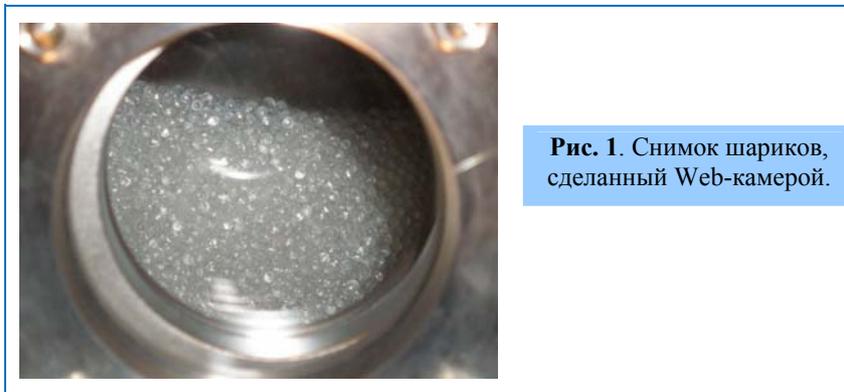


### 3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2

В 2010 г. работы по теме велись в нескольких направлениях, связанных с созданием и модернизацией оборудования, электронных систем сбора и накопления данных, а также информационно-вычислительной инфраструктуры комплекса спектрометров ИБР-2.

#### Холодные замедлители.

Создан и смонтирован в экспериментальном зале ИБР-2 полномасштабный стенд криогенного замедлителя. Разработана функциональная схема, приобретены и смонтированы электронные блоки и контрольно-измерительные приборы и создано программное обеспечение системы контроля параметров стенда. В состав системы входят различные датчики (всего 15 шт.), контроллер привода управления двигателем газодувки, контроллер управления шаговым двигателем дозатора поступления «шариков» в систему и др. Система позволяет контролировать основные параметры стенда замедлителя: прохождение шариков через пневмотранспортную магистраль; заполнение шариками камеры замедлителя; скорость газового потока; давление и температуру гелия. В настоящее время стенд и система контроля находятся в опытной эксплуатации. На стенде проведен ряд экспериментов, в ходе которых выполнена отладка технологической системы управления и контроля, выбран оптимальный температурный режим работы макета, произведена частичная загрузка камеры-имитатора (~30% объема, **Рис. 1**), определены рабочая скорость гелия во внутренней трубе пневмотрассы, оптимальная скорость подачи шариков из дозирующего устройства и время полной загрузки камеры имитатора. Детальное описание макета стенда содержится в разделе экспериментальные работы.



**Рис. 1.** Снимок шариков, сделанный Web-камерой.

#### Новый Фурье-дифрактометр.

В настоящее время ведется работа по созданию на реакторе ИБР-2 в ОИЯИ нового Фурье-дифрактометра высокого разрешения, основанного на узлах спектрометра FSS (Fourier Stress Spectrometer), который длительное время использовался в исследовательском центре GKSS (Германия). Разработана схема расположения узлов дифрактометра FSS на 13 канале ИБР-2 (**Рис. 2**), которая незначительно отличается от схемы, применявшейся ранее в GKSS. Необходимость изменений связана, в основном, с геометрическими ограничениями, существующими на 13-м канале ИБР-2. На новом дифрактометре будут вестись исследования

внутренних напряжений в конструкционных материалах и промышленных изделиях, а также предполагается организовать учебный процесс подготовки специалистов и тестирование нового оборудования с целью дальнейшего развития корреляционного метода Фурье для анализа упругого рассеяния нейтронов на кристаллах (повышение светосилы, улучшение разрешающей способности и т.д.). На этом же канале предполагается проводить работы по тестированию детекторов и других элементов спектрометров, разрабатываемых в ЛНФ, т.е. использовать его как тестовый пучок.

