выделен компьютер, на котором базируется сайт системы WebSonix. Адрес сервера — <http://sonix.jinr.ru>.

Из всего многообразия средств создания динамических web-страниц был выбран и использован язык PHP (версия 5.0). На наш взгляд, функционально PHP не уступает продуктам линии Java, а его синтаксис очень похож на язык C, который является основным языком разработок проекта Sonix+.

Выбор протокола обмена файлами сделан в пользу FTP с последующей заменой на SFTP.

Это предполагает установку FTP-сервера на управляющий компьютер, но увеличение нагрузки незначительно. На управляющем компьютере открываются каталоги:

`/tmp` — для размещения ответов на команды сервера,

`/ru_sgc` — для размещения скриптов пользователя.

Комплекс Sonix+ был дополнен двумя модулями *s\_spectra* для чтения текущих спектров и записи их в файл и *c\_channel* для отработки команд web-сервера.

## РЕАЛИЗАЦИЯ КОМАНДНОГО КАНАЛА

*Командный канал* сервера с управляющим компьютером организован аналогично протоколу *pu\_gates* [13] (рис. 1). Этот способ передачи команд между компьютерами использовался на протяжении нескольких лет для подключения ПЧД-детекторов, управляемых РС (Sonix+), к управляющим VME-компьютерам (Sonix) и зарекомендовал себя хорошо. Он выполнен по модели клиент-сервер с обменом на уровне сокетов. Главной особенностью этого протокола является то, что команда, посылаемая клиентом, на стороне сервера (в качестве сервера в данном случае выступает модуль *pu\_gates*, запущенный на управляющем компьютере) интерпретируется как имя процедуры на языке



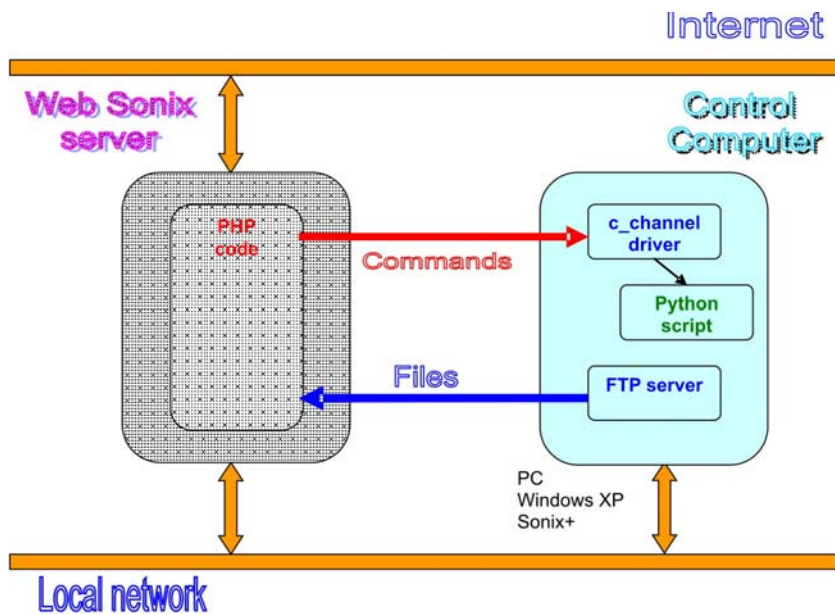


Рис. 1. Схема связи web-сервера с управляющими компьютерами

Python. Результат выполнения процедуры, состоящий из статуса и комментария, возвращается в виде текстовой строки. Это решение обеспечивает независимость от специфики команд, а также возможность легкой модификации списка и функций команд.

В дополнение к возможностям *py\_gates* модуль *c\_channel* интерпретирует самостоятельно часть команд, связанных с запросами на выбор режима внешнего доступа (см. табл. 2).

Таблица 2

Команда	Формат
Запрос на открытие сеанса слежения	\$SR <user name> <password>
Запрос на открытие сеанса управления	\$CR <user name> <password>
Завершение сеанса управления	\$CF
Посылка команды во время сеанса управления	\$SendCommand <command>

Для синхронизации запросов на управление служит флаг статуса *RemoteUserName*. Разрешение получает первый запрос внешнего пользователя, имеющего право управления. Попытки других пользователей получить управление блокируются до окончания текущей сессии. При повторной попытке начать сеанс управления с этим же именем выдается предупреждение, но попытка не отвергается. Это предусмотрено на случай сбоев связи.

