

В работах по изучению групп мюонов в широком диапазоне зенитных углов и множественностей, проведенных на комплексе НЕВОД-ДЕКОР в 2002-2009 гг., было показано, что интенсивность групп мюонов в интервале энергий первичных частиц 10^{15} – 10^{18} эВ превышает их расчетное количество даже для тяжелого состава ПКЛ (ядра железа). Однако вклад в события с фиксированной локальной плотностью мюонов дают ШАЛ с различными энергиями, регистрируемые на разных (случайных) расстояниях от оси. Размещение вокруг комплекса НЕВОД-ДЕКОР установки НЕВОД-ШАЛ, детектирующая система которой будет размещена на крышах лабораторных корпусов НИЯУ МИФИ, для регистрации широких атмосферных ливней с энергиями 10^{15} – 10^{17} эВ классическим методом позволит определять мощность ливня, положение оси и сузить область энергий первичных частиц космических лучей, в которой происходит изменение поведения мюонной компоненты.

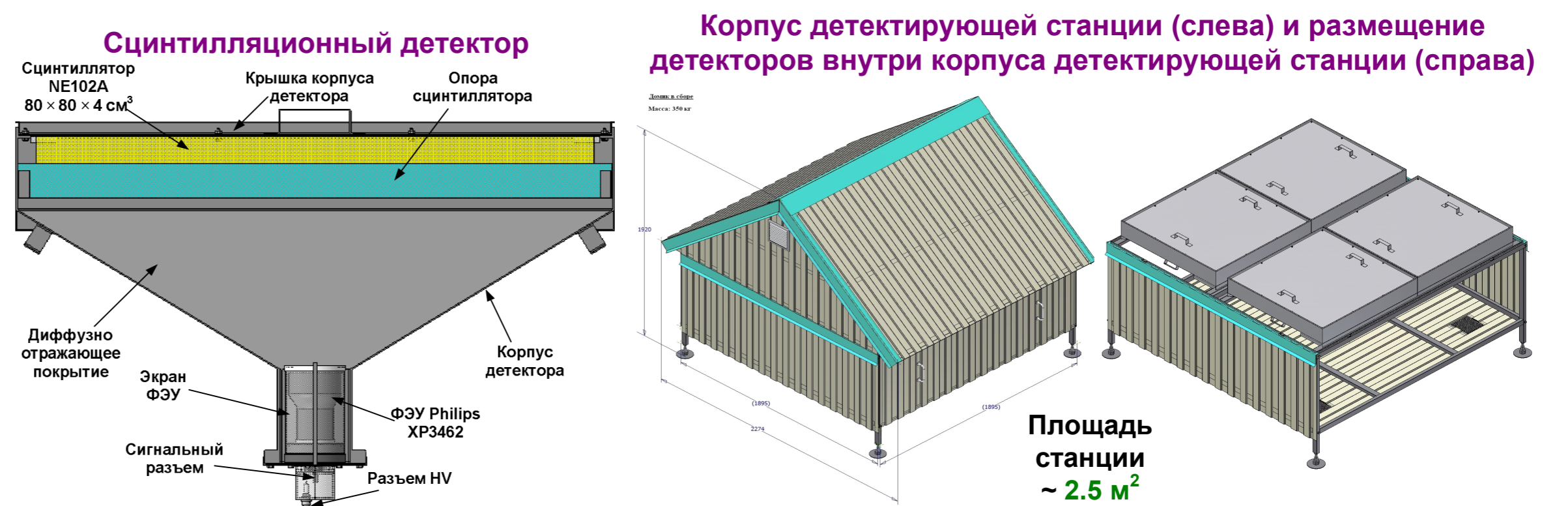
Установка НЕВОД-ШАЛ

Регистрирующая система установки НЕВОД-ШАЛ создается на основе кластеров скintилляционных детекторов электромагнитной компоненты ШАЛ. Центральная часть установки будет содержать 12 кластеров. Расстояние между кластерами составляют ~ 50 м. Общая площадь установки ~ 2×10^4 м². Возможности установки: 1) оценка мощности ШАЛ; 2) определение положения оси ШАЛ; 3) определение направления прихода ШАЛ.

