



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2016–3

С.И. Букреева, Ю.М. Гончаренко, П.А. Семенов

**Система управления переднего калориметра
типа «шашлык» в эксперименте PANDA**

Направлено в *ИТЭ*

Протвино 2016

Аннотация

Букреева С.И. и др. Система управления переднего калориметра типа «шашлык» в эксперименте PANDA: Препринт ИФВЭ 2016–3. – Протвино, 2016. – 15 с., 12 рис., библиогр.: 7.

Описаны программные и аппаратные средства, используемые при построении системы управления калориметра типа «шашлык» в эксперименте PANDA, в частности использование программной среды EPICS и Control System Studio. Приведено краткое описание блока управления питанием генераторов Кокрофт-Уолтона и обработка данных с него посредством одноплатных компьютеров Raspberry Pi.

Abstract

Bukreeva S.I. et al. Detector control system for the Forward calorimeter “shashlyk” in PANDA experiment: IHEP Preprint 2016–3. – Protvino, 2016. – p. 15, figs. 12, refs.: 7.

Detector control system for “shashlyk” is distributed control system and designed with EPICS software environment and Control System Studio. Single-board computers Raspberry Pi are used to transfer data from Cockcroft-Walton control units to the user interface in Control System Studio.

Введение

Системы управления детекторами или, как их иногда называют в физике высоких энергий, системы медленного контроля детекторов экспериментальных установок выполняют функции мониторинга параметров подсистем детектора и предоставляют доступ к управлению этими параметрами. Такие системы также служат для своевременного обнаружения сбоев в работе детекторов, оповещают оператора для принятия необходимых мер или же производят необходимые действия по устранению неисправностей автономно. Для детектора, как правило, разрабатывается комплекс электронных узлов и программных средств, что и называют системой медленного контроля детектора или DCS (Detector Control System).

Важной задачей при построении таких систем является организация надежного и гибкого управления данными с большого количества устройств детектора. Кроме этого, при разработке сложных DCS удобно применять универсальные программные средства для обеспечения совместимости между подсистемами. Таким требованиям удовлетворяет программная среда EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) [1]. EPICS представляет собой набор программных инструментов, библиотек и драйверов, которые разрабатываются и поддерживаются соответствующей коллаборацией и широко используются для создания распределенных систем управления в крупных научных экспериментах и на ускорителях частиц. Также EPICS определяет и архитектуру системы как клиент-серверную модель с сетевым протоколом связи, называемым каналом доступа (Channel Access или CA). Серверы, называемые Input/Output Controllers (IOC`s), обращаются к устройствам подсистем детектора, обрабатывают полученные с них дан-

ные и предоставляют эту информацию клиентам с помощью канала доступа (CA). В качестве клиентов EPICS предлагает множество инструментов таких как MEDM, ALH, EPICS WIN32 Extensions, Command-Line Tool и другие [2].

В данной статье рассмотрен пример применения среды EPICS для организации системы управления подсистемами детекторов в эксперименте PANDA [3], а также кратко описаны электронные устройства системы медленного контроля, разработанные для калориметра «шашлык» [4].

Архитектура PANDA DCS

Установка PANDA включает несколько детекторов и подсистем (рис. 1).

