

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Д.В.СКОБЕЛЬЦЫНА

Д.И. Орехов, А.С. Чепурнов, А.А. Сабельников, А.В. Этенко, Д.И. Маймистов

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМНОВЫХ ШУМОВ ФЭУ ДЛЯ
НЕЙТРИННОГО ДЕТЕКТОРА VOREXINO С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРОТОКОЛА DEVICENET И ДОСТУПОМ ЧЕРЕЗ WEB**

Препринт НИИЯФ МГУ – 2006-10/809

Москва 2006

УДК 539.12

D.I. Orekhov, A.S. Chepurnov, A.A. Sabelnikov, A.V. Etenko, D.I. Maimistov

E-mail: orekhov@rtm-cs.sinp.msu.ru, chas@rtm-cs.sinp.msu.ru

**PMT DARK NOISE MONITORING SYSTEM FOR NEUTRINO DETECTOR BOREXINO BASED ON
THE DEVICENET PROTOCOL AND WEB – ACCESS**

Preprint INP MSU - 2006-10/809

Abstract

Monitoring of PMT dark noise in neutrino detector BOREXINO is a procedure that indicates a condition of the detector. Based on CAN industrial network, top level DeviceNet protocol and WEB visualization, the dark noise monitoring system was created. The system process 224 channels for the internal detector and 256 channels for the external muon veto. The system is composed as a set of controllers, converting the PMT signals to frequency and transmitting them over the CAN network. The software is the stack of the DeviceNet protocols, providing the data collecting and transporting. Server-side scripts build web pages of user interface and graphical visualization of data.

Д.И. Орехов, А.С. Чепурнов, А.А. Сабельников, А.В. Этенко, Д.И. Маймистов

E-mail: orekhov@rtm-cs.sinp.msu.ru, chas@rtm-cs.sinp.msu.ru

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМНОВЫХ ШУМОВ ФЭУ ДЛЯ НЕЙТРИННОГО ДЕТЕКТОРА
BOREXINO С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОТОКОЛА DEVICENET И ДОСТУПОМ ЧЕРЕЗ WEB**

Препринт НИИЯФ МГУ - 2006-10/809

Аннотация

Контроль темновых шумов ФЭУ в нейтринном детекторе BOREXINO является необходимой процедурой, показывающей состояние детектора. На основе промышленной сети CAN, протокола верхнего уровня DeviceNet и визуализации через WEB была создана система контроля темновых шумов имеющая 224 канала для внутреннего детектора и 256 каналов для внешнего мюонного вето. Система состоит из набора контроллеров, которые преобразуют сигналы от ФЭУ в частоту и передают ее по сети CAN. Программное обеспечение представляет собой стек протокола DeviceNet, обеспечивающий сбор и транспортировку данных. Формирование WEB-страниц пользовательского интерфейса и графическая визуализация данных производится с помощью серверных скриптов.

© Д.И. Орехов, А.С. Чепурнов, А.А. Сабельников, А.В. Этенко, Д.А. Маймистов

© НИИЯФ МГУ, 2006 <http://www.sinp.msu.ru>

Оглавление.

<u>§ 1 Описание Vortexino</u>	4
<u>§ 2 Измерение темновых шумов</u>	8
<u>§ 3 Использование CAN-сети в системе контроля темновых шумов</u>	9
<u>§ 4 Накопление и обработка данных о темновых шумах</u>	10
<u>Вывод</u>	14
<u>Список литературы</u>	14

§ 1 ОПИСАНИЕ BOREXINO

Borexino - детектор низкоэнергетичных нейтрино, сооружение которого приближается к концу в подземной лаборатории Гран Сассо, Италия (LNGS). Основной целью эксперимента является прямое измерение потока ${}^7\text{Be}$ солнечных нейтрино в режиме реального времени посредством реакции упругого рассеяния нейтрино на электронах. Кроме того, в эксперименте Borexino предполагается исследовать ряд актуальных проблем физики элементарных частиц, астрофизики и геофизики.