Схема размещения кластеров и структура кластера

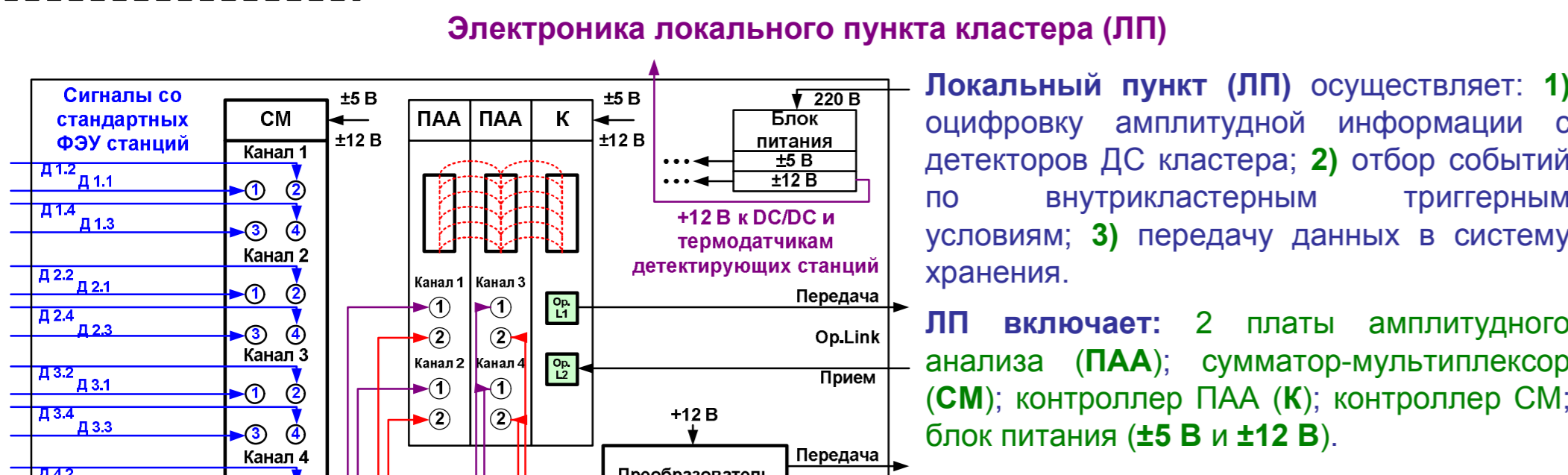
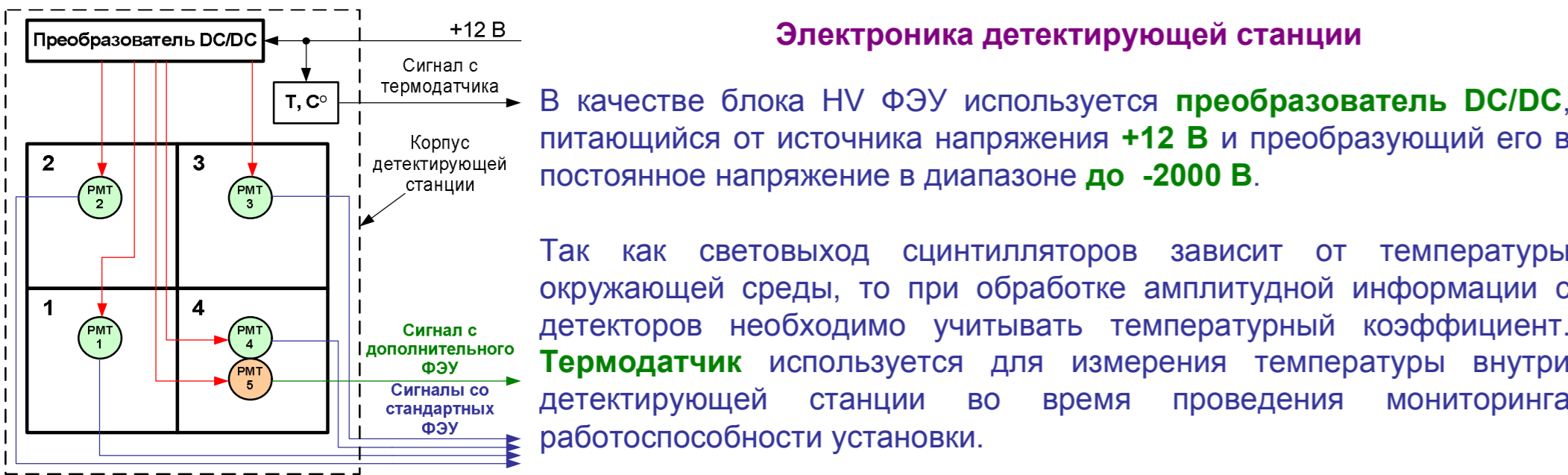