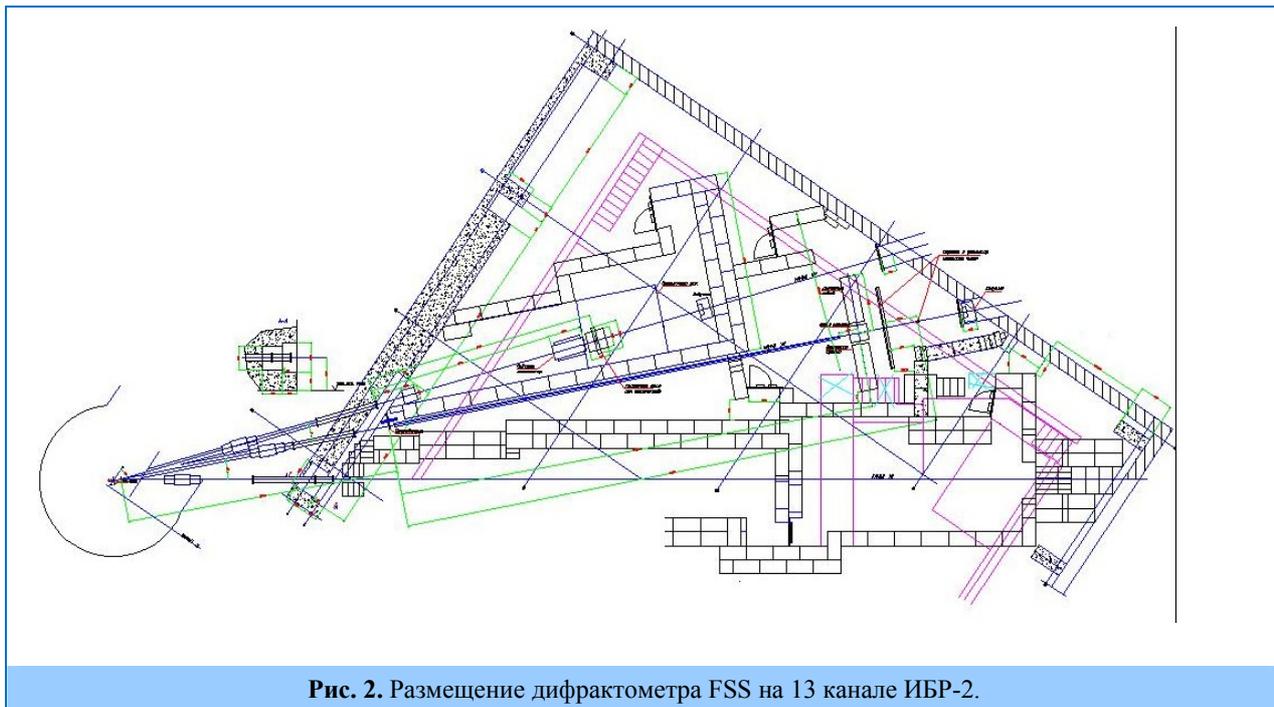


Рис. 2. Размещение дифрактометра FSS на 13 канале ИБР-2.

### Системы формирования нейтронных пучков.

Совместно с институтами ФРГ и ПИЯФ г. Гатчина продолжались работы по реконструкции нейтроноводов на 7 канале ИБР-2 и модернизации дифрактометров ЭПСИЛОН и СКАТ (в соответствии с планом-графиком проекта ВМВФ-ОИЯИ).

Смонтирована головная часть нейтроноводной системы (сплиттер), произведена юстировка оптических элементов и засыпка защитным материалом, производится вакуумная наладка (Рис. 3).



Рис. 3. Сплиттер.



Рис. 4. Первые секции изогнутых нейтроноводов Эпсилон (желтый) и СКАТ (синий).

Изготовлены вакуумные кожуха и юстировочные опоры для выходной части нейтроноводов ЭПСИЛОН и СКАТ.

В настоящее время начинается монтаж изогнутых нейтроноводов спектрометров Эпсилон и СКАТ (Рис. 4), монтаж вакуумного оборудования и вакууммирование нейтроноводов.

Начаты работы по реконструкции нейтроновода спектрометра НЕРА-ПП. Разработаны рабочие чертежи нового нейтроновода и произведен демонтаж старого нейтроновода.

### Прерыватели и исполнительные механизмы.

Проведены испытания в режиме стабилизации фазы прерывателей 4, 7 и 8 каналов с новыми частотными приводами фирмы TOSHIBA. Испытаны в кольцевом коридоре на каналах 6-а и 6-б изготовленные в НПО «АТОМ» барабанные прерыватели на базе двигателей постоянного тока (Рис. 5). Точность стабилизации фазы составила 25-50 мкс.