Схематически детектор изображен на рис. 1. Детектор состоит из 2 частей, называемых внутренним и внешним детекторами. Ядро внутреннего детектора представляет собой прозрачную нейлоновую сферу толщиной в 100 микрон, имеющую диаметр 8.5 метров и наполненную 290 тоннами жидкого сцинтиллятора. Сцинтиллятор состоит из псевдокумола (1,2,4-триметилбензина) с добавлением 0,1% PPO (2,5-дифенилоксазола). Сцинтилляционный выход данной смеси довольно высок и равен 12 000 фотонов/МэВ. Псевдокумол был выбран из-за большой длины поглощения светового излучения, превышающей 7 метров, подходящих механических свойств, высокой химической чистоты, а также по причине доступности в больших количествах. PPO в качестве сцинтиллирующей добавки обеспечивает близость спектра излучаемых фотонов со спектром чувствительности ФЭУ. Внутренний детектор погружен в несцинтиллирующую жидкость, находящуюся в сфере из нержавеющей стали. Это так называемая буферная зона, содержащая 1040 тонн псевдокумола с добавлением гасящего сцинтилляцию диметилфталата. Сфера в свою очередь находится в резервуаре с 2000 тоннами воды высокой очистки, являющимся внешним детектором.

Внутренний детектор просматривается 2200 ФЭУ, внешний - 200 ФЭУ, находящимися на стальной сфере и направленными наружу. Эти 200 ФЭУ играют роль мюонного вето; они служат для детектирования мюонов по черенковскому излучению, испускаемому ими при пересечении внешнего водяного буфера.