Сцинтилляционный детектор и детектирующая станция



Детекторы объединяются в детектирующие станции (ДС). В состав одной ДС входит 4 детектора. Три детектора оборудованы одним ФЭУ Philips XP3462, а четвертый – двумя. Четыре ФЭУ (стандартные) настроены так, чтобы амплитудные и зарядовые распределения всех четырех детекторов имели близкие наиболее вероятные значения, и используются для измерения плотностей частиц регистрируемых ШАЛ и временных измерений. Дополнительный ФЭУ в 4-м детекторе имеет коэффициент усиления ≈ 20 раз меньше, чем стандартный, и используется для обеспечения широкого диапазона линейности измеряемых сигналов при больших плотностях частиц (высокие энергии первичных частиц или регистрация ствола ШАЛ). Динамический диапазон ДС ~ 10000 част./м².

Детекторная станция установки НЕВОД-ШАЛ



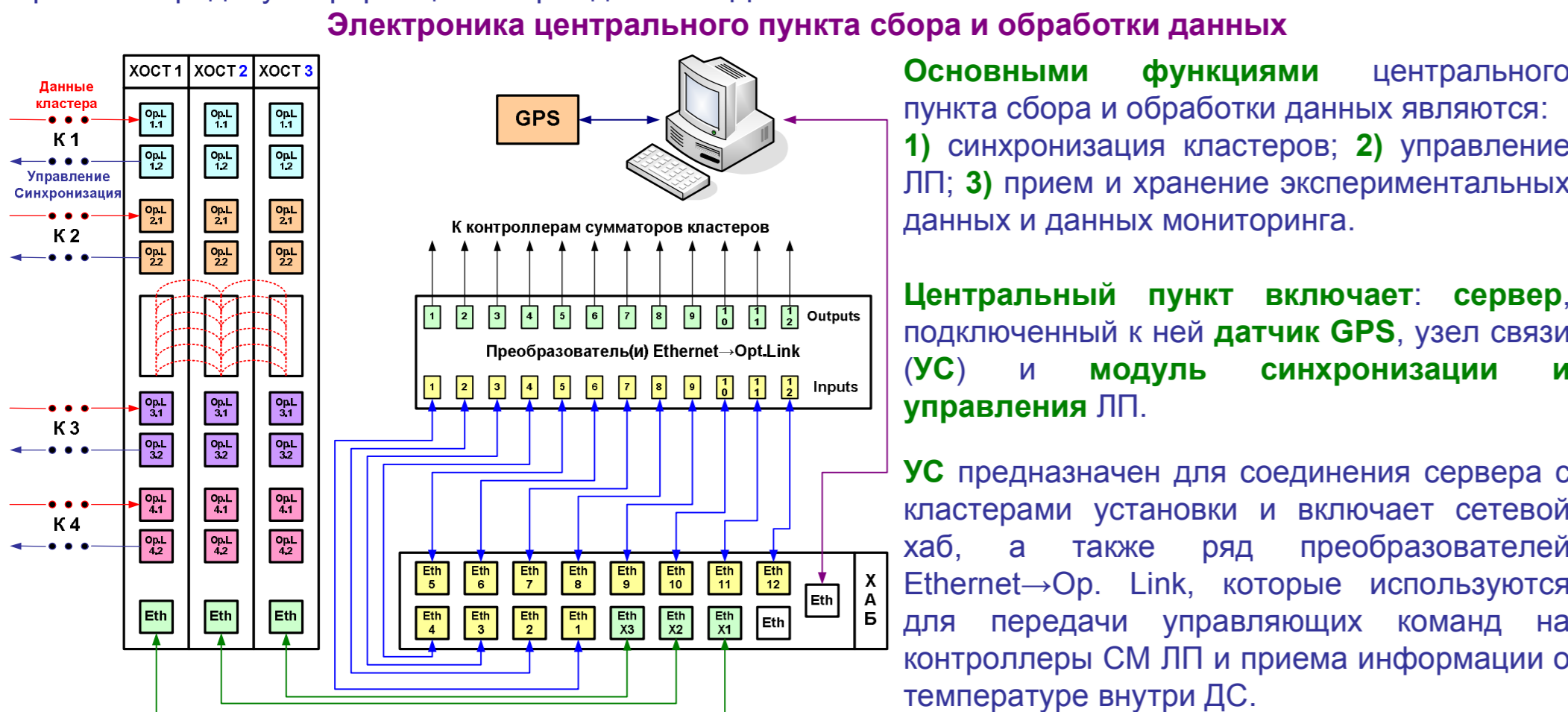
В качестве блока HV ФЭУ используется преобразователь DC/DC, питающийся от источника напряжения +12 В и преобразующий его в постоянное напряжение в диапазоне до -2000 В. Так как световыход сцинтилляторов зависит от температуры окружающей среды, то при обработке амплитудной информации с детекторов необходимо учитывать температурный коэффициент. Термодатчик используется для измерения температуры внутри детектирующей станции во время проведения мониторинга работоспособности установки.