Рис 5. Прерыватель барабанного типа на базе электропривода постоянного тока.

Проведена модернизация системы смены образцов на 4 канале ИБР-2 (ЮМО). Разработан проект модернизации системы управления гониометром и платформой с детектором на

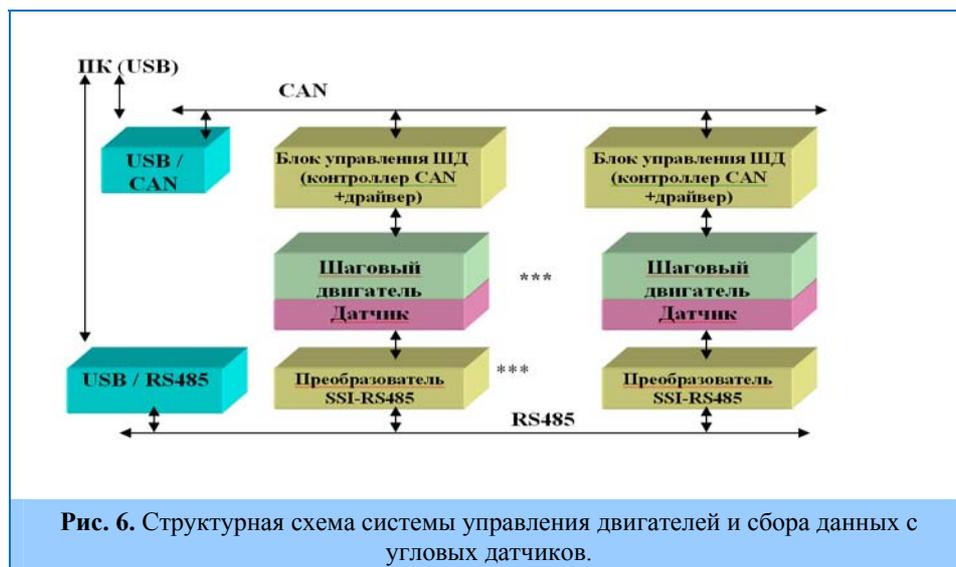


Рис. 6. Структурная схема системы управления двигателями и сбора данных с угловых датчиков.

спектрометре РЕМУР. В рамках проекта предложена структурная схема унифицированной системы управления шаговыми двигателями и системы сбора данных с датчиков, которые могут

быть использованы при модернизации систем управления исполнительными механизмами (ИМ) и на других спектрометрах ИБР-2 (Рис. 6).

Представляется целесообразным при модернизации систем управления ИМ сохранить разделение интегрированного контроллера/драйвера и шагового двигателя, что упрощает задачу смены типа двигателя или контроллера. Предлагается широкое использование CAN контроллеров/драйверов шаговых двигателей с токами 1-8А, а в качестве датчиков – абсолютных многооборотных угловых датчиков, состоящих из датчика одного оборота (12-16 разрядов) и датчика оборотов (12-16 разрядов). Их можно использовать для контроля как угловых, так и линейных перемещений.

### Расчеты и моделирование спектрометров.

В тесном сотрудничестве с Мюнхенским филиалом исследовательского центра FZ-Juelich в ЛНФ проводятся разработка и поддержка программного пакета VITESS (Virtual Instrument Tool European Spallation Source), а также расчеты и моделирование новых приборов и спектрометров как для реактора ИБР-2, так и для реактора FRM-2.

Завершены расчеты спектра нейтронов и оптимизация геометрии пучков от замедлителя до образца для спектрометров, расположенных на каналах 4 и 10 реактора ИБР-2:

- Закончены моделирование и оптимизация системы вывода пучка для канала 4 (ЮМО) и новой малоугловой установки с 2-мя последовательными коллимационными системами (расходящийся нейтронотвод + многощелевой коллиматор: grids). Это позволило увеличить размеры используемых образцов и одновременно уменьшить  $Q_{\min}$  (и, как следствие, увеличить разрешение установки) по сравнению с действующим ЮМО спектрометром. Система вывода позволяет собрать и использовать нейтроны с обоих замедлителей (холодного и теплого).
- Выполнено моделирование всех элементов прототипа новой установки с поляризованными нейтронами GRAINS. Было проведено сравнение результатов моделирования с аналитическими расчетами. Особое внимание было уделено учету влияния эффекта гравитации на функцию разрешения установки, а также распределения потока нейтронов на образце. Результаты моделирования практически совпали с аналитическими результатами. Был также улучшен алгоритм моделирования гравитации в VITESS.

