

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2

Холодные замедлители.

В первом квартале 2012 года в рамках проекта комплекса холодных замедлителей реактора ИБР-2М на полномасштабном испытательном стенде были проведены эксперименты по моделированию загрузки мезитиленовых шариков в камеру-имитатор замедлителя при различных режимах работы. Была произведена также модернизация автоматизированной системы сбора и регистрации контрольной и измерительной информации с датчиков системы контроля холодного замедлителя. Кроме того, улучшению подверглись основные технологические системы и узлы холодного замедлителя.

На основании полученных результатов был выработан режим работы холодного замедлителя, который определяет основные предельно допустимые физические параметры во время его эксплуатации, и проведен пуск первого холодного замедлителя КЗ-202 на основе ароматических углеводородов на модернизированном реакторе ИБР-2М (Рис. 26).

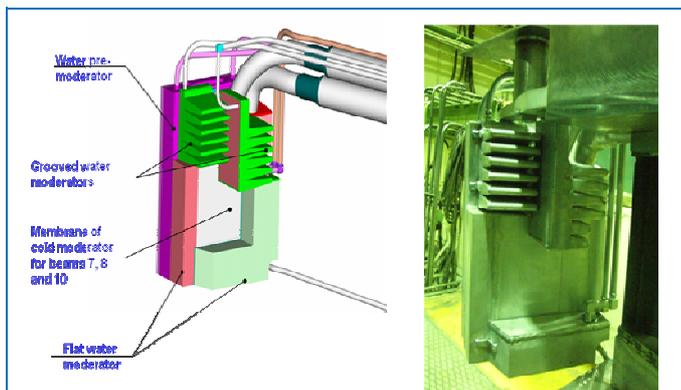


Рис. 26. Фото комплекса замедлителей нейтронов КЗ-202 в направлении пучков № 7,8,10 и 11: 1 – водяной предзамедлитель, 2 – водяные гребенчатые замедлители, 3 – холодный замедлитель (видна только поверхность вакуумного кожуха), 4 – водяные постзамедлители.

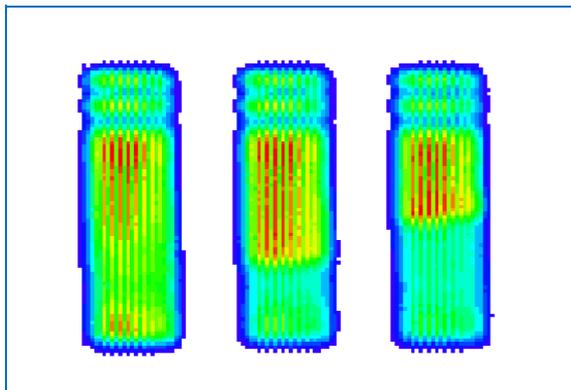
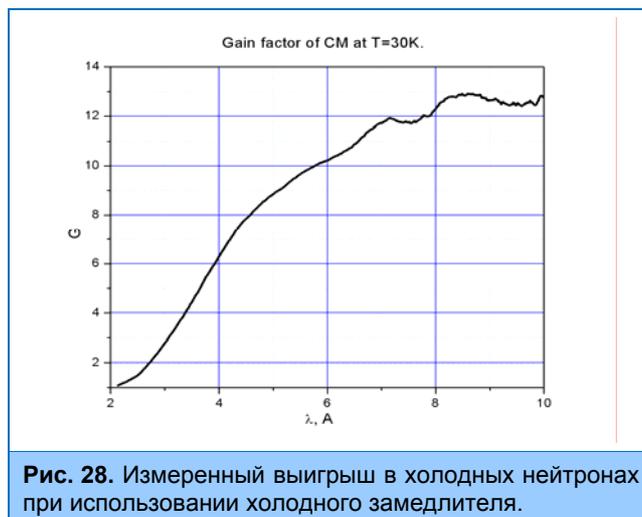


Рис. 27. Нейтронное изображение части комплекса замедлителей КЗ-202 с криогенным замедлителем, расположенным в нижней половине, при разном уровне заполнения шариками: пустая камера (слева), заполненная на 2/3 (в центре) и полная (справа).

Основные физические параметры замедлителя КЗ-202 во время загрузки камеры замороженными мезитиленовыми шариками: 1) массовый расход гелия в транспортном трубопроводе составил 1,5 г/сек, температура - не менее 80К; 2) максимальная скорость подачи шариков из дозатора в транспортный трубопровод не превышала 8 штук/сек. Контроль движения шариков по трубопроводу производился с помощью датчиков дифференциального давления. Наблюдение за процессом заполнения камеры шариками (мониторинг) осуществлялось путем получения нейтронного образа камеры замедлителя на двухкоординатном ПЧД методом «камера-обскура» (Рис. 27).