Локальный пункт (ЛП) осуществляет: 1) оцифровку амплитудной информации с детекторов ДС кластера; 2) отбор событий по внутрикластерным триггерным условиям; 3) передачу данных в систему хранения. ЛП включает: 2 платы амплитудного анализа (ПАА); сумматор-мультиплексор (СМ); контроллер ПАА (К); контроллер СМ; блок питания (± 5 В и ± 12 В). ПАА имеет 2 канала на 2 входа: активный и пассивный. Сигнал на входах оцифровывается при помощи 12-разрядного сканирующего АЦП с частотой дискретизации 0.2 ГГц. Для установки порога регистрации на активном входе используется 12-битный ЦАП.

Контроллер ПАА отбирает события по заданной кратности срабатывания ДС (от 1 до 4) в пределах временных ворот (от 10 нс до 2 мкс) и передает данные в систему хранения. Каждому событию присписывается временная метка с точностью до 10 нс.

СМ предназначен для суммирования аналоговых сигналов с 4-х стандартных ФЭУ ДС и имеет 4 канала на 4 входа. Суммарный сигнал с 4 стандартных ФЭУ ДС поступает на активный вход соответствующего канала ПАА, а сигнал с дополнительного ФЭУ - на пассивный. СМ также позволяет включать определенный вход каждого канала для набора спектров с выбранного детектора ДС при мониторинге параметров работы установки.

Управление СМ осуществляется при помощи контроллера СМ. Также контроллер СМ осуществляет прием и передачу информации с термодатчиков ДС.