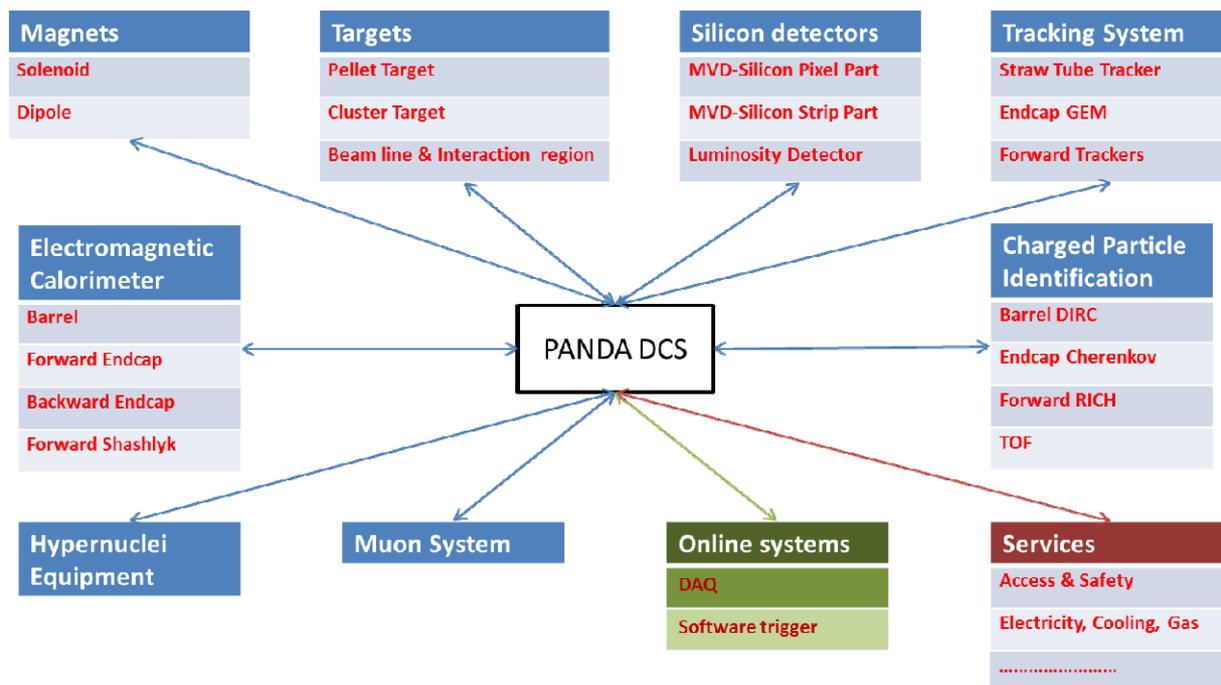


Рис. 1. Детекторы и подсистемы установки PANDA.

В связи со сложностью организации медленного контроля такой крупной установки как PANDA и ее поэтапным строительством необходимо, чтобы структура системы медленного контроля являлась масштабируемой и модульной. Поэтому для каждого детектора установки предполагается разработать автономные подсистемы медленного контроля (DCS partition, рис. 2), обращение к которым осуществляется через

канал доступа СА. Автономность в данном случае заключается в том, что подсистема детектора имеет соответствующее «самостоятельное» программное обеспечение для работы с устройствами, относящимися к данному детектору, но совместимое с сетевым протоколом СА. То есть среда EPICS была выбрана как основной инструмент разработки, при этом используемые средства внутри подсистем остаются выбором разработчиков.

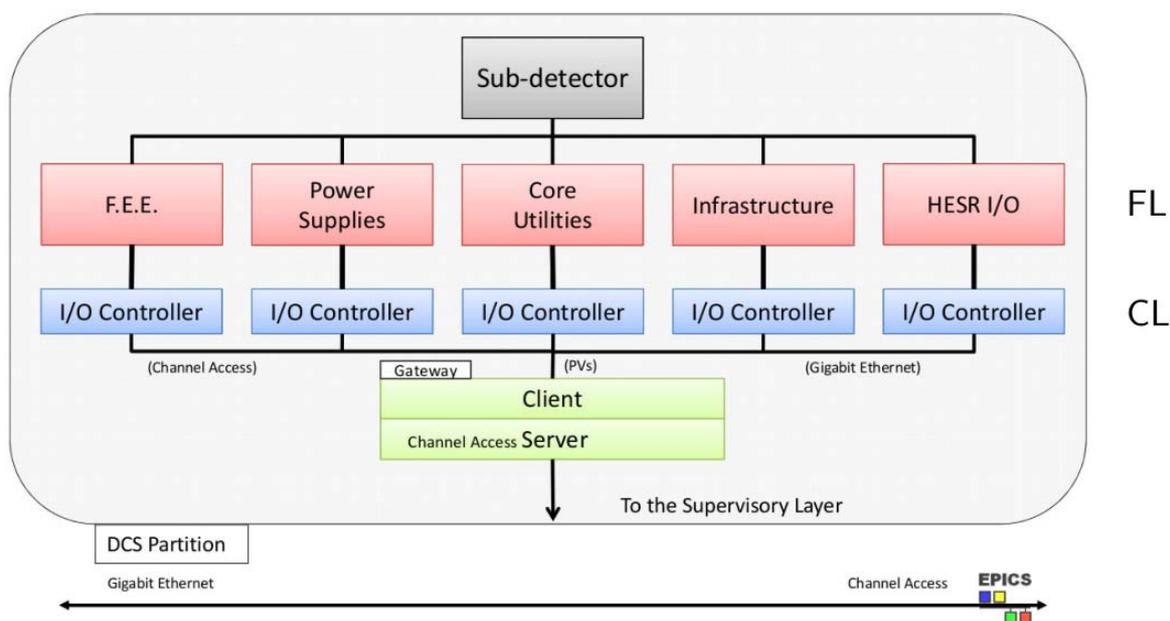


Рис. 2. Схема подсистемы медленного контроля PANDA DCS для одного детектора.

Архитектуру PANDA DCS можно представить тремя уровнями (рис. 3):

1. Полевой уровень (FL – field layer): различные устройства и электронные модули, требующие управления и мониторинга.
2. Уровень контроля (CL – control layer): на этом уровне работают ИОС, имеющие доступ к полевым шинам для опроса нижнего уровня.
3. Уровень управления (SL – supervisory layer): клиенты, которые обращаются к ИОС по протоколу канала доступа (Ethernet), база данных.