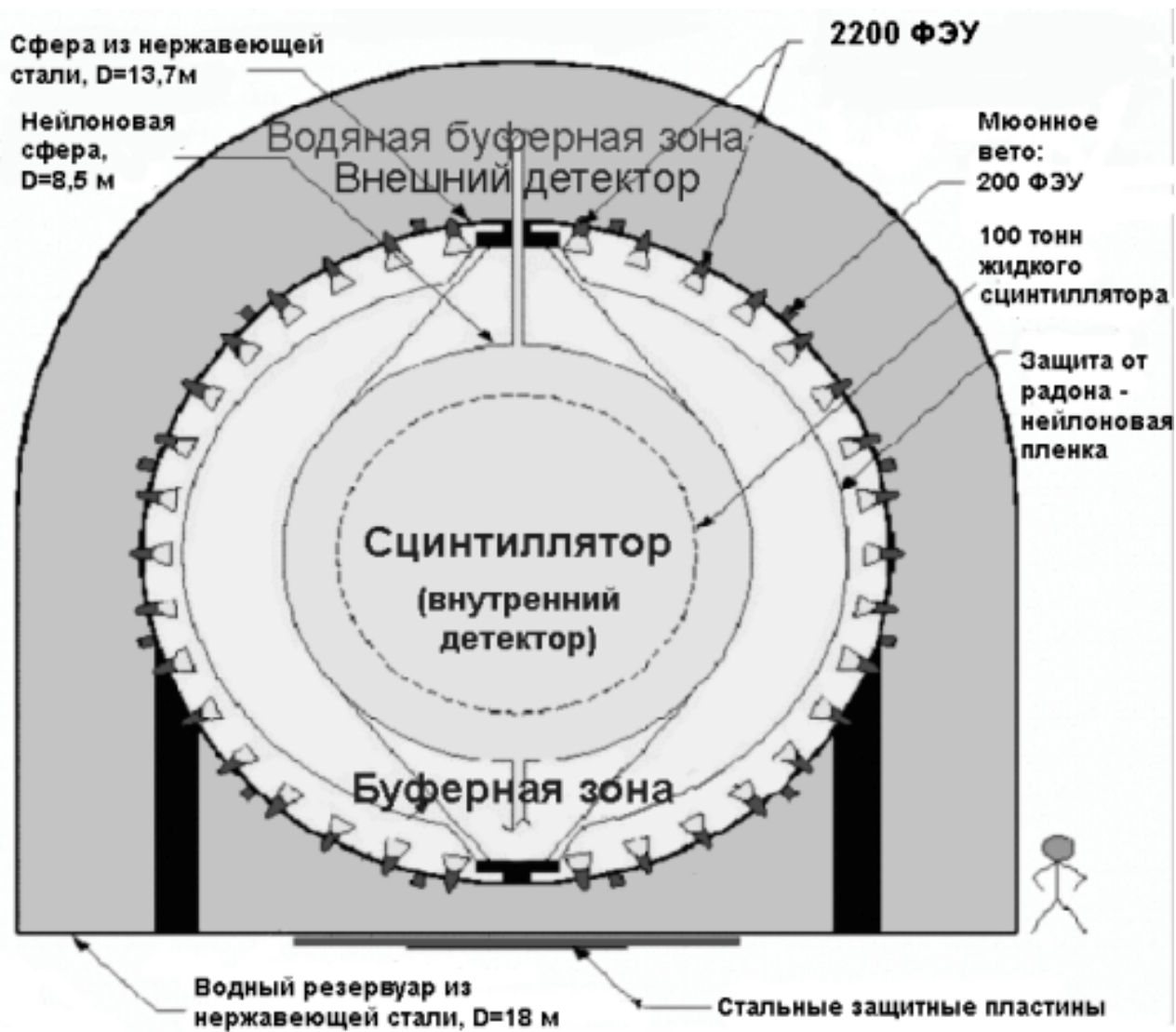


Рис. 1. Схема детектора Борксино.

Идентификация нейтринных событий в *Wogexino* происходит путем регистрации сцинтилляционных фотонов, число которых пропорционально полной энергии, переданной электроном отдачи сцинтиллятору. Схема обработки электронного сигнала с ФЭУ, показанная на рис. 2, позволяет измерять временные характеристики фотонов, необходимые для нескольких ключевых задач: пространственной реконструкции событий, отбора α - и β - событий по форме импульса.

Для внутреннего детектора сигнал с ФЭУ поступает на Front-End Board. Там происходит фильтрация сигнала от шумов, предварительное усиление сигнала и аналоговое суммирование. На выходе мы получаем временную информацию о сигнале, а также информацию о накопленном заряде. Кроме того, на выход отдельно выдается аналоговая сумма сигналов с 12 ФЭУ, которая используется системой контроля темновых шумов. После суммирования по 2, 4 и 8 каналов в аналоговом сумматоре сигнал передается на Flash АЦП, что позволяет расширить динамический диапазон детектора до 30 МэВ. Основной не суммированный сигнал далее подается на Digital Board, где происходит его аналого-цифровое преобразование, измерение времени сигнала с разрешением 0.4 нс, расчет числа сигналов в диапазоне 60 нс (для срабатывания триггера) и сохранение этой информации в постоянной памяти. Сигнал, поступающий в систему контроля темновых шумов, вначале преобразуется в цифровой, потом поступает на счетчик. В дальнейшем сигнал через сеть CAN передается на компьютер для обработки, после которой по характеристикам сигнала происходит контроль состояния детектора оператором.

Информация из внешнего детектора обрабатывается другим образом. Сигнал с ФЭУ поступает на Front-End Board, где сначала испытывает предварительное усиление, а потом происходит его зарядово-временное преобразование (QTC). Далее сигнал подается на преобразователь временных сигналов в цифровые (TDC), после чего данные о сигнале сохраняются в памяти. Также цифровой сигнал с Front-End Board подается на систему триггера. Триггер срабатывает при наличии N сигналов во внутреннем детекторе в течение 60 нс после сигнала во внешнем детекторе. Экспериментально установлено, что частота срабатывания триггера определяется, в основном, наличием в веществе детектора радиоактивного ^{14}C , и составляет для N величину, лежащую в диапазоне 15-20. Кроме того, цифровой сигнал поступает в систему контроля темновых шумов, где он вначале преобразуется в нужную форму, потом поступает в счетчик, после чего через сеть CAN передается на компьютер для дальнейшей обработки.