Как отмечалось выше, локальный пользователь имеет безусловный приоритет по управлению. Он может запретить прием внешних команд, установив режим «запретить внешний доступ» или «запретить доступ по управлению».

Набор команд, реализуемый в скрипте на языке Python, включает команды следующих видов:

- сохранение снимка базы данных и его преобразование в текстовый формат;
- управление интерпретацией скрипта (команды *start*, *break*, *continue*);
- чтение текущего спектра указанного детектора и построение графика;
- выдача имени текущего протокола;
- выдача списка всех протокольных файлов;
- считывание из файла протокола указанной порции строк заданных типа и уровня.

Большинство команд, за исключением команд построения графиков, не зависит от специфики спектрометра. Набор команд может легко дополняться и модифицироваться.

## СНИМОК БАЗЫ ДАННЫХ

Как отмечалось выше, особенностью функционирования Sonix+ является то, что все устройства спектрометра взаимодействуют через так называемую *базу данных Varman* (БД). Эта база, наряду со значениями параметров, содержит и полное описание структуры этих параметров. *Снимок БД* может быть сохранен сервером Varman в виде двоичного файла. Наличие структур данных позволяет интерпретировать БД, опираясь только на содержимое снимка. Преобразование содержимого БД к понятному для человека текстовому представлению удобнее делать на управляющем компьютере, где для этого есть необходимые программные средства. Для сохранения структурной вложенности текстовое представление БД выглядит в виде *древовидного списка*.

## ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Корневая страница сайта предназначена для выбора спектрометра и авторизации (рис. 2).

Под заголовком каждой страницы расположена строка кнопок для перехода на другие доступные страницы. После авторизации пользователь попадает на страницу отображения базы данных (рис. 3). В списке в левом ряду располагаются имена устройств. Каждое устройство может характеризоваться совокупностью параметров, организованных в подструктуры, которые, в свою очередь, могут состоять из других подструктур и т. д. Каждый элемент структуры помещается с новой строки, а каждое вложение отмечается сдвигом на одну колонку. Значения параметров находятся в правой стороне строки и отделены знаком «=». Пользователь имеет возможность просматривать как содержимое всей базы в нижнем окне, так и содержимое избранного им списка