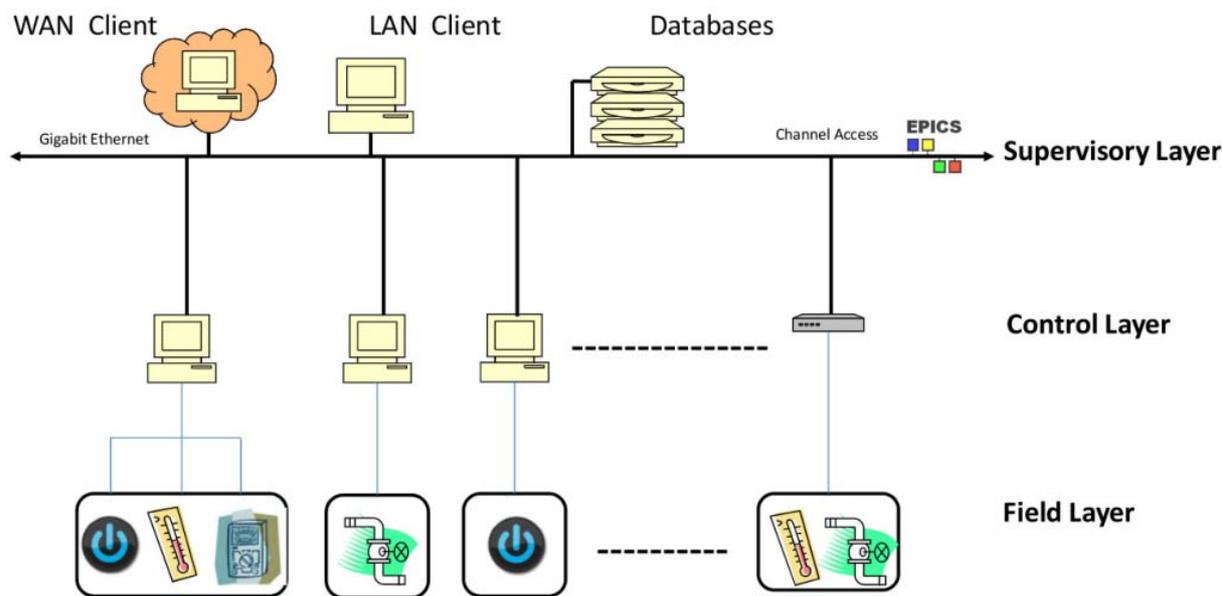


Рис. 3. Архитектура системы медленного контроля PANDA DCS: Supervisory Layer – уровень управления; Control Layer – уровень контроля; Field Layer – полевой уровень.

EPICS предоставляет систему сборки приложений ИОС для различных платформ, что позволяет использовать на уровне контроля практически любой современный процессор. Кроме этого, EPICS предлагает широкую библиотеку драйверов и модулей, подключаемых к ИОС, для поддержки различных протоколов связи, устройств и шин данных, используемых на полевом уровне.

Для каждого ИОС создается база данных с указанием так называемых переменных процесса (Process Variable, PV), подключаемая при старте. PV является элементом данных в EPICS, имеющим уникальное имя и относящимся к конкретному параметру устройства, которым управляет приложение. ИОС обрабатывает PV, указанные в базе, и передает запрашиваемые PV клиентам на уровень управления. Уровень управления – это графический интерфейс оператора, система сигнализации об авариях, архиватор и база данных. В PANDA DCS на уровне управления используется программный комплекс Control System Studio.

Система медленного контроля калориметра «шашлык»

Передний калориметр типа «шашлык» в эксперименте PANDA служит для регистрации энергий частиц, в основном фотонов и электронов, в широком динамическом диапазоне. Детектор состоит из четырехканальных модулей «шашлыка» (всего 1512 каналов) [4]. В качестве фотодетектора в каждом канале используется фотоумножитель Hamamatsu R7899. Для обеспечения ФЭУ стабильным и регулируемым напряжением используются генераторы Кокрофт-Уолтона с возможностью подстройки опорного напряжения. Медленный контроль калориметра, являющийся подсистемой PANDA DCS, заключается в мониторинге и управлении питанием каналов ФЭУ, мониторинжной системы и опросе датчиков. Структурная схема DCS представлена на рис. 4.