Рис. 2. Блок-схема аппаратной части системы контроля и сбора данных Borghino.

Программное обеспечение системы сбора данных полностью создано силами кол-лаборации Vorexino с активным применением многопоточных технологий. Пользователь-ский интерфейс системы сделан с использованием WEB-технологий.

§ 2 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМНОВЫХ ШУМОВ

Регистрация полезных событий в детекторе Vorexino осуществляется по совпадению определённого количества одноэлектронных импульсов различных ФЭУ в течение достаточно малого промежутка времени. Как известно, существенной особенностью ФЭУ является образование хаотических фоновых импульсов, каждый из которых практически неотличим от импульса, несущего информацию о событии. Эти импульсы, являющиеся в основном результатом фотокатодной термоэмиссии, сопровождаемой испусканием электронов с их последующим усилением, называют темновыми шумами ФЭУ. Другими источниками темнового шума являются радиоактивные распады в стеклянной колбе ФЭУ, космические лучи, а также автоэмиссия электронов под действием электрического поля.

О темновом шуме известно, что его интенсивность, приведенная к единице площади фотокатода, зависит в основном от технологии изготовления фотокатода и его рабочей температуры. Есть основания предполагать, что он может быть подвержен влиянию и других физических факторов.

При определенных условиях темновые шумы способны исказить физическую картину, или даже сделать эффективную работу детектора невозможной. Это особенно важно в силу редкости наблюдаемых нейтринных событий и событий, вызванных вспышками сверхновых, в детекторе Vorexino, которые планируется изучать. По этой причине и возникает необходимость контроля и анализа темновых шумов. Для внутреннего детектора измерение средней частоты следования импульсов производится для ФЭУ, сгруппированных по 12, а для внешнего, ввиду меньшего числа каналов, удалось обеспечить индивидуальный анализ для каждого ФЭУ.

Система контроля темновых шумов представляет собой набор модулей интеллектуальных измерителей частоты темнового шума (модули для внутреннего и внешнего детекторов отличаются технически, но имеют общую архитектуру), объединенных в компьютерную сеть промышленного типа. Накопление данных и их первичная обработка происходит на центральном компьютере в этой сети. Существенной особенностью системы контроля темновых шумов является ее независимость от основной системы регистрации событий в детекторе. Это означает, что система контроля темновых шумов будет работать непрерывно в течение всего времени действия детектора, осуществляя наблюдение даже в

периоды между рабочими запусками детектора. В процессе разработки этой системы в нее был заложен большой потенциал для дальнейшего анализа данных.

Первоочередными требованиями к системе контроля темновых шумов являлось выполнение следующих задач:

- Накопление и хранение всего массива данных в течение длительного промежутка времени;
- Визуальное отображение текущего состояния детектора и истории по всему массиву данных по запросам через WEB;

Анализ полученных данных о темновых шумах приводит к следующим задачам:

- Наблюдение спорадических эффектов и критических неисправностей в отдельных ФЭУ и в группах ФЭУ;
- Наблюдение коррелируемых изменений в группах ФЭУ;
- Оценка долговременных тенденций (уменьшение-увеличение, оценка постоянной времени);
- Оценка периодических вариаций с использованием Фурье-анализа;
- Исследование реакции на отключение высокого напряжения;
- Исследование реакции на вспышки от фотокамер;
- Исследование корреляций с другими физическими характеристиками (температура, вибрации, акустические шумы, источники электромагнитных помех и т.д.);
- Исследование на отсутствие аномалий темнового шума при выдаче триггера сверхновой.