Основными функциями центрального пункта сбора и обработки данных являются: 1) синхронизация кластеров; 2) управление ЛП; 3) прием и хранение экспериментальных данных и данных мониторинга. Центральный пункт включает: сервер, подключенный к ней датчик GPS, узел связи (УС) и модуль синхронизации и управления ЛП. УС предназначен для соединения сервера с кластерами установки и включает сетевой хаб, а также ряд преобразователей Ethernet-OrLink, которые используются для передачи управляющих команд на контроллеры СМ ЛП и приема информации о температуре внутри ДС.

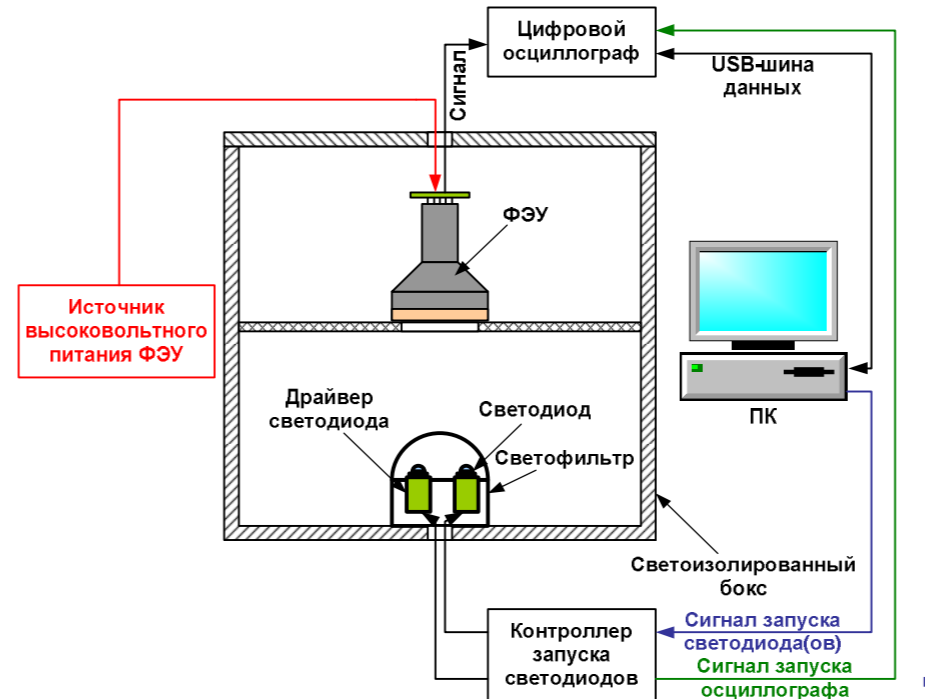
Модуль синхронизации и управления ЛП состоит из набора блоков - Хостов. Каждый Хост имеет 4 канала оптической связи для управления и приема экспериментальных данных от подключенных к нему ЛП. Один Хост обслуживает 4 ЛП. Хост имеет выход Ethernet для подключения к УС. Информация о зарегистрированных событиях на сервере обрабатывается специальным ПО и записывается в файлы, в которых хранятся временные метки событий и параметры сигналов с ДС сработавших кластеров.

Система временной синхронизации установок НЕВОД-ШАЛ. Временная синхронизация кластеров осуществляется с помощью GPS. Регистрирующая система НЕВОД-ШАЛ работает в синхронном режиме. Датчик GPS, подключенный к серверу, с частотой 1 Гц вырабатывает сигнал PPS. При получении сигнала PPS сервер отправляет сигнал синхронизации на главный Хост группы, синхронизирующий подключенные к нему Хосты при помощи генератора тактовой частоты. Хосты рассылают синхронимпульсы на контроллеры ПАА кластеров, которые в свою очередь синхронизируют ПАА.