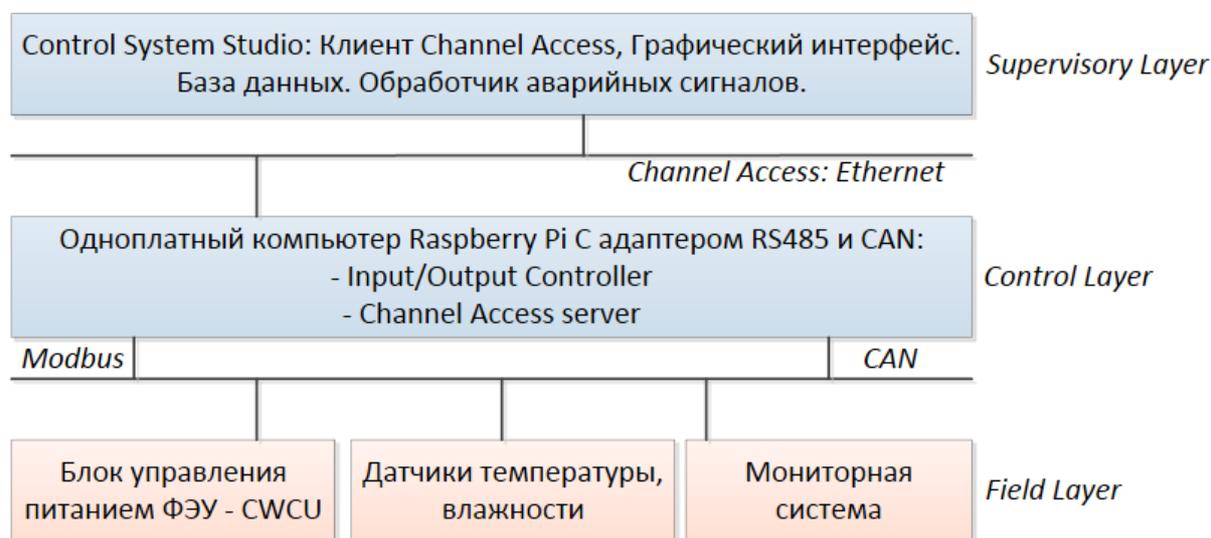


Рис. 4. Структурная схема DCS калориметра «шашлык».

Блок Cockcroft-Walton Control Unit (CWCU) представляет собой электронный модуль на базе 32-разрядного микроконтроллера stm32f205ve (ARM Cortex-M3) и выполняет следующие функции:

- управление высоким напряжением на генераторах Кокрофт-Уолтона;
- обработка сигналов с АЦП о выставленных уровнях напряжений;
- контроль низких напряжений питания генераторов;
- мониторинг потребляемых токов;
- запись и хранение кодов опорных напряжений каждого канала.

Генераторы Кокрофт-Уолтона задают напряжения на диодах ФЭУ до 1,8 кВ. На рис. 5 показана фотография генератора с подключенным ФЭУ. На торцевой плате генератора (справа) расположены ЦАП и АЦП. С помощью ЦАП устанавливаются опорные напряжения для каскадов усиления, а АЦП измеряют реально выставленное напряжение.

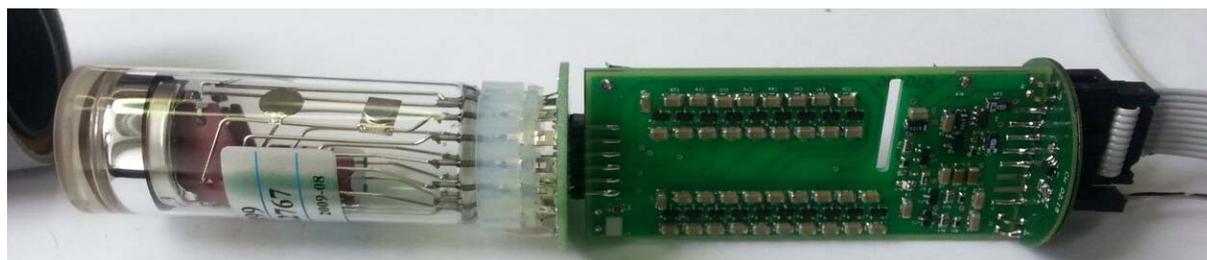


Рис. 5. Генератор Кокрофт-Уолтона с подключенным ФЭУ.

Передача кодов в ЦАП и с АЦП организована по последовательному цифровому интерфейсу SPI. Недостатком данного интерфейса является увеличение количества линий при росте числа ведомых устройств, т.к. каждое подключаемое устройство требует дополнительную линию выбора микросхемы (Chip Select). В данной системе детектора «шашлык» ЦАП и АЦП устанавливаются в каждом канале, и общее количество микросхем составляет 3024. В связи с большим количеством ведомых микросхем для ЦАП и АЦП используется один и тот же интерфейс SPI (линия MOSI для выставления кодов на ЦАП и линия MISO для приема кодов с АЦП), а для уменьшения линий Chip Select интерфейс организован в виде матрицы (рис. 6).

Обращение к ведомым ЦАП по SPI осуществляется по индексу столбца и строки. Размеры матрицы 10x28. В данном случае 28 – количество сигналов Chip Select, которые выбирают столбец, 10 – количество линий MOSI, по которым отправляются коды (выбирается строка). Частота, которая тактирует данные по линиям MOSI, передается также по 10 линиям параллельно линиям MOSI. То есть, чтобы обратиться к одному ЦАП необходимо выставить сигнал Chip Select, выбрав необходимый столбец, и передать тактируемые данные по линии MOSI, таким образом, выбрав строку. В итоге код получит только одна микросхема ЦАП, т.к. остальные будут выбраны (Chip Select), но к ним не подведены тактируемые данные (MOSI), либо будут игнорировать тактируе-

мые данные, т.к. будут не выбраны. При этом микросхемы ЦАП, не выбранные сигналом Chip Select, не будут потреблять ток, т.к. их входы будут находиться в состоянии Hi-Z. Для выбора микросхем АЦП используются те же 28 выводов Chip Select. Направление сигналов CS на ЦАП или АЦП задается с помощью разрешающих шинных буферных приемопередатчиков, расположенных на блоке управления.