После заполнения камеры замедлителя реактор был выведен на мощность 2 МВт. Средняя температура замедлителя составила 30 К. В результате измерений спектров нейтронов установлено, что выход длинноволновых нейтронов с поверхности криогенного замедлителя по сравнению с водяным замедлителем увеличился до 13 раз (Рис. 28). Продолжаются работы по определению максимального времени работы на одной загрузке материала холодного замедлителя.

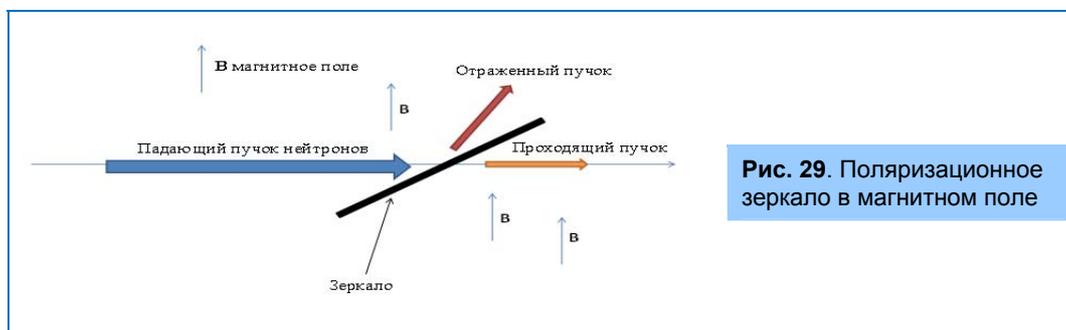
1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



Расчеты и моделирование спектрометров.

В течение 2012 года продолжалось усовершенствование специальных VITESS модулей, позволяющих моделировать поведение спина нейтрона в произвольных магнитных полях. В эти модули были добавлены временные зависимости магнитных полей для моделирования спин-эхо спектрометров с временно-зависящими (импульсными) магнитными полями (стационарное поле при этом рассчитывается внешней программой). Произведено большое количество симуляций частей нового спин-эхо спектрометра с вращающимися магнитными полями на пучке РЕФЛЕКС для реактора ИБР-2М (в сотрудничестве с В.Боднарчуком и А.Рубцовым, НЭО НИКС ЛНФ) в реальных магнитных полях, рассчитанных внешней программой. Проведено сравнение с первыми экспериментами (одно плечо спин-эхо спектрометра), при этом получено хорошее совпадение экспериментальных данных с модельными, рассчитанными новыми VITESS модулями. На основе проведенных симуляций и расчетов выработаны дальнейшие рекомендации по инжинирингу узлов спин-эхо спектрометра с вращающимися магнитными полями.

Выполнен первый этап оригинального проекта: погружение VITESS модулей в магнитное поле. При этом была разработана специальная библиотека VITESS подпрограмм, позволяющих реализовать данную задачу. К настоящему времени завершена разработка модуля "поляризационное зеркало в магнитном поле" (**Рис. 29**) и проведено его тестирование, модуль будет включен в следующие версии VITESS. Все вышеописанные работы были проведены в сотрудничестве с проф. А.Июффе (JCMS-Мюнхен).



Были разработаны 4 новых VITESS модуля, позволяющих моделировать и рассчитывать временную фокусировку нейтронов для времяпролетных спектрометров на импульсных источниках. Один из модулей позволяет рассчитать поверхность временной фокусировки для выбранной конфигурации времяпролетного спектрометра в декартовых или полярных системах

координат. С помощью других модулей можно рассчитать аппроксимирующие поверхности для поверхности временной фокусировки. При этом возможна аппроксимация плоскостью/плоскостями, цилиндром/цилиндрами и сферой/сферами. Данный комплекс модулей находится в стадии тестирования. На **Рис. 30** приведен пример построения идеальной поверхности временной фокусировки. В 2012 г. в комплекс VITESS введен и адаптирован из программы MCSTAS модуль для моделирования газонаполненного ПЧД.

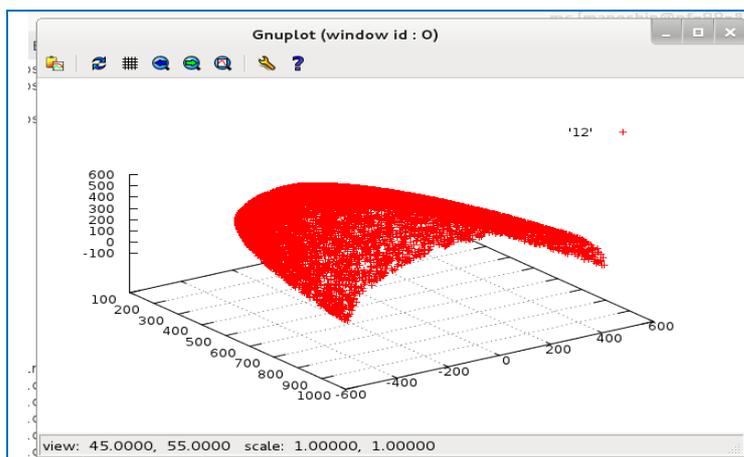


Рис. 30. Пример построения идеальной поверхности временной фокусировки для простейшего идеального инструмента с бреговским рассеивателем для одного фиксированного межплоскостного расстояния.

Тестовый пучок и новый фурье-дифрактометр.

Продолжались работы по созданию на 13 канале реактора ИБР-2М нового фурье-дифрактометра высокого разрешения, основанного на узлах спектрометра FSS (GKSS, Geesthacht, Germany). В связи решением о создании на соседнем 14 канале нового спектрометра NIS, были скорректированы проекты размещения установок и разработана новая схема биологической защиты 13 и 14 каналов, разработаны чертежи, изготовлены и смонтированы элементы защиты. К сожалению, до сих пор не решены проблемы, связанные с транспортировкой оборудования FSS из Санкт-Петербурга в Дубну.

Криогеника.

Завершены работы по созданию установки для очистки He^3 (**Рис. 31**). Установка предназначена для очистки и подготовки He^3 для вторичного использования в детекторах нейтронов. Смесь газов из детекторов, содержащая He^3 , сохраняется в резервуарах установки и при помощи криогенной системы и системы перекачки гелий очищается от других газов. Затем с помощью специального криогенного насоса He^3 компримируется до давления 80бар, достаточного для заправки новых детекторов. На установке проведены пуско-наладочные работы и начата ее эксплуатация.

Рис. 31. Установка для очистки He^3 .



Проведено исследование возможности создания криогенной головки на пульсационной трубе в лабораторных условиях. В результате была изготовлена одноступенчатая криогенная головка, соединенная с компрессором Leybold RW4000. Конечная температура, которая достигается на этой головке, составляет 48К. Головка используется на криогенном стенде

НЭОКС ИБР-2М.

Начата разработка горизонтального криостата, предназначенного для охлаждения камер высокого давления с сапфировыми наковальнями на дифрактометре ДН-6.

1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Реконструкция нейтронных каналов и модернизация систем автоматизации спектрометров на 7 канале ИБР-2М.

В 2012 г. завершено изготовление и выполнен монтаж 80-метрового нейтронного канала НЕРА-ПР (Рис. 32). Произведена юстировка оптических элементов.

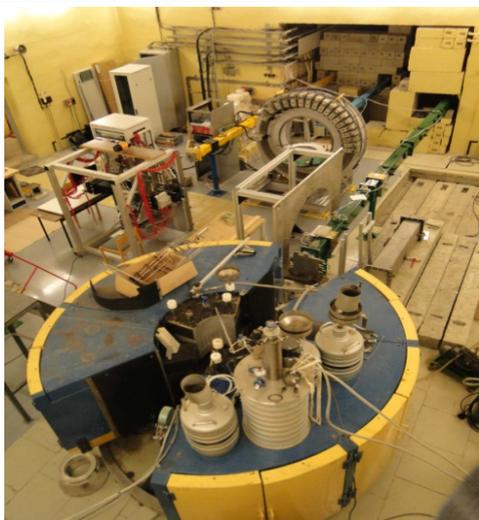


Рис. 32. Экспериментальный зал 7 канала ИБР-2М после реконструкции (Эпсилон – желтый цвет, СКАТ - синий и НЕРА-ПР – зеленый; на переднем плане детекторная система НЕРА-ПР).

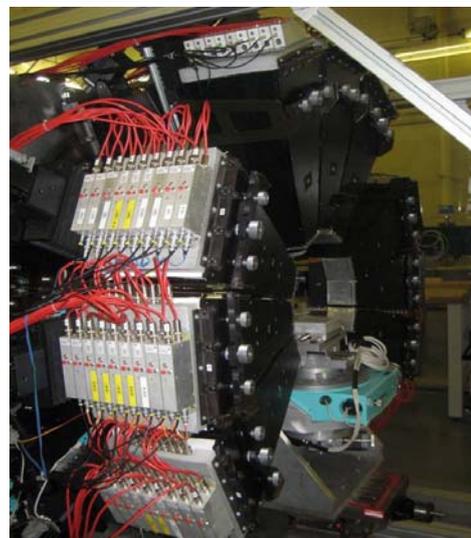


Рис. 33. Фото коллиматоров детекторов и гониометра Huber на спектрометре ЭПСИЛОН.

Изготовлена регулируемая диафрагма нейтронного пучка. Управление диафрагмой осуществляется шаговыми двигателями, подключенными к PC через контроллер и преобразователь CAN/USB. Выполнена также модернизация многосчетчиковой детекторной системы НЕРА-ПР. Измерены амплитудные спектры и счетные характеристики гелиевых счетчиков детектора (36 прямоугольных счетчиков, 24 счетчика СМ-17 и 4 мониторинговых счетчика). По результатам измерений характеристик произведен отбор счетчиков в группы по газовому усилению и рабочему напряжению, а также определены пороги дискриминации для каждого счетчика.

Введена в эксплуатацию система управления коллиматорами детекторов и гониометром Huber на спектрометре ЭПСИЛОН (Рис. 33). При этом впервые в составе исполнительных механизмов спектрометров ЛНФ были использованы шарико - винтовые передачи (ШВП) и шаговые двигатели с управляемым электромагнитным тормозом. ШВП состоят из ходового винта, гайки с интегрированными шариками и механизмом возврата шариков. Такие передачи наиболее часто используются в прецизионном оборудовании. Они служат для преобразования вращательного движения в поступательное или наоборот. При этом они обеспечивают высокую точность и большой КПД. Выполнена программно-аппаратная разработка, позволяющая управлять тормозом с использованием уже применяемых на спектрометрах ИБР-2М контроллеров шаговых двигателей.

Общее количество каналов управления исполнительными механизмами спектрометров на 7 канале ИБР-2М достигло 72 (ЭПСИЛОН – 32, СКАТ – 4 и НЕРА-ПР – 36 каналов). Системы автоматизации экспериментальных установок на 7 канале контролируют также состояние прерывателей, шибера, показания вакуумных датчиков и других элементов спектрометров. В настоящее время на ЭПСИЛОН и НЕРА-ПР установлены новые DAQ-системы для точечных детекторов, завершаются наладочные работы и проводятся тестовые измерения.

Отлажены на стенде и подготовлены к переносу на пучки комплекты аппаратуры систем автоматизации и систем сбора данных для спектрометров СКАТ, ГРЕЙНС и ДН-2 (RTD). Для ГРЕЙНС выполнен также монтаж и проведены испытания 2-х поляризаторов и 2-х диафрагм, а для ДН-2 разработаны чертежи системы коллимации пучка. В состав исполнительных механизмов спектрометра RTD входят:

- платформа с детектором с углами поворота 0-180 град. (1 канал управления и 1 угловой датчик);
- гониометр Huber (1 канал управления);
- гониометр ГКС-100 (10 каналов управления, включая резерв для подключения диафрагмы нейтронного пучка и коллиматоров точечных детекторов).

Детекторы.

Завершен проект создания газового кольцевого секционированного детектора для дифрактометра ДН-6. В 2012 г. по проекту выполнены следующие основные работы:

- разработаны и изготовлены механические узлы для крепления и юстировки детектора, а также установлена его фоновая защита;
- выполнена наладка 96-канальной электроники сбора и накопления данных;
- разработаны программы для тестирования детектора, модернизировано программное обеспечение накопления данных и разработан новый программный интерфейс;
- проведены тестовые испытания детектора на 6б канале ИБР-2М с рабочими смесями при различных давлениях He^3 .

В ноябре проведены измерения образцов с кольцевым детектором в фоновой защите с рабочей смесью (4,0 бар ^3He + 500 мбар Ar + 30 мбар CO_2). На **Рис. 34** представлены спектры измеренных образцов. В настоящее время детектор передан физикам для дальнейшего тестирования и проведения рабочих измерений.

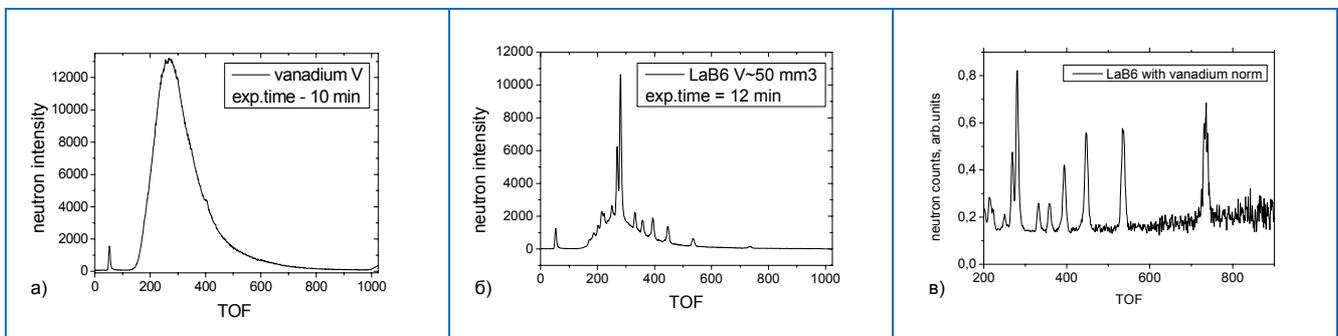


Рис. 34. Спектры измеренных образцов а) V, б) LaB6, в) LaB6 с коррекцией по ванадию.

Произведена замена вышедших из строя позиционно-чувствительных детекторов на ФДВР и РЕФЛЕКС. Изготовлены и переданы в ИЯИ, Ржеж, Чехия две детекторные системы, включающие в себя 2Д ПЧД, детекторную электронику, электронику сбора и накопления данных, а также программное обеспечение. На дифрактометре ДН-2 (RTD) введена в эксплуатацию детекторная система с 2Д ПЧД (чувствительная область $225 \times 225 \text{ мм}^2$) и завершено изготовление кольцевого гелиевого детектора обратного рассеяния (**Рис. 35**), в декабре будут проведены испытания этого детектора на пучке. Изготовлен и испытан сцинтилляционный счётчик на основе ND-экрана со съёмом светового сигнала с помощью спектросмещающих волокон. Начата подготовка к изготовлению сцинтилляционных счётчиков для детектора "Астра". Был проведен ряд работ по модернизации чистого помещения, его площадь увеличена до 10 м^2 .

1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



Рис. 35. Кольцевой детектор для ДН-2.

Проведены измерения профилей нейтронных пучков на каналах 2, 4, 6а, 6б, 7, 9, 11, 12 модернизированного реактора ИБР-2М. Измерения проводились в зонах вывода пучков с помощью двухкоординатного ПЧД-монитора тепловых нейтронов. Для каждого пучка были измерены средняя интенсивность, координатное и временное распределения нейтронных потоков.

Системы сбора данных.

В 2012 г. продолжались работы по внедрению нового поколения систем сбора и накопления данных и систем автоматизации экспериментов на спектрометрах ИБР-2М. В соответствии с планом-графиком этих работ, утвержденном на совместном заседании Научно-технических советов отделов КС и НИКС, основные работы на всех спектрометрах должны быть выполнены в 2012-2013 г.г. Это означает, что в указанный период DAQ-системы или будут сданы в эксплуатацию, или будут изготовлены и отлажены на стенде все электронные блоки, firmware программы и программы пускового минимума, а работы по программному обеспечению Sonix+ для конкретных спектрометров будут завершены в согласованные с заинтересованными физиками сроки.

В текущем году введены или подготовлены к сдаче в эксплуатацию DAQ-системы для точечных детекторов спектрометров НЕРА-ПР, RTD (ДН-2), ЭПСИЛОН, СКАТ, ДН-6, ДИН-2ПИ, РЕФЛЕКС и ФСД (для разработки и отладки программ корреляционного анализа и проведения методических исследований). Все указанные системы, за исключением РЕФЛЕКС и ФСД, состоят из двух типов блоков — одного цифрового, способного регистрировать и накапливать данные от 1 до 240 точечных детекторных элементов, и нескольких 32-канальных аналоговых блоков, в которых осуществляются прием, дискриминация, преобразование и передача информации дифференциальными сигналами малых напряжений (LVDS) от предусилителей детекторов в цифровой блок MPD-32. В аналоговом блоке осуществляется также переход от разъемов LEMO на ленточный кабель. В качестве примера на Рис.36 показана блок-схема 96-канальной DAQ-системы для кольцевого детектора дифрактометра ДН-6, а на Рис.37 - фотография блоков этой системы, установленных в крейте NIM.

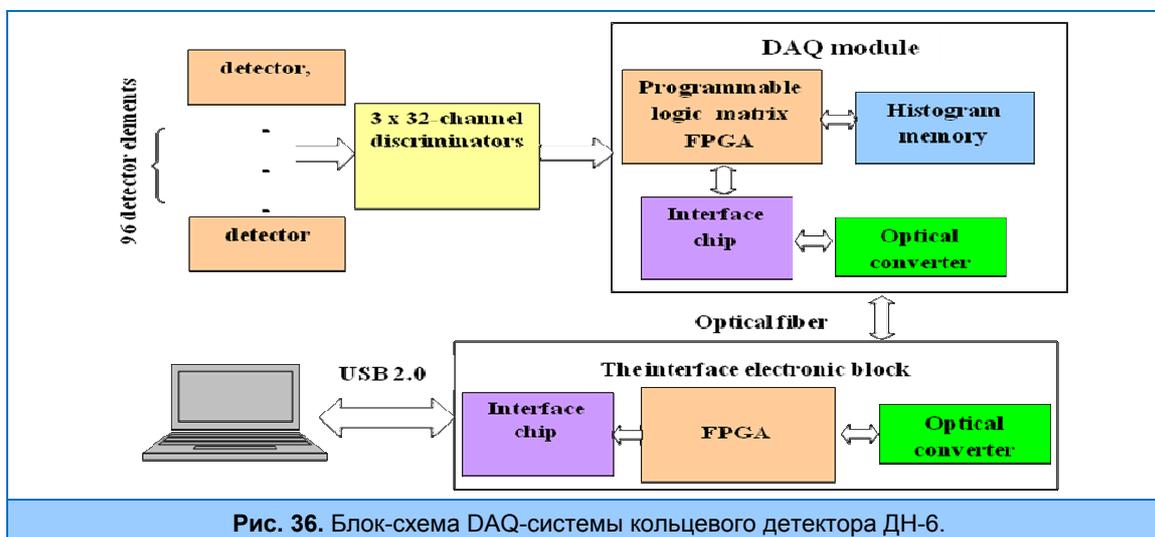


Рис. 36. Блок-схема DAQ-системы кольцевого детектора ДН-6.

На спектрометрах РЕФЛЕКС и ФСД установлены блоки MPD-16, в которых печатные платы с аналоговой и цифровой электроникой смонтированы в едином корпусе. Блок MPD-16 предназначен для спектрометров с числом детекторных элементов не более 16. Блоки MPD-32 и MPD-16 программно совместимы.

В блоки MPD встроен тестовый генератор, имитирующий работу системы накопления данных. Это позволяет провести быструю проверку работоспособности аппаратуры перед сеансом, а также её автономную отладку без подключения детекторных элементов. Передача данных между электроникой сбора данных и портом USB 2.0 осуществляется через интерфейсный блок по последовательной волоконно-оптической линии связи (на **Рис. 37** волоконно-оптический кабель оранжевого цвета). Скорость передачи данных – 1.25 Гбит/сек., максимальная удаленность компьютера – до 100м.

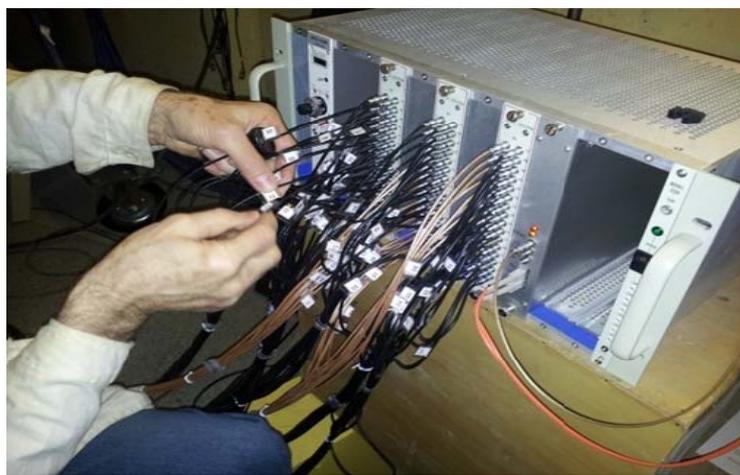


Рис. 37. Фото электронных блоков MPD-32.

Электроника блоков MPD унифицирована, специфические особенности каждого спектрометра учитываются при программировании FPGA. Напомним основные параметры блоков МПД:

- Частота временной дискретизации всех сигналов (детекторные, старт реактора и др.) – программируемая (максимум 62,5 МГц);
- Максимальное число детекторных элементов – 240;
- максимальная скорость регистрации - $8 \cdot 10^6$ соб./сек.;
- внутренняя гистограммная память блока накопления - 64 Мбайта;
- максимальная задержка начала регистрации относительно вспышки реактора - 0,268 сек (программируется, квант времени - 16нсек); с такой же точностью программируются ширина канала для гистограммной памяти и величина временного окна, в котором регистрируются нейтроны.

На фурье-дифрактометре ФСД ведутся испытания «List Mode»-анализатора на базе блока MPD-16 для накопления «сырых» данных в списочном режиме и отладка программ обработки. Предполагается, что в ближайшем будущем электроника MPD заменит существующую DSP электронику на всех фурье-дифрактометрах ИБР-2М. **Рис. 38** иллюстрирует хорошее совпадение спектров низкого разрешения, измеренных DSP- и MPD-анализаторами.

1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

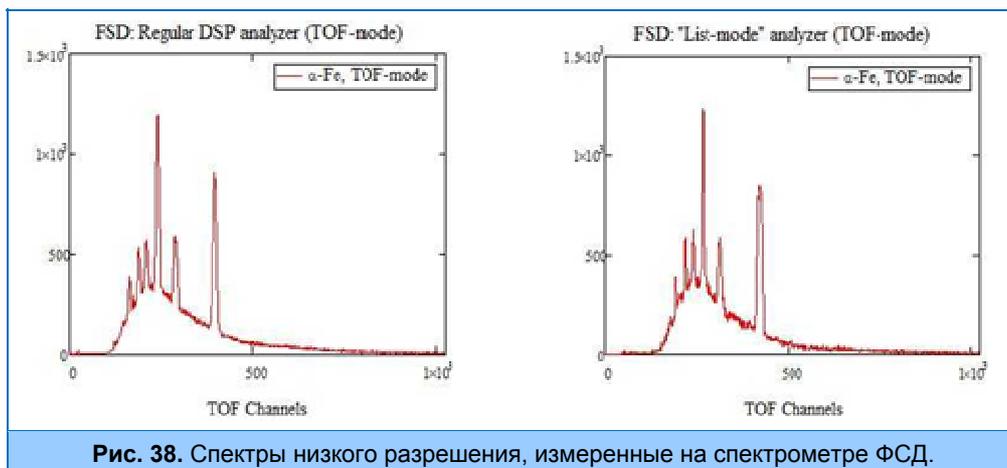


Рис. 38. Спектры низкого разрешения, измеренные на спектрометре ФСД.

Развитие комплекса Sonix+.

Подготовлены версии Sonix+ и начата их опытная эксплуатация на спектрометрах, где установлены новые DAQ-системы. Сложность этих работ заключается в том, что на многих спектрометрах одновременно с заменой регистрирующей и накопительной электроники меняется также аппаратура управления исполнительными механизмами спектрометров и системами окружения образца, а также осуществляется переход от OS-9 к Windows. Это требует определенных усилий и от физиков, и от инженеров и, в конечном итоге, их совместной работы при тестировании электроники и программного обеспечения в течение одного-двух реакторных циклов.

Среди других работ по программному обеспечению можно отметить следующие:

- Подготовлена тестовая программа для испытаний кольцевого детектора на спектрометре ДН-6 (испытания прошли успешно и детектор вместе с DAQ-системой был сдан в эксплуатацию).
- Разработана технология создания программных компонентов и методика их использования для создания систем юстировки спектрометров реактора ИБР-2М. Подготовлены варианты программ юстировки для спектрометров ЮМО, РЕМУР, РЕФЛЕКС. Программа юстировки на ЮМО была использована при настройке нового привода кольцевого коллиматора.
- Продолжались работы по совершенствованию программы визуализации данных. Подготовлен новый вариант программы SpectraViewer для точечных детекторов и ПЧД на основе PyQT и Matplotlib. Программа внедрена на спектрометрах ЮМО, РЕФЛЕКС, НЕРА-ПР, ЭПСИЛОН, ДИН-2ПИ. Примеры использования программы SpectraViewer показаны на Рис. 39, 40, и 41.

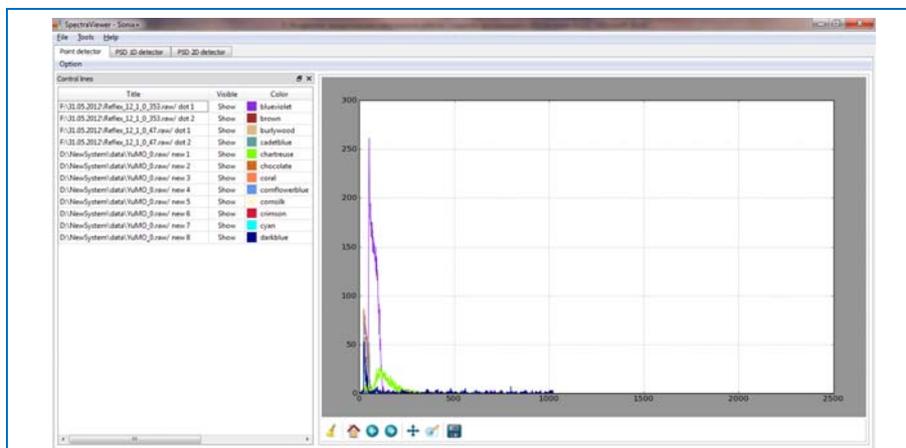


Рис. 39. Визуализация спектров с точечных детекторов (спектрометр ЮМО).

1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

— Подготовлена начальная версия программы Journal для автоматической регистрации измерений на спектрометрах. Программа проходит испытание на спектрометре ЮМО.

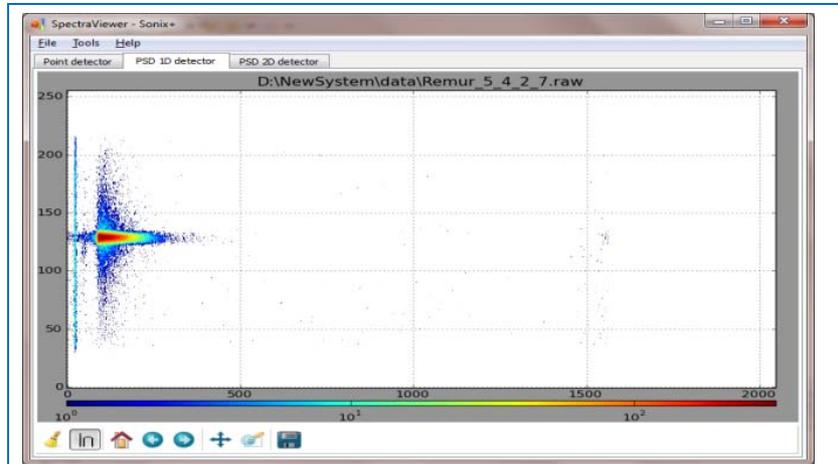


Рис. 40. Визуализация данных с 1D ПЧД (спектрометр РЕМУР)

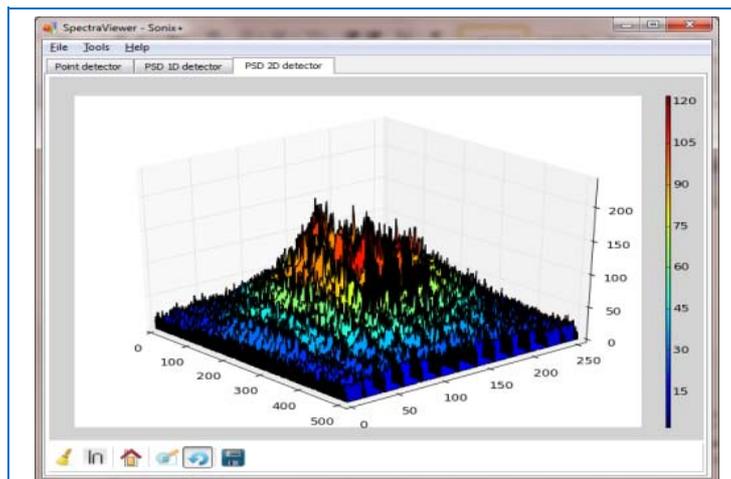


Рис. 41. Визуализация данных с 2D ПЧД (ЮМО)

Локальная вычислительная сеть.

Главная задача в развитии ЛВС в текущем году — обеспечение возможности работы конечных пользователей на скорости до 1 Гбит/сек в основных сегментах сети (здания 42,42а,43(IREN),44,117, 119), — успешно выполнена. Обеспечена также бесперебойная работа всего сетевого оборудования как на спектрометрах ИБР-2М, так и в офисах персонала Лаборатории.

Продолжились начатые в 2011 г. работы по модернизации ЛВС ЛНФ. Основными причинами для модернизации сети являются следующие:

- Переход в сети ОИЯИ к скоростям 10 Гбит/сек.
- Стремительный рост производительности и возможностей персональных компьютеров.
- Возросшие требования к информационному обеспечению пользователей.
- Модернизация реактора ИБР-2 и его спектрометров; создание новых инструментов; тенденция к накоплению сырых данных.

1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- Обеспечение доступа и совместного использования сетевых устройств, архивов данных и пакетов программ.
- Массовое использование Интернет

Основной целью текущей модернизации сети является: **а)** локализация потоков данных и выделение сегментов в подсети с целью обеспечения максимально возможной пропускной способности коммуникационного оборудования; **б)** обеспечение передачи информации со скоростью до 10 Гбит/сек. Этапы модернизации:

- Замена коммутационного оборудования 3 и 2 уровня в основных сегментах сети ЛНФ (здания 42, 42а, ИБР-2М,119).
- Замена серверов и дальнейшее расширение сети.
- В настоящее время первый этап в основном выполнен. Логическая схема модернизированной сети по состоянию на 1 декабря 2012 г. показана на **Рис.42**.

Отметим особенности новой конфигурации ЛВС:

- ❖ В связи с увеличением потока данных от спектрометров ИБР-2М потребовалось подключить его непосредственно к центральному коммутатору сети, чтобы обеспечить скорость до 10 Гбит/с.
- ❖ На порядок увеличена пропускная способность на всех участках сети (со 100 Мбит/сек. до 1 Гбит/сек. и с 1 Гбит/сек. до 10 Гбит/сек. соответственно).
- ❖ Приобретен и установлен новый сервер SuperMicro 6047, предназначенный, в первую очередь, для хранения данных. Объем дисковой памяти сервера составляет 72 Тбайта.