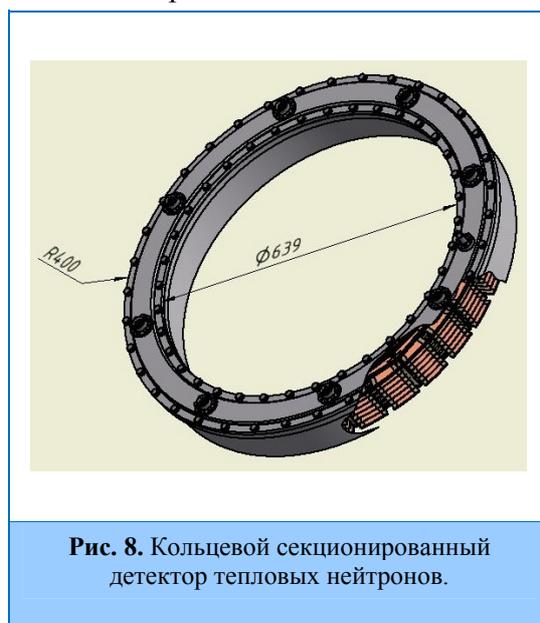
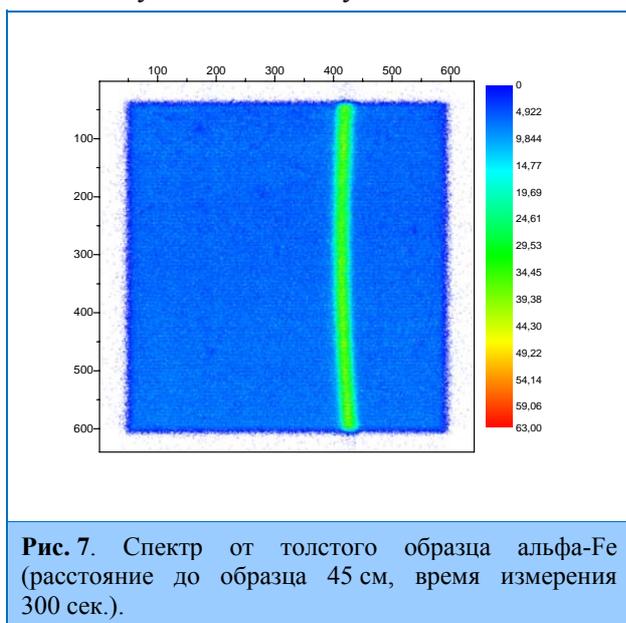
Выполнена разработка новых модулей программного обеспечения пакета VITESS:

- Закончена разработка и тестирование модуля для моделирования адиабатического радиочастотного флиппера. Проведено моделирование спин-эхо машины на 4-х флипперах.
- Разработан новый специальный модуль для моделирования движущихся круглых щелей (решеток) с учетом затухания нейтронов в материалах. Модуль может моделировать решетки в наномасштабе. Он предназначен для моделирования одного из вариантов Neutron Spin Echo Machine. Начата также разработка и тестирование нового модуля для моделирования нейтронных рефракционных призм и систем призм, Оба указанных модуля разрабатываются совместно с A.Ioffe (JCMS-Munich, Germany).
- Разработан модуль для моделирования универсального поляризационного зеркала для нового рефлектометра GRAINS.

Для всех указанных модулей получено хорошее соответствие результатов моделирования с теоретическими расчетами.