§ 3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CAN-СЕТИ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ТЕМНОВЫХ ШУМОВ

Программное обеспечение системы контроля темновых шумов детектора Борексино предназначено для накопления, хранения, визуализации и обработки данных о частоте темновых шумов ФЭУ. Данные поступают от системы двух независимых систем CAN-счетчиков – основной системы (внутренний детектор) и системы мюонного вето (внешний детектор).

Основная система содержит 14 групп по 16 каналов в каждой, причем из 16 каналов одновременно в работе находятся только 14. Еще 2 канала являются резервными на случай возникновения неисправностей. Таким образом, всего от системы поступает 196 независимых информационных потоков данных, каждый из которых имеет смысл суммарной частоты темнового шума от группы ФЭУ из 12 шт. Данные поступают с темпом 1 раз в секунду в диапазоне частот от 0 Гц до 0,5 МГц.

Кроме данных о частоте темновых импульсов система выдает 14 каналов информации о температуре блоков питания и состояний напряжения питания +5В и –5В, используемых для контроля аналоговых цепей. Эти параметры являются необходимыми для нормального функционирования Flash АЦП (см. рис. 2). Отсутствие одного из напряжений питания или перегрев блока питания могут приводить к отключению или отказу аналогового сумматора, что приводит к потере сигналов с ФЭУ для их дальнейшего анализа.

Система счетчиков мюонного вето состоит из 256 информационных каналов, каждый из которых имеет смысл частоты темнового шума от одного ФЭУ. Данные поступают с темпом 1 раз в секунду, значение частоты может находиться в диапазоне 0-500 кГц. Рабочее установившееся значение частоты внешнего детектора приблизительно в 10 раз меньше, чем у внутреннего.

Таким образом, общее количество данных, поступающих от системы, составляет $196+256=452$ канала частоты по 10 байт (из них 4 байта – значение частоты, 4 байта – временная метка, 1 байт – номер канала, 1 байт - формат данных), что равняется 4520 байтам в секунду, т.е. примерно 4,5 кБ/сек, что в пересчете на день составляет примерно 373 МБ, в год – порядка 133 ГБ, а за 10 лет непрерывной работы детектора - около 1,3 ТБ.

Оценка показывает, что данные о темновых шумах ФЭУ можно хранить в единой базе данных, расположенной на одном носителе, состоящем из нескольких современных HDD. Хранение технологических данных в базе данных не целесообразно.

Системы контроля темновых шумов внутреннего и внешнего детекторов, а также аналоговый сумматор для Flash АЦП созданы совместно РИЦ "Курчатовский институт" и НИИЯФ МГУ.

§ 4 НАКОПЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ О ТЕМНОВЫХ ШУМАХ

Учитывая наличие в системе двух детекторов: внутреннего и внешнего детектора - общая схема программного обеспечения системы будет выглядеть так, как показано на рис. 3. На рисунке изображены все программные модули системы контроля темновых шумов и указана схема их взаимодействий между собой, а также с другими системами детектора. При этом отдельные подсистемы внутреннего и внешнего детекторов могут находиться как на одной, так и на разных ЭВМ и взаимодействовать при этом посредством сетевой файловой системы.