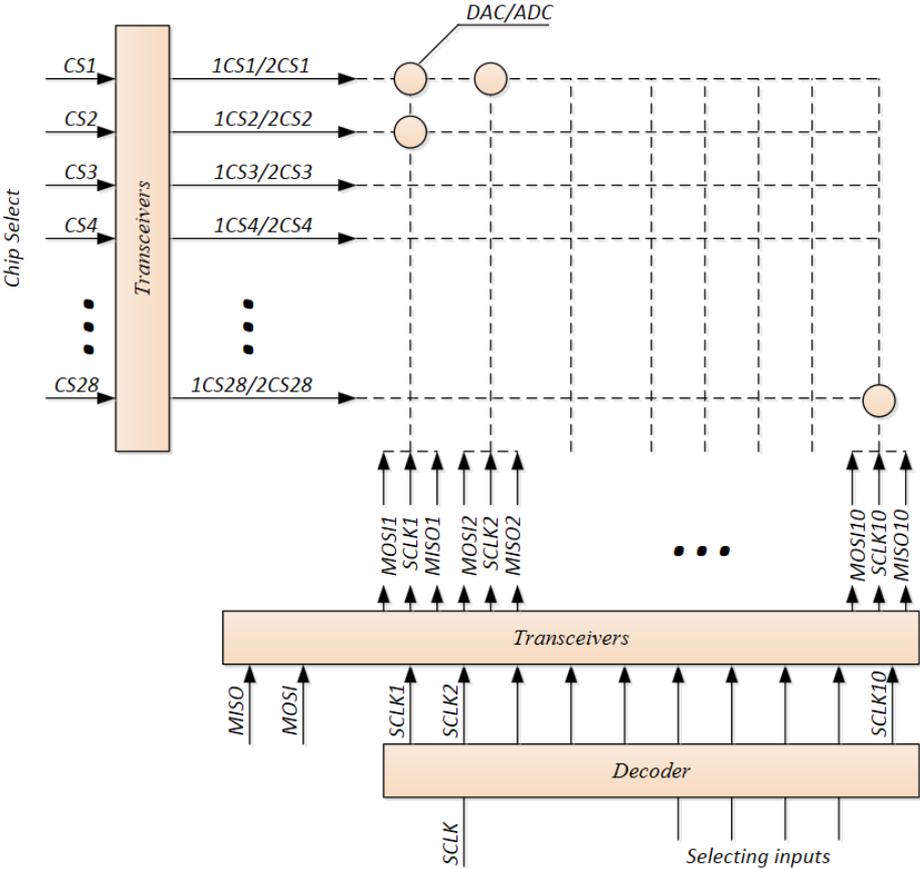


Рис. 6. Организация связи с 280 ЦАП по интерфейсу SPI.

Микроконтроллерный блок управления CWCУ, который является мастером на шине SPI, объединяет 560 микросхем (280 АЦП и 280 ЦАП). Для всего детектора требуется 6 блоков CWCУ. На рис. 7 представлено покрытие SPI всего детектора. Сигналы выбора ЦАП обозначены 1CS1-1CS28, АЦП: 2CS1-2CS28.