### Детекторы.

Для ПЧД спектрометра GRAINS выполнены работы по оптимизации встроенного программного обеспечения (firmware) нового электронного блока сбора и накопления данных с детектора и начата разработка программного обеспечения на стороне РС. Были проведены также испытания этого детектора с электроникой De-Li-DAQ1 на 4 канале реактора Института ядерной физики в Ржеже (Чешская республика). Измерения проводились в течение нескольких дней с использованием различных щелевых масок, рассеивателей и пр. Для калибровки использовались детекторы Image Plate и 1D ПЧД фирмы Орделла. Результаты измерений основных характеристик детектора совпадают с результатами, полученными в прошлом году на реакторе ИР-8 в РНЦ “Курчатовский институт” (см. отчет за 2009 г.), и соответствуют проектным значениям. На **Рис. 7** показан спектр от толстого образца альфа-Fe, измеренный в ИЯИ с ПЧД GRAINS. С этим же детектором были измерены профили нейтронных пучков на двух каналах установки ИРЕН. Таким образом, ПЧД GRAINS прошел всестороннюю проверку в различных условиях эксплуатации и может использоваться в экспериментах на ИБР-2.



С 2010 г. в разработке и изготовлении кольцевого секционированного детектора (КСД) тепловых нейтронов (**Рис. 8**) для дифрактометра ДН-6 участвуют специалисты ИЯИ, Ржеж. На эти работы по программе сотрудничества ОИЯИ – Чешская Республика был выделен грант, что позволило подготовить конструкторскую документацию на механические узлы детектора, а также изготовить и испытать прототип одной секции КСД (тестовый модуль).

Детектор КСД разделен на секции (16 или 32), находящиеся в общем газовом объеме. Корпус и крышка детектора изготовлены из дюралюминия марки АМГ, обеспечивающие герметичность и механическую прочность прибора. Каждая из секций в свою очередь разделена на 6 ячеек вдоль образующей цилиндрической поверхности. Секции и ячейки механически ограничены пластинами из фольгированного текстолита толщиной 1мм. Размеры одной ячейки составляют  $15 \times 30 \times 80 \text{ мм}^3$ . Сигналы с отдельных ячеек снимаются с независимых анодных

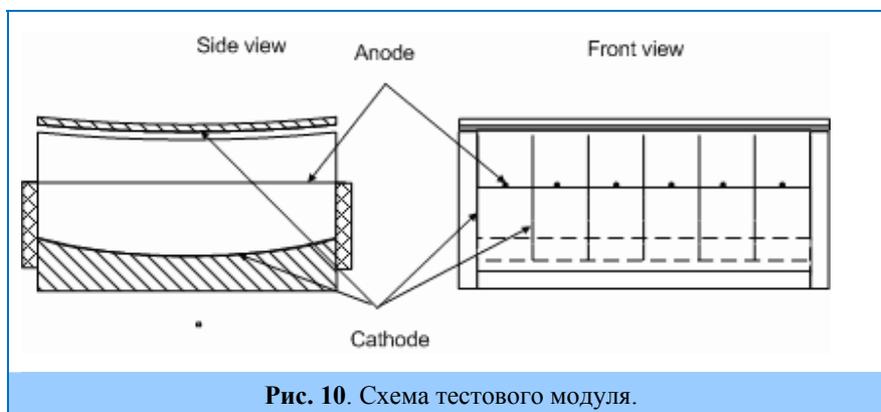
нитей, которые находятся в геометрических центрах ячеек. Входные каскады предусилителей размещаются внутри газового объема детектора, что позволяет минимизировать шумы. Индивидуальный съём информации с каждой ячейки обеспечивает необходимую гибкость при настройке и юстировке детектора.

Из-за изогнутой формы электродов распределение электрического поля внутри детектора будет отличаться от распределения поля в плоских камерах. Для оценки влияния кривизны детектора был изготовлен тестовый модуль. Внешний вид модуля показан на **Рис. 9**. Он имитирует одну секцию 32-секционного изогнутого детектора. В центре ячеек между верхним и нижним изогнутыми катодами натянуты анодные проволочки из позолоченного вольфрама.