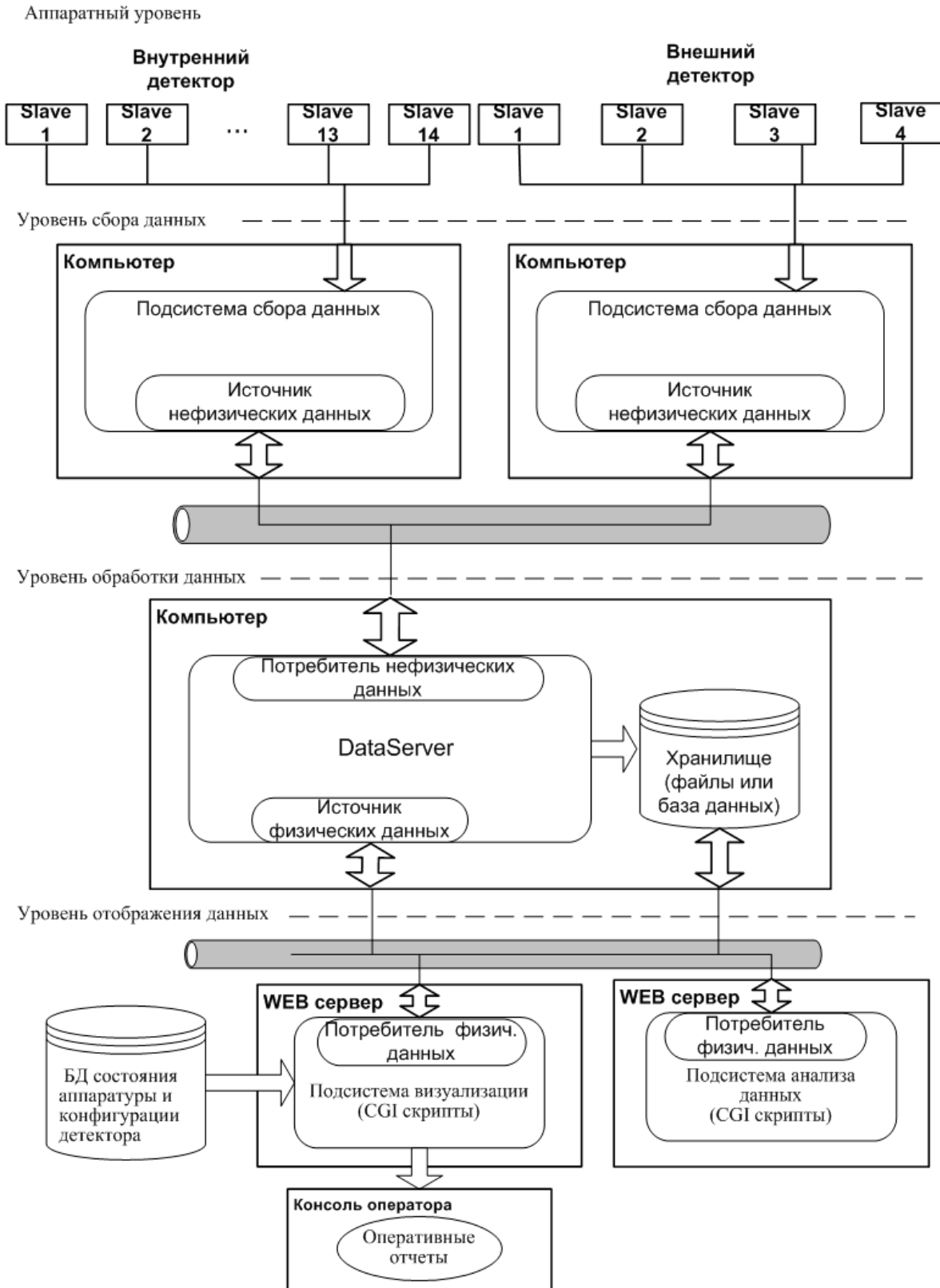


Рис. 3 Структурная схема программного обеспечения системы контроля темновых шумов Борексино

В ПО системы контроля темновых шумов детектора Борексина можно выделить 4 уровня:

1. аппаратный уровень;
2. уровень сбора данных;
3. уровень обработки данных;
4. уровень отображения данных.

Исходя из задач, выполняемых ПО, в нем можно выделить такие функциональные подсистемы:

- . подсистема сбора данных;
- . подсистема имитации темновых шумов ФЭУ;
- . подсистема упаковки данных;
- . подсистема online анализа и контроля состояния детектора;
- . подсистема offline анализа.