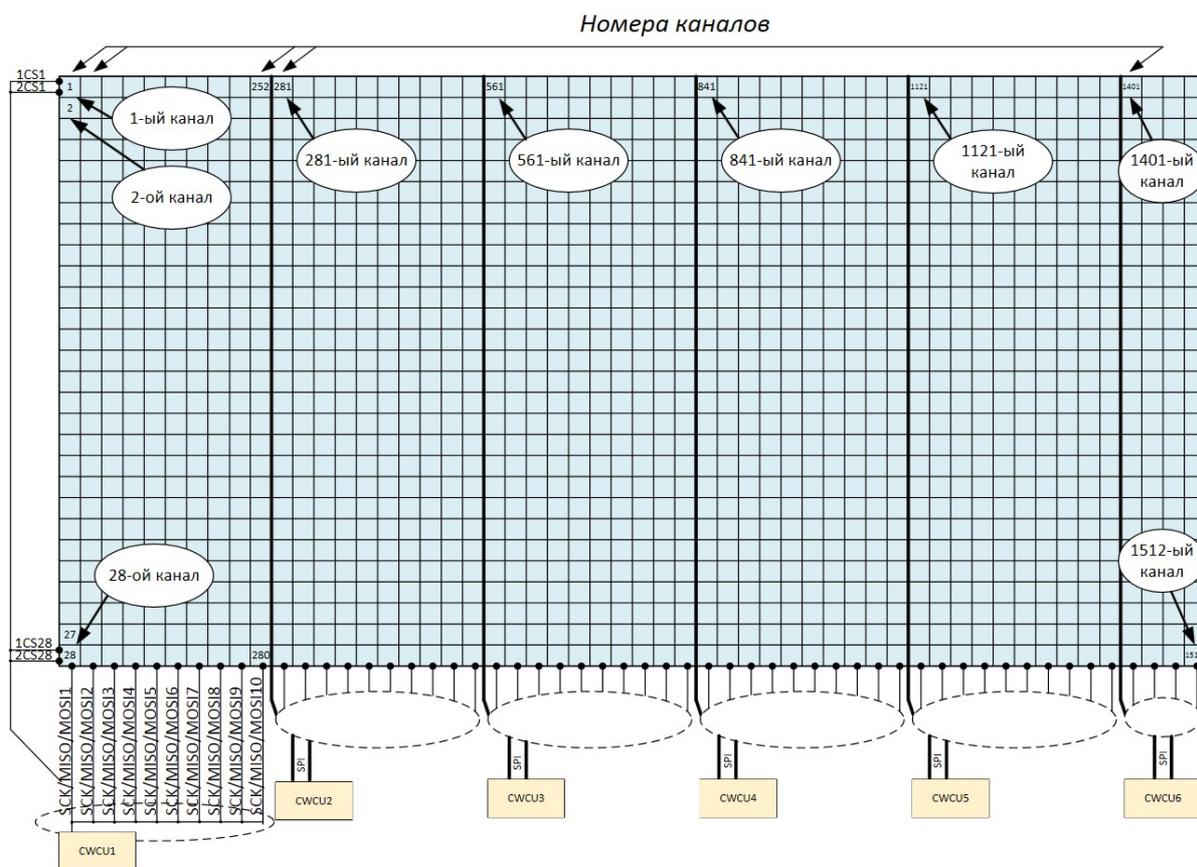


Рис. 7. Покрывтие SPI на 1512 каналов детектора.

Матричная схема адресации каналов, описанная выше, была реализована при тестировании прототипа калориметра «шашлык» и показала свою надежность. При такой схеме на плате генераторов отсутствуют какие-либо ПЗУ с адресной информацией, что немаловажно для повышения надежности работы системы в условиях повышенного радиационного фона.

Источниками питания высокого и низких напряжений являются модули серии EPS-65 фирмы MeanWell, которые располагаются с микроконтроллерной платой внутри блока CWCU. После включения питания блок автоматически определяет подключенный интерфейс RS485 (Modbus RTU) или RS232 и переходит в режим ожидания команды. Командами от оператора включаются источники питания и на всех ЦАП выставляются значения из памяти EEPROM либо задаются вручную.

Блок CWCU также поддерживает интерфейсы CAN и 1-Wire, которые могут быть использованы в мониторингной системе калориметра и для опроса датчиков.

Структурная схема с указанием основных элементов CWCU представлена на рис. 8.