**Рис. 9.** Тестовый модуль КСД. Вид сбоку, вид спереди, тестовый модуль в сборе.

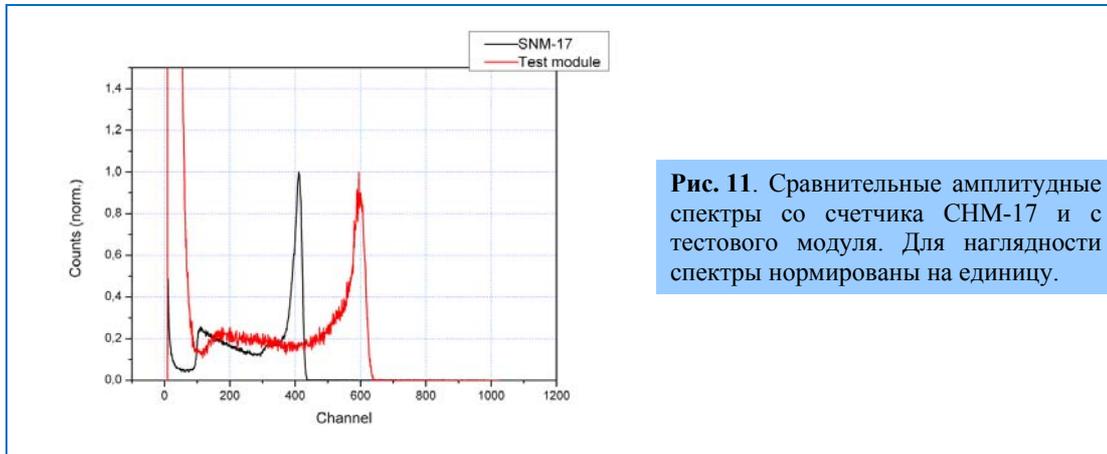
Были испытаны варианты ячеек с разными диаметрами проволочек (10, 25 и 50 мкм). Расстояние от проволочки до изогнутых катодов на краях равно ~15 мм. Верхний изогнутый катод имеет радиус 330 мм и толщину 5 мм. Радиус кривизны нижнего катода 371 мм; он имеет плоское основание, что упрощает изготовление и не влияет на характеристики модуля. Схема модуля приведена на **Рис. 10**.



**Рис. 10.** Схема тестового модуля.

Измерения проводились с источником нейтронов  $^{252}\text{Cf}$ . Были сняты амплитудные спектры и счетные характеристики при различном газовом наполнении. Амплитудные спектры сигналов с тестового модуля и со стандартного гелиевого счетчика СНМ-17 приведены на **Рис. 11**. Установлено, что сбор сигнала в тестовом модуле происходит несколько медленнее, чем в СНМ-17, что связано с вытянутой формой ячейки. Энергетическое разрешение детектора сопоставимо с разрешением для стандартного счетчика. Соотношение сигнал/шум несколько хуже, однако, можно уверенно разделить сигналы от нейтронов и шум. Так как эксплуатация кольцевого детектора предполагается при малых нагрузках и в «чистом» пучке, то можно сказать, что характеристики тестового модуля в целом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к детектору.

В настоящее время конструкторская документация передана в НПО АТОМ для изготовления механических узлов детектора.



**Рис. 11.** Сравнительные амплитудные спектры со счетчика СНМ-17 и с тестового модуля. Для наглядности спектры нормированы на единицу.

Изготовлена и успешно испытана в ИЛЛ усовершенствованная версия высокоскоростного счетчика нейтронов (см. отчет ВМВФ за 2009 г.) с предельной загрузкой до  $3 \cdot 10^6$  нейтронов/сек.

Учитывая существующие проблемы с поставками гелия-3, выполнено проектирование установки для его очистки (**Рис. 12**). Чертежи сданы в производство.