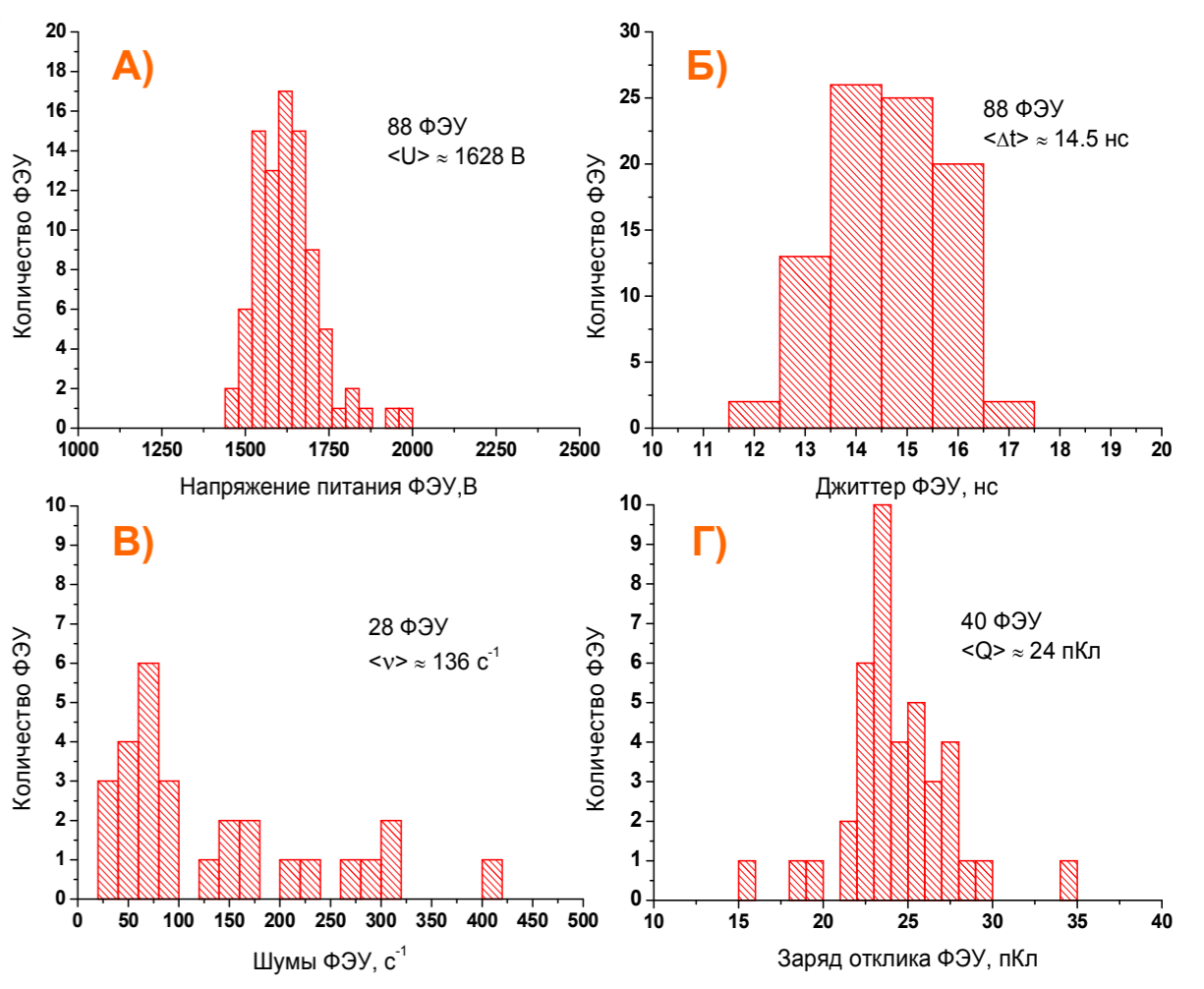
Исследование характеристик ФЭУ Philips XP3462

В ходе тестирования ФЭУ Philips XP3462 измеряются: 1. напряжение питания, обеспечивающее коэффициент усиления $M \approx 2 \times 10^6$; 2. разброс задержек срабатывания (джиттер) при одноэлектронной подсветке; 3. диапазон линейности; 4. относительная чувствительность; 5. собственные темновые шумы.