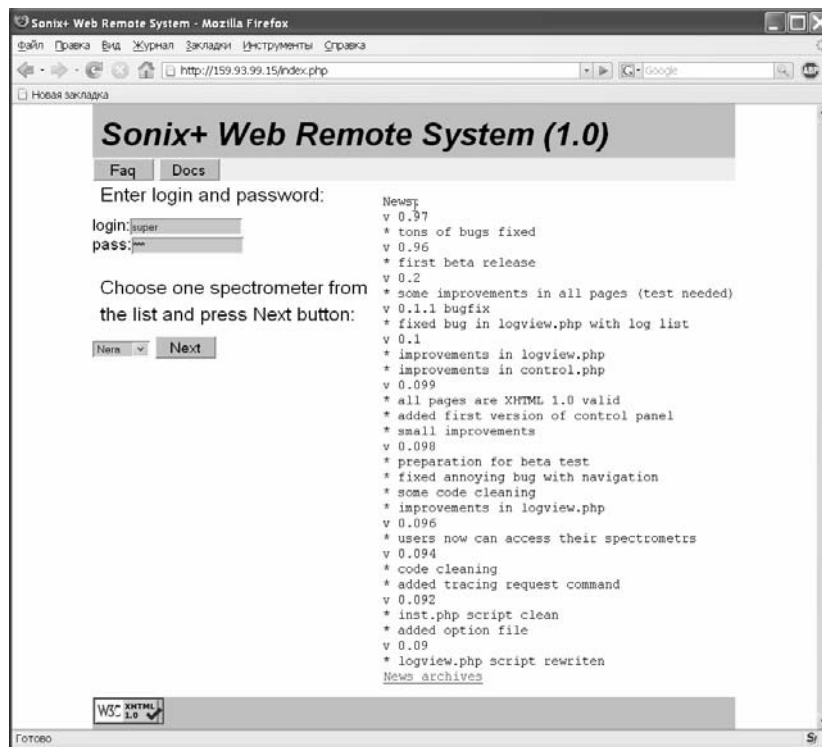


Рис. 2. Корневая страница системы WebSonix

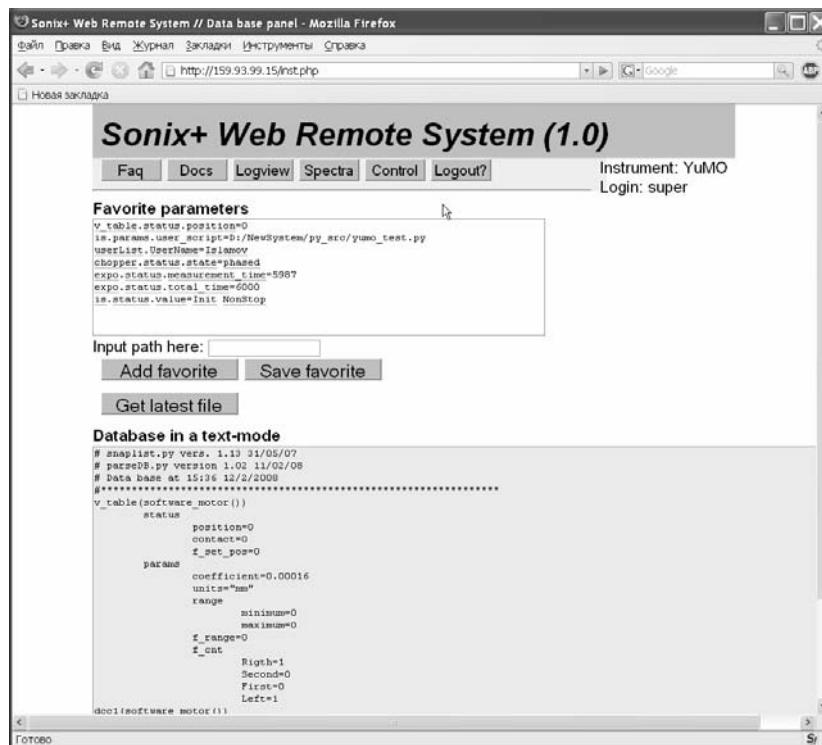


Рис. 3. Отображение состояния параметров (базы данных) спектрометра в процессе измерения

параметров (*Favorite parameters*) в верхнем окне. При добавлении параметра в список следует задать полный путь к нему. Например, из приведенного ниже примера имя выполняемого скрипта адресуется как *is.status.user\_script*. Информация обновляется по запросу пользователя.

### ПРОСМОТР ПРОТОКОЛОВ

Помимо *протокола текущего измерения* пользователя могут заинтересовать более ранние протоколы (рис. 4). Поэтому в набор команд включена команда чтения каталога протоколов.

Как отмечалось ранее, передача протокола целиком неразумна, особенно при больших размерах файла протокола. Сортировка протокола по признакам (типы, уровень) и выделение порции для просмотра выполняются на управляющем компьютере.