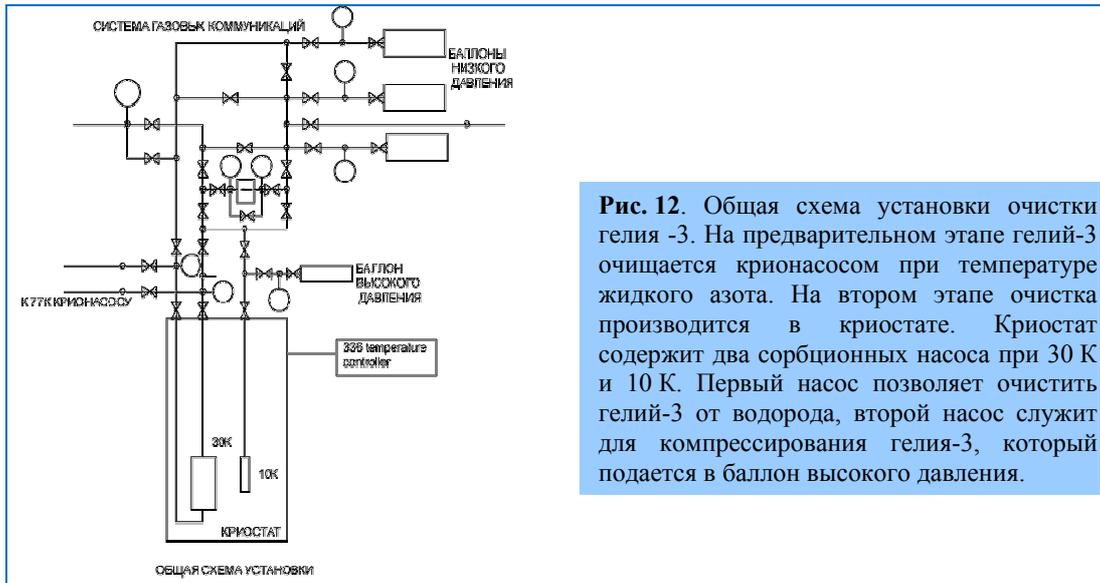
Проведены необходимые расчетные и конструкторские работы для создания следующего модуля сцинтилляционного детектора “Астра” для дифрактометра ФСД. Заказаны и частично получены необходимые для сборки модуля компоненты. Размещен заказ в НПО АТОМ на производство элементов детектора.

### Электроника.

Разработаны, изготовлены и испытаны на тестовом модуле предусилители и дискриминаторы для КСД дифрактометра ДН-6.

Разработаны архитектура и принципиальные электрические схемы унифицированного блока для сбора и накопления данных (СНД) с нейтронных счетчиков дифрактометра ЭПСИЛОН и кольцевого детектора ДН-6. При проектировании в качестве исходных были приняты следующие основные параметры:

- Частота временной дискретизации всех сигналов (детекторные, старт реактора и др.) – программируемая (максимум 62,5 МГц);
- Максимальное число детекторных элементов – 96 (192);
- максимальная скорость регистрации -  $5 \cdot 10^6$  соб./сек. ( $\sim 5 \cdot 10^4$  на один детекторный элемент);
- интерфейс к РС - USB 2.0;
- внутренняя гистограммная память блока накопления – 64 Мбайта;
- максимальная задержка начала регистрации относительно вспышки реактора - 0,268 сек (программируется, квант времени – 16 нсек); с такой же точностью программируются ширина канала для гистограммной памяти и величина временного окна, в котором регистрируются нейтроны.



**Рис. 12.** Общая схема установки очистки гелия -3. На предварительном этапе гелий-3 очищается крионасосом при температуре жидкого азота. На втором этапе очистка производится в криостате. Криостат содержит два сорбционных насоса при 30 К и 10 К. Первый насос позволяет очистить гелий-3 от водорода, второй насос служит для компрессирования гелия-3, который подается в баллон высокого давления.

В электронику встраивается тестовый генератор, имитирующий работу системы накопления данных без подключения детекторных элементов. Это позволит производить быструю проверку работоспособности аппаратуры перед сеансом, а также её автономную отладку.

Передача данных между электроникой сбора данных и USB интерфейсом будет осуществляться по последовательной оптоволоконной линии связи со скоростью 1,25 Гбит/сек.

Конструктивно система СНД состоит из указанного выше программируемого блока, имеющего в своем составе FPGA, и трех входных конвертирующих блоков, в каждом из которых осуществляется преобразование сигналов и переход от 32 разъемов LEMO на ленточный кабель. Основное отличие систем СНД для дифрактометров ЭПСИЛОН и ДН-6 состоит в том, что для ЭПСИЛОН в режиме накопления гистограмм требуется выполнять операции временной фокусировки нейтронов. Специфические особенности каждого спектрометра учитываются при программировании FPGA. В настоящее время выполнена разработка и изготовлен прототип системы СНД на 16 детекторных элементов (СНД-16). Он предназначен для спектрометра РЕФЛЕКС и может использоваться на других установках, где число детекторных элементов не превышает 16. До конца года планируется провести его испытания.