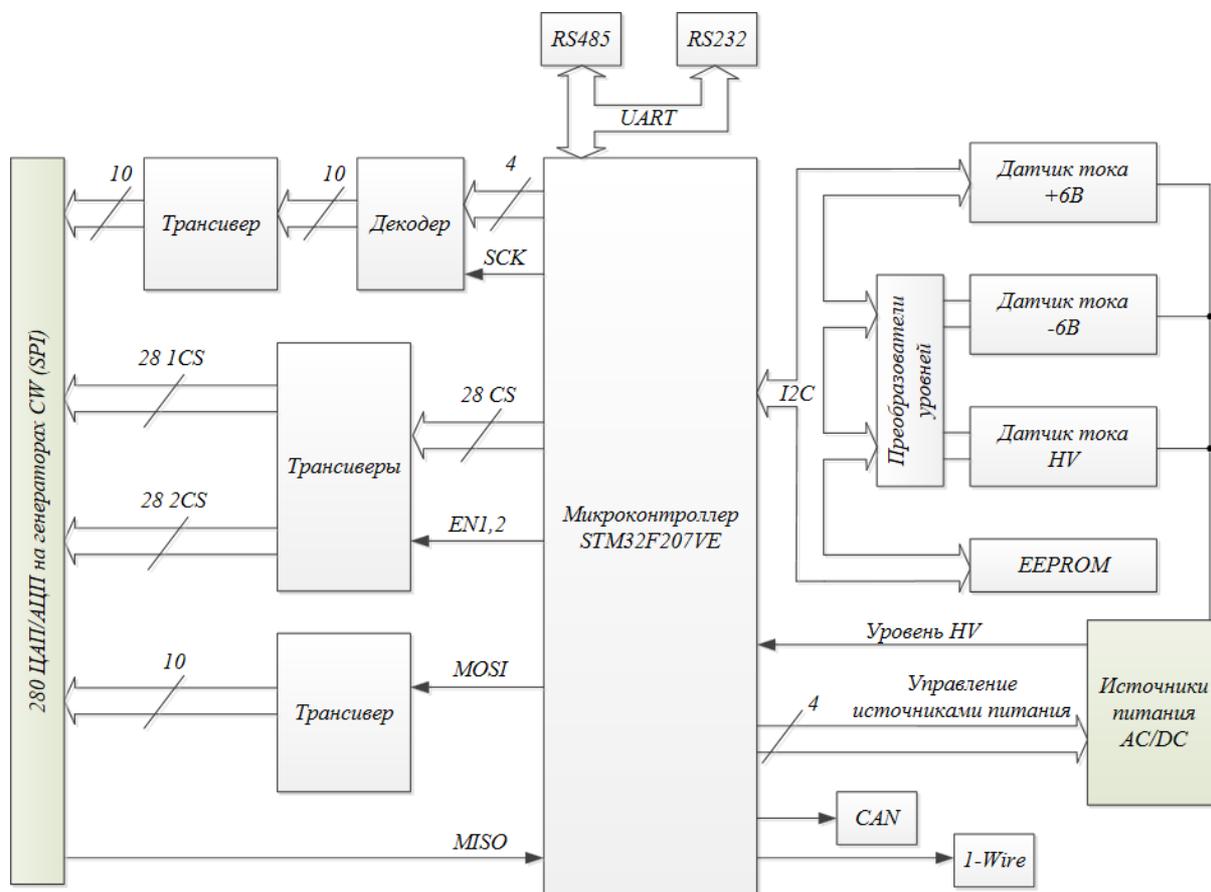


Рис. 8. Структурная схема блока CWCU.

На уровне контроля DCS «шашлыка» (см. рис. 4) необходимо собирать и обрабатывать данные, полученные от блоков CWCU и других полевых устройств по шинам Modbus и CAN. Для этой цели был использован одноплатный компьютер Raspberry Pi model B [5] под управлением варианта ОС Linux, который, во-первых, обеспечивает стек протоколов TCP/IP и обеспечивает интерфейс с верхним уровнем согласно протоколу канала доступа, а во-вторых выполняет часть низкоуровневых операций, чем компенсирует ограниченность ресурсов микроконтроллера.

Raspberry Pi представляет собой недорогой вариант малогабаритного одноплатного компьютера с процессором bcm2835 архитектуры ARM. Доступная для использования периферия включает интерфейсы SPI, I2C, UART, выходы общего назначения и др. Кроме того, на плате имеется поддержка Ethernet. Широко распространенной считается

операционная система Raspbian на базе Debian. Физически система хранится на SD-карте, устанавливаемой в Raspberry.

В системе медленного контроля калориметра применение Raspberry Pi оказалось успешным техническим решением для запуска приложений ИОС. На компьютер устанавливается база EPICS – это основное ядро EPICS, включающее систему сборки приложений ИОС, библиотеки клиентов и серверов канала доступа, инструменты для создания и обработки баз данных, поддержку некоторых драйверов и пр. – и дополняется различными модулями. С помощью ядра EPICS и модуля Modbus для связи с микроконтроллерными блоками CWCU было разработано приложение ИОС в Raspbian, которое помимо поддержки протокола Modbus производит необходимые вычисления с полученными данными и предоставляет эту информацию клиентам по сети Channel Access. ИОС имеет интерфейс командной строки, который позволяет узнавать текущие данные, обращаться к CWCU и используется как тестовый режим на этапе настройки системы.

Для согласования с линией передачи RS485 был разработан адаптер связи для Raspberry Pi в виде мезонинной платы, устанавливаемой на его внешний разъем.