В штатном режиме работы детектора данные о темновых шумах ФЭУ поступают от системы распределенных счетчиков, объединенных сетью CAN. Эти данные через модуль сбора данных записываются в область распределенной памяти. Если детектор не включен, находится в состоянии сборки, настройки, модернизации, система распределенных счетчиков выключена или проводится ее модернизация, то в область распределенной памяти данные могут поступать от модуля имитации.

Модуль предназначен для отладки всей системы контроля темновых шумов. Кроме того, подсистема имитации позволяет смоделировать редкие состояния детектора, в том числе аварийные, для проверки того, адекватно ли поведение системы контроля темновых шумов. При старте модуля имитации происходит проверка на то, что основная система сбора данных не функционирует, и в этом случае происходит запись имитируемых данных в область распределенной памяти. Интерфейсная часть системы имитации позволяет в реальном времени задавать поведение имитируемых каналов через удобный человеко-машинный интерфейс. В частности возможно включение и выключение канала, настройка режима работы эмулятора для каждого канала, переключение между режимами, спонтанное резкое изменение частоты в канале частоты в канале. Аналогичные возможности доступны и для каждого эмулируемого устройства.

Из области распределенной памяти данные забираются модулем передачи данных, который выдает их по запросам модулю обработки данных (dataserver). Модуль передачи данных может выдавать данные как от внутреннего либо внешнего детектора, так и от обоих одновременно.

Модуль обработки данных реализует функциональность подсистемы упаковки данных в БД и осуществляет временное хранение данных о частотах и технологических параметрах (температура и напряжение питания). Область временного хранения организована в виде кольцевого буфера, позволяющего организовать скользящее окно в модуле визуализации. Подсистема упаковки данных в БД производит первичную обработку данных, привязку их к абсолютному времени детектора, возможно, их сжатие и в структурированном виде упаковку в БД. Данные, полученные в нефизическом формате, перед сохранением и передачей web-клиентам преобразуются в физическую форму: в частоту, температуру и напряжение соответственно.

Модуль визуализации данных в реальном времени отображает данные по частотам в каналах счетчиков и технологическим параметрам устройств. Данная подсистема отображает состояния всех ФЭУ и каналов аппаратуры, делая запрос в базу данных состояния аппаратуры детектора.

Модуль анализа данных напрямую извлекает данные из базы данных, не обращаясь к модулю обработки данных. Модуль генерирует запросы к СУБД (системе управления базами данных) для получения информации о темновых шумах ФЭУ за определенный период. Эту информацию планируется использовать для статистического, корреляционного, частотного анализа после того, как будет накоплен большой объем данных.

В настоящее время система контроля для внутреннего детектора полностью собрана и работоспособна, система контроля для внешнего детектора находится в процессе окончательной настройки. На рисунке 4 показан приблизительный вид того, как темновые шумы могут быть представлены для оператора с целью анализа информации о темновых шумах ФЭУ детектора.

В качестве примера результатов мониторинга работы системы на рисунке 4 показан фрагмент реальных данных, полученных на детекторе во время тестового запуска. Показана временная зависимость средней частоты темновых шумов ФЭУ для 80 каналов с течением нескольких минут с частотой сбора данных 1 Гц. На этой диаграмме можно увидеть пики темновых шумов, отключенные каналы, различие средних значений частот в разных каналах, а более детальный анализ может показать наличие корреляций между каналами. Таким образом, может быть организовано исследование основных предположений о свойствах темновых шумов, сделанных в работе [5].