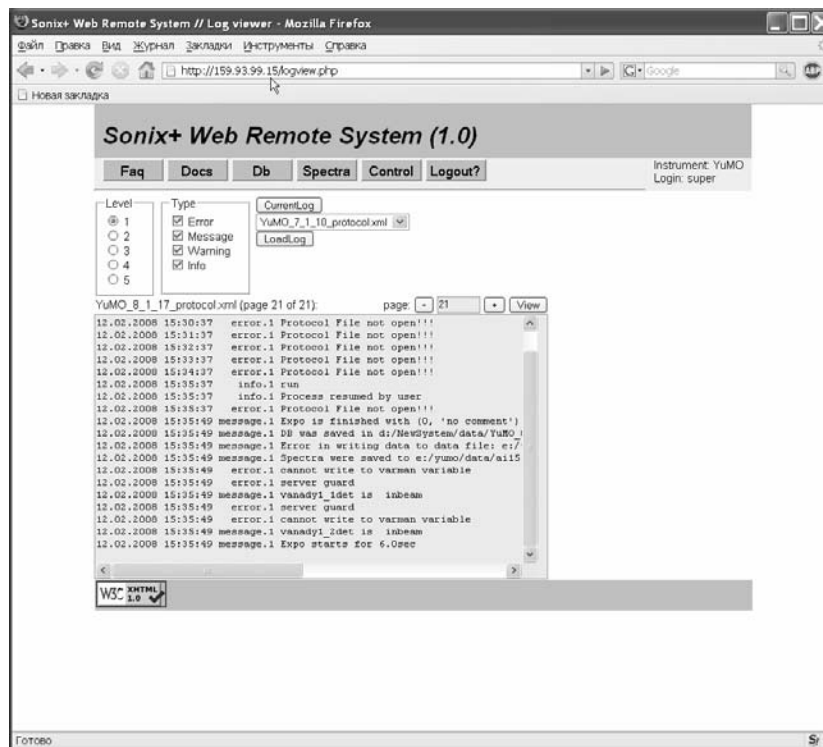


Рис. 4. Страница отображения протоколов

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СПЕКТРОВ

На странице визуализации спектров формируется набор кнопок, соответствующий списку детекторов, и график выбранного детектора (рис. 5). При построении графиков использовалась библиотека Mathplotlib [14] как расширение языка Python. В настоящее время изображаются спектры с

- точечных детекторов или наборов таких детекторов;
- одномерных ПЧД в виде карты плотности;
- двумерных ПЧД (рис. 6) в виде трех карт плотности, полученных при суммировании по одной из осей  $t$ ,  $x$  и  $y$ .

Использование языка Python и особенность реализации позволяют легко подстроить вид графика к особенностям данных каждого спектрометра.

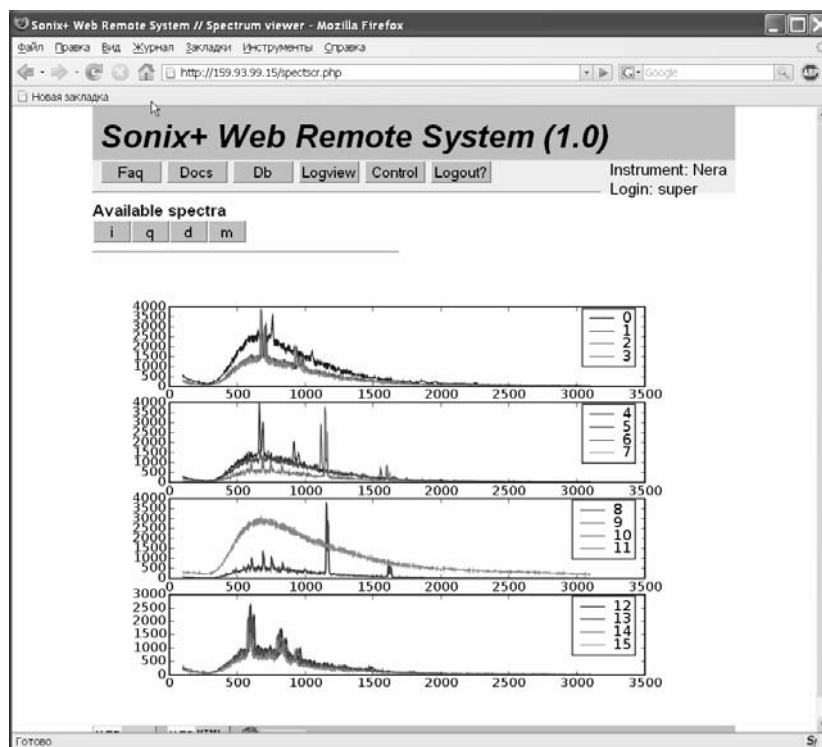


Рис. 5. Пример визуализации графиков 16 одномерных детекторов для спектрометра НЕРА-ПР в виде четырех графиков по четыре спектра

## УПРАВЛЕНИЕ

На странице управления (рис. 7) приведены имя файла исполняемого скрипта и его содержимое, а также набор кнопок управления. В настоящей версии допускается остановка/приостановка выполнения программы измерения либо запуск другого скрипта.

## ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА СИСТЕМЫ

В связи с длительной остановкой реактора ИБР-2 на реконструкцию в 2007–2010 гг. проверка выполнялась в два этапа. В декабрьском цикле ИБР-2 в 2006 г. на спектрометрах РЕМУР, НЕРА-ПР и ФДВР (детектор ПЧД) был испытан прототип системы. Для этого на одном из компьютеров с Windows

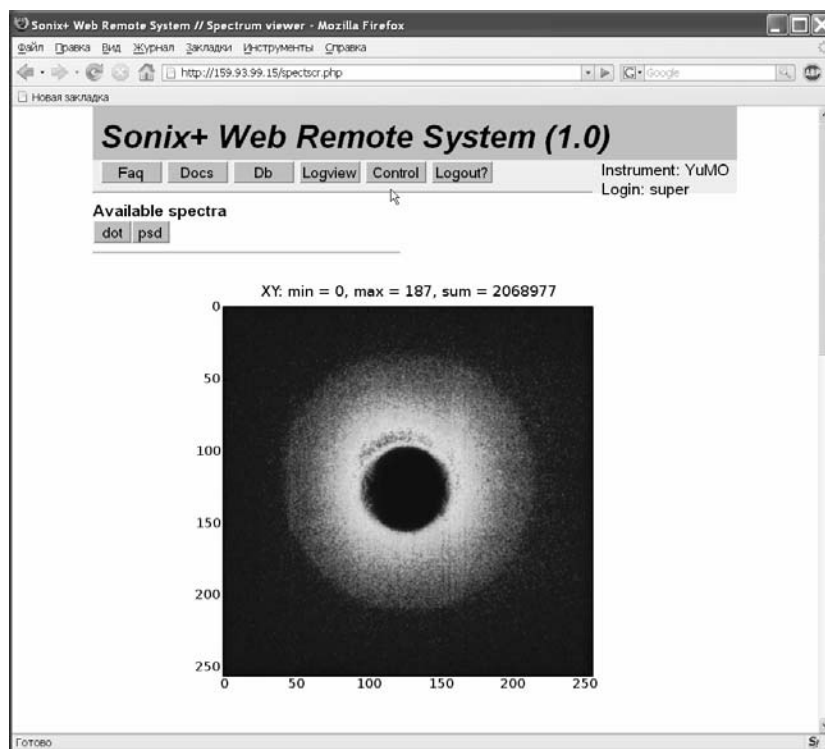


Рис. 6. Изображение информации с 2D ПЧД на примере детектора спектрометра YUMO. В видимой части изображения присутствует только карта плотности распределения по осям  $x$  и  $y$  (суммирование по оси  $t$ ). Две другие карты плотности ( $xt$  и  $yt$ ) не видны, поскольку страница не умещается в окне целиком. В заголовке помещены минимальное и максимальное значения, а также сумма всех элементов спектра

XP был запущен web-сервер IIS 5.1 с PHP 5.0. На измерительных компьютерах (Windows XP, Sonix+) был дополнительно установлен ftp-сервер IIS 5.1.

Для слежения предоставлялась следующая информация:

- снимок рабочего стола с циклическим обновлением в 1 мин как информация о том, что происходит в настоящее время;
- протокол текущего измерения для знакомства с его историей.

В связи с ограниченностью времени подготовки реализовать передачу другой информации и ее интерпретацию на стороне сервера мы не успели.