Выполнена наладка блока сбора данных De-Li-DAQ2 для ПЧД. Разработаны, изготовлены и настроены драйверы и контроллеры спин-флипперов (2 к-та) для спектрометра РЕФЛЕКС.

В соответствии с графиком на спектрометрах ИБР-2 проводились профилактические работы, ремонт и текущая модернизация электронного оборудования.

### Локальная сеть ЛНФ.

Новый маршрутизатор Switch Catalyst 3560E-24TD-E установлен в экспериментальном зале ИБР-2. Он должен обеспечить коммутацию, прием и передачу блоков информации в диапазоне скоростей от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с; внутрисегментные пересылки данных по скрученной паре и волоконно-оптическим линиям связи; связь с центральным сегментом сети

по волоконно-оптической линии связи. В настоящее время совместно со специалистами Лаборатории информационных технологий ведутся работы по адаптации маршрутизатора в существующую сеть ЛНФ и сеть ОИЯИ. Приобретение второго маршрутизатора отложено на 2011 г., т.к. потребовалась срочная замена выработавших свой ресурс маршрутизатора Switch Catalyst 5000 в центральном сегменте сети ЛНФ (здание 119) на Switch Catalyst2960S-24TD-L 1 и почтового сервера Sun Workstation на Server 1U 600W/Xeon E5507/6Gb/

Расширено до 1,3 Тбайт дисковое пространство на двух серверах SUN X4200, один из них с августа этого года выполняет функции почтового сервера. Приобретены и установлены в основных зданиях Лаборатории новые сетевые принтеры общего пользования HP LaserJet 2055DN (4 шт.). Проводятся работы по тестированию и устранению несоответствия переходных соединений волоконно-оптических кабелей требованиям интерфейса 10 Гбит/сек.

### Программное обеспечение.

В 2010 г. выполнялись следующие работы по развитию комплекса Sonix +:

- Проведена адаптация *Sonix+* для дифрактометра ФСД. Начата проверка программ на оборудовании спектрометра.
- Подготовлена версия *Sonix+* для спектрометра РЕФЛЕКС (для оборудования, имеющегося в наличии сегодня). Ведется составление библиотеки операций. Начата разработка программы юстировки, общей для рефлектометров РЕФЛЕКС, РЕМУР и ГРЕЙНС.
- Продолжена работа по совершенствованию комплекса *Sonix+* (– завершен перевод на Visual Studio 2008, – дополнен состав драйверов, доработан сервер экспозиции, – в графический интерфейс включены новые программы (SCP – *Sonix* control panel), а также существенно улучшены ранее разработанные программы SpectraViewer, LogViewer.)
- Подготовлена и введена в эксплуатацию новая версии сайта WebSonix <http://sonix.jinr.ru> (Рис.13, 14) В этой версии устранены ранее отмеченные ошибки, повышена устойчивость при параллельной работе нескольких пользователей, сокращено время реакции наиболее медленных операций, в число обслуживаемых включен спектрометр ФСД.
- Оказывалась программная поддержка методических разработок, выполняемых в отделе и Лаборатории.



Рис. 13. Титульная страница WebSonix.

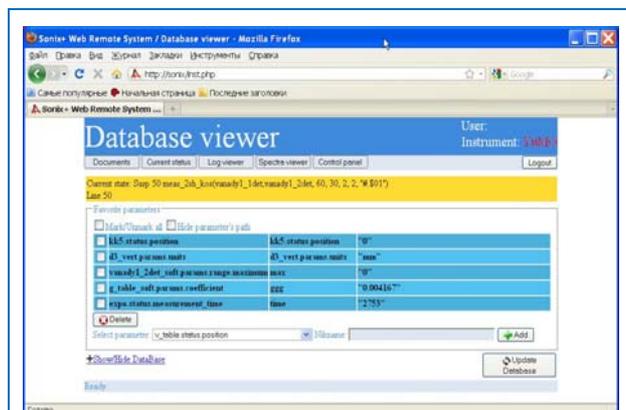


Рис. 14. Страница слежения за текущим состоянием спектрометра