Экспериментальные данные

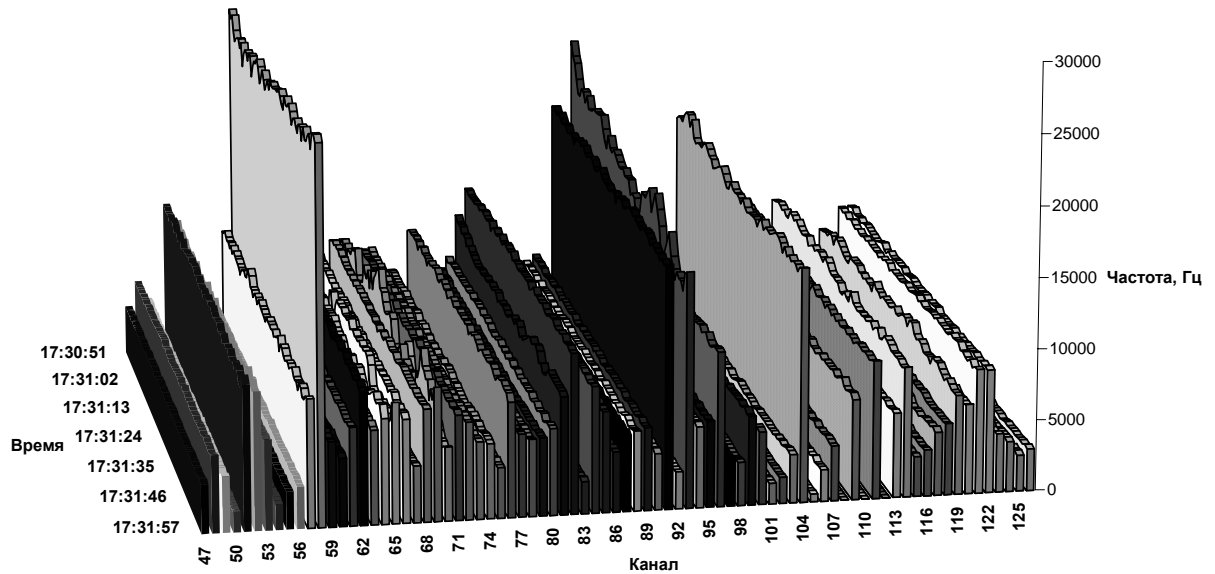


Рис.4. График одноэлектронных шумов ФЭУ

ВЫВОД

Положительный опыт применения позволяет рассматривать компоненты CAN-сетей как основу для построения распределенной системы контроля в реальном времени для больших экспериментальных физических установок. Структура созданной системы позволяет ее дальнейшую модернизацию, масштабирование и расширение функциональных возможностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ultra-low background measurements in a large volume underground detector. *Astroparticle Physics*, 8 (1998) 141.
2. A large scale low background liquid scintillator detector: the counting test facility at Gran Sasso. *Nuclear Instr and Methods A* 406 (1998) 411.
3. Science and Technology of BOREXINO: a real-time Detector for Low Energy Solar Neutrinos. *Astroparticle Physics* 16 (2002) 205.
4. Supernova neutrino detection in Borexino. L. Cadonati, F.P. Calaprice, M.C. Chen *Astroparticle Physics* 16 (2002) 361-372.
5. А.А. Сабельников, А.С. Чепурнов. Исследование интенсивности одноэлектронных темновых шумов фотоумножителей детектора Бorexино. Препринт РИЦ «Курчатовский институт» ИАЭ-6305/15, М., 2003

Денис Иосифович Орехов¹

Александр Сергеевич Чепурнов²

Андрей Александрович Сабельников³

Александр Владимирович Этенко³

Денис Игоревич Маймистов¹

¹Физический факультет МГУ, 119899, Москва, Ленинские горы

²Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, 119899, Москва, Ленинские горы

³РНИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. И.В.Курчатова, д. 1

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМНОВЫХ ШУМОВ ФЭУ ДЛЯ
НЕЙТРИННОГО ДЕТЕКТОРА VOREXINO С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРОТОКОЛА DEVICENET И ДОСТУПОМ ЧЕРЕЗ WEB**

Препринт НИИЯФ МГУ – 2006-10/809

Работа поступила в ОНТИ 05.07.2006 г.