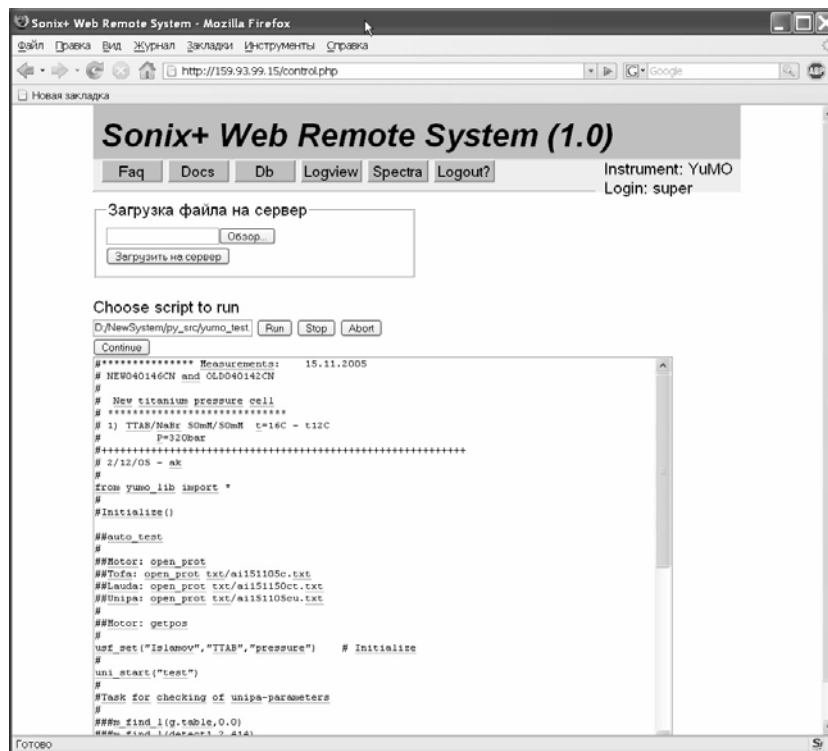


Рис. 7. Страница управления

Проверка показала, что

- система слежения в целом работоспособна, и ее функционирование не влияет на надежность работы измерительных систем;
- проверяемый вариант предоставляет важную информацию о работе системы, но без деталей;
- снимок рабочего стола не очень информативен, к тому же во время заставки этот снимок выглядит черным прямоугольником;
- вывод полного протокола при каждом обращении неразумен, тем более что при длительных измерениях объем файла протокола становится большим, и его передача не успевает выполняться за приемлемый интервал времени.

Наладка окончательной версии в полном объеме проводилась в 2007 г. На компьютере сайта WebSonix были установлены операционная система



GNU/Linux Debian и web-сервер Apache 2. Работа велась в режиме эмуляции оборудования спектрометров, но с использованием реальных версий управляющих программ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система удаленного слежения/управления экспериментом WebSonix разработана и готова к опытной эксплуатации на спектрометрах реактора ИБР-2 (ИБР-2М) под управлением Sonix+. Она, в целом, не зависит от специфики спектрометров, позволяет простое изменение их состава, а также легкую адаптацию к специфике отображения спектрометрических данных.

В настоящее время в число обслуживаемых спектрометров входят НЕРА-ПР, РЕМУР, ЮМО (при управлении от РС), а также ПЧД-детектор ФДВР. При интересе со стороны пользователей спектрометров под управлением Sonix (система OS-9, VME) возможна адаптация и к этой системе управления. Однако это направление разработок не представляется перспективным, поскольку используемые VME-компьютеры управления морально устарели и подлежат замене на РС.

Основные функции системы удаленного слежения и управления реализованы и проверены, насколько это возможно, с имитацией реальной работы. Дальнейшее развитие данной системы будет вестись после обобщения опыта эксплуатации в реальных условиях.

Авторы выражают благодарность В. Рябову за консультации и помощь в работе, В. И. Приходько за поддержку, А. И. Куклину за критические замечания по рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [Sonix] [http://sonix.jinr.ru/docs/Sonix/sonix\\_index.htm](http://sonix.jinr.ru/docs/Sonix/sonix_index.htm)
2. [Nobugs] [http://www.nobugsconference.org/Main\\_Page](http://www.nobugsconference.org/Main_Page)
3. [ORNL, Dixie] <http://www.csm.ornl.gov/~geist/java/applets/HIFR/dixie4.html>
4. [BARNS] <http://barns.ill.fr/>
5. [ORNL, DeepView] <http://nobugs.dl.ac.uk/presentations/wright/MCWpaper.htm>
6. [SICS] <http://lns00.psi.ch/sicszone/login?inst=VDMC&user=Spy&pass=007&Submit=Submit>
7. [ANL, APS] <http://usaxs.xor.aps.anl.gov/livedata/>
8. [ANL, APS] <http://supercomputing.iu.edu/middleware/cima.php>

9. [CBASS] <http://www.px.nsls.bnl.gov/x12c/>
10. [Sonix+] [http://eclipse.nf.jinr.ru/docs/Sonix+/sonix\\_plus.htm](http://eclipse.nf.jinr.ru/docs/Sonix+/sonix_plus.htm)
11. [Python] <http://www.python.org>
12. [Varman] *Кирилов А. С., Юдин В. Е.* Реализация базы данных реального времени для управления экспериментом в среде MS Windows. Сообщение ОИЯИ Р13-2003-11, Дубна. 2003. 7 с.
13. [py\_gates] [http://eclipse.nf.jinr.ru/docs/Sonix/py\\_gates.htm](http://eclipse.nf.jinr.ru/docs/Sonix/py_gates.htm)
14. [Matplotlib] <http://matplotlib.sourceforge.net/>

Получено 14 февраля 2008 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 15.04.2008.

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

Усл. печ. л. 1,18. Уч.-изд. л. 1,47. Тираж 290 экз. Заказ № 56145.

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/)