Стенд исследования характеристик ФЭУ Philips XP3462



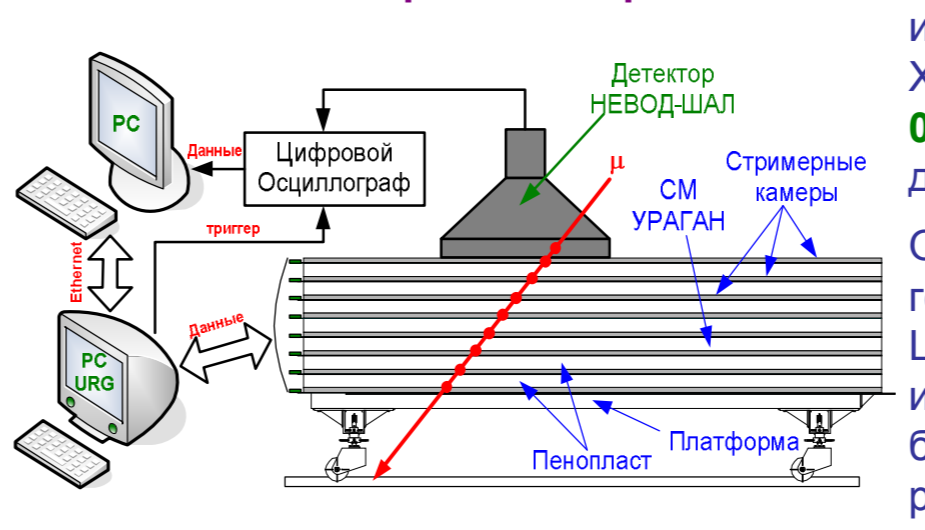
Распределения протестированных ФЭУ по: а) напряжению питания при $KU \times 10^6$; б) джиттеру при одноэлектронной подсветке; в) шумам при пороге регистрации 10 мВ; г) заряду отклика на стандартную подсветку