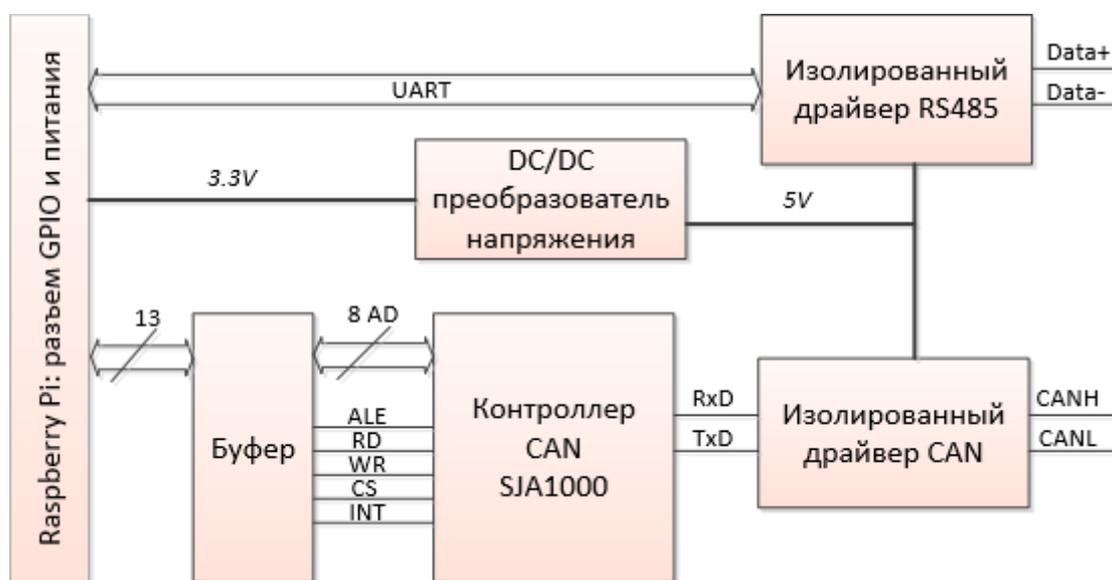


Рис. 9. Структурная схема адаптера RPiEXT.

Помимо драйвера RS485 на адаптере располагается контроллер шины CAN. Модуль CAN для ядра Raspbian, обеспечивающий интерфейс с контроллером SJA1000,

был разработан и опробован для других подсистем PANDA DCS и использовался при проверке адаптера RPiEXT.

Для повышения надежности системы выполнение одной задачи может быть запущено на нескольких Raspberry Pi. Например, опрос 6 блоков управления CWCU может быть распределен на три и более компьютера. Приложения под задачи мониторинга системы и системы датчиков детектора могут запускаться также на отдельных Raspberry Pi, объединенных сетью Ethernet 1Гбит/с.

Использование встраиваемых компьютеров Raspberry Pi, объединенных сетью Ethernet, и системы EPICS повышает надежность и масштабируемость системы медленного контроля, позволяет сократить время разработки, унифицирует применяемое оборудование и ПО.

Control System Studio для управления ИОС

Control system studio (CSS) – это программный комплекс на базе Eclipse, который предназначен для построения систем контроля в научных экспериментах и ускорителях и является результатом работы коллабораций между различными лабораториями и университетами [6].

Control system studio представляет собой набор инструментов: обработчик аварийных сигналов (alarm handler), подсистема для архивации данных в базе (archive engine), графические интерфейсы оператора и инструменты диагностики системы. CSS запрашивает по протоколу Channel Access от ИОС переменные процесса PV, т.е. имена и значения переменных, временные метки, информацию об аварийном состоянии переменных, единицы измерения и другое. Полученные переменные обрабатываются в CSS: представляются в графическом интерфейсе, сохраняются в базе данных, проверяются на наличие сигнала тревоги и т.д.

Ключевой особенностью CSS является интеграция перечисленных инструментов в одну систему, в то время как EPICS предлагает аналогичные по функционалу средства по отдельности.

Группой разработчиков PANDA DCS была создана специальная версия CSS PANDA, которая и была использована в системе медленного контроля «шашлыка» [7].

CSS PANDA включает в себя 5 приложений:

- AlarmConfigTool – инструмент для конфигурирования AlarmServer.
- AlarmServer – фоновый процесс, сканирующий все переменные процесса на аварийные состояния.
- ArchiveConfigTool – инструмент для конфигурирования ArchiveEngine
- ArchiveEngine – фоновый процесс, который собирает данные о переменных процесса (PV) и сохраняет их в базе данных (БД).
- css-panda – графический интерфейс пользователя, включающий просмотр данных из БД, интерфейс обработчика аварийных сигналов (alarmhandler) и редактор интерфейса оператора (ОПИ).

AlarmServer читает конфигурацию, следит за состоянием PV, указанных в данной конфигурации, и уведомляет клиента в случае, когда PV изменила состояние на аварийное. Аварийное состояние переменной фиксируется в базе данных, таким образом при остановке AlarmServer узнает о предыдущем срабатывании при инициализации и нового сигнала тревоги клиенту не отправляет.

ArchiveEngine читает конфигурацию, подключается к указанным каналам PV и сохраняет их значения в хранилище данных. Полученные PV накапливаются и передаются в базу данных один раз в 30 секунд. В качестве СУБД для медленного контроля была выбрана PostgreSQL.

Встроенный веб-сервер ArchiveEngine предоставляет удаленное управление и позволяет узнавать время запуска процесса, список подключенных и отключенных каналов, последние полученное и сохраненное в БД значения PV.

Главной частью пакета является css-panda, который содержит графический интерфейс пользователя и обработчика сигналов тревоги, редактор интерфейса с множеством виджетов, а также браузер данных. Кроме этого позволяет отправлять электронные письма через smtp-сервер, проверяет право доступа через авторизацию в системе.

На рис. 10 показаны компоненты CSS и их связи с базой данных.

На рис. 11 представлен графический интерфейс системы медленного контроля калориметра «шашлык». Предполагается, что часть интерфейса будет использована в общей системе CSS PANDA.