Диапазон линейности ФЭУ Philips XP3462 до ~ 4500 – 5000 пКл

Исследование неоднородности светосбора детекторов

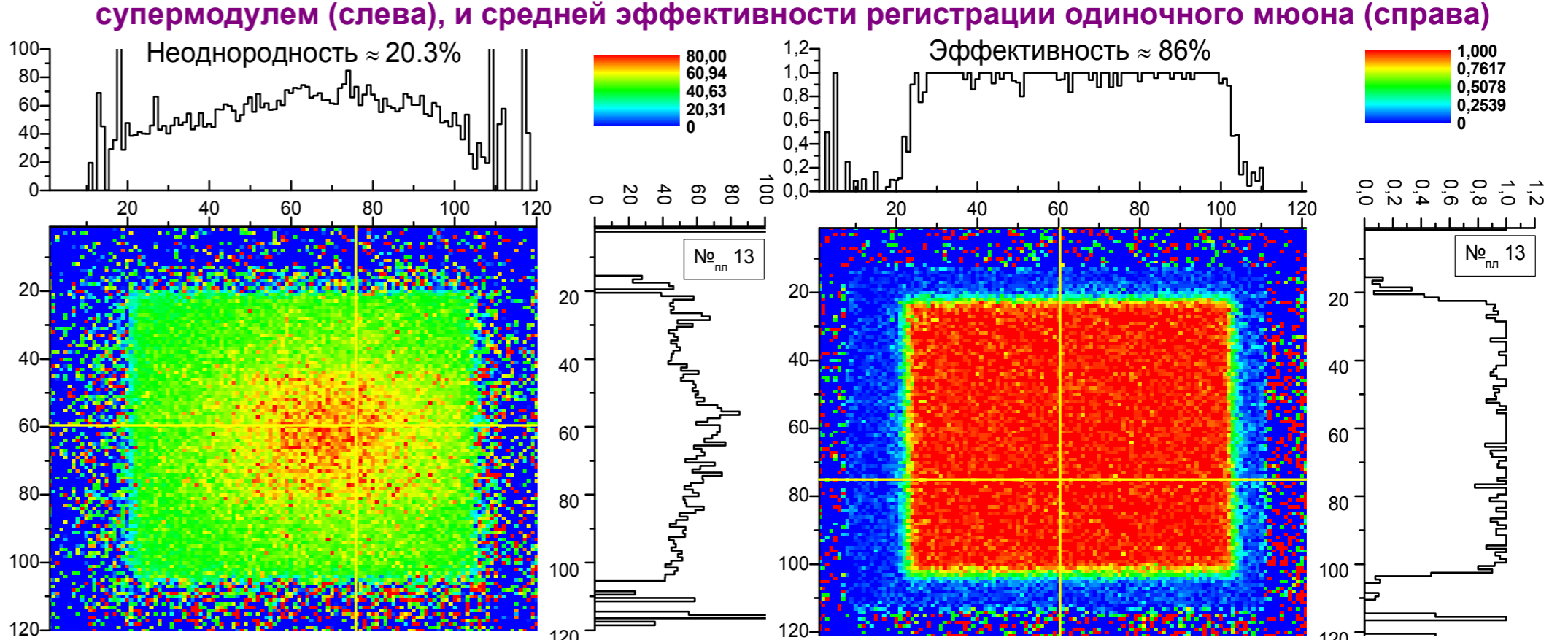
Стенд для измерения неоднородности светосбора детекторов



Измерение неоднородности светосбора проводилось на супермодуле (СМ) установки УРАГАН. Отклик СМ - информация о сработавших стрипах в проекциях X и Y. Хорошее пространственное и угловое разрешение (1 см и 0.7°) СМ позволяют детально изучить структуру отклика детектора, поместив его на поверхности СМ. Оси на левых нижних блоках матрицы отражают геометрические размеры триггеруемой области в см. Цветом отображены средний заряд отклика детектора в пКл и эффективность регистрации. Верхние и правые боковые блоки показывают изменение светосбора и эффективности регистрации в двух взаимно перпендикулярных сечениях.

Положения этих сечений указаны на матрицах желтыми линиями. Неоднородность светосбора детектора составляет ~ 20%. Средняя эффективность регистрации составляет ~ 86%.

Матрицы среднего заряда отклика детектора на прохождение одиночного мюона, выделенного супермодулем (слева), и средней эффективности регистрации одиночного мюона (справа)



Заключение

Создаваемая на базе экспериментального комплекса НЕВОД-ДЕКОР установка для регистрации широких атмосферных ливней НЕВОД-ШАЛ позволит определять мощность, положение оси и направление прихода ШАЛ. Установка будет работать совместно с другими установками экспериментального комплекса НЕВОД и позволит регистрировать ШАЛ с энергиями 10^{15} – 10^{17} эВ, а также осуществить проверку методики регистрации групп мюонов с помощью детектора ДЕКОР. Новые данные, полученные с помощью установки НЕВОД-ШАЛ, позволят сузить область энергий первичных частиц космических лучей, ответственных за генерацию групп мюонов с определенной множественностью, приходящих под разными зенитными углами.

План создания установки НЕВОД-ШАЛ:

- 2014 г. – монтаж, запуск и испытания 1-го кластера НЕВОД-ШАЛ;
- 2015 г. – монтаж центральной части установки НЕВОД-ШАЛ (12 кластеров);
- 2016 г. – начало непрерывных измерений на установке НЕВОД-ШАЛ.

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД при поддержке Министерства образования и науки РФ (RFMEF159114X0002) и гранта ведущей научной школы НШ-4930.2014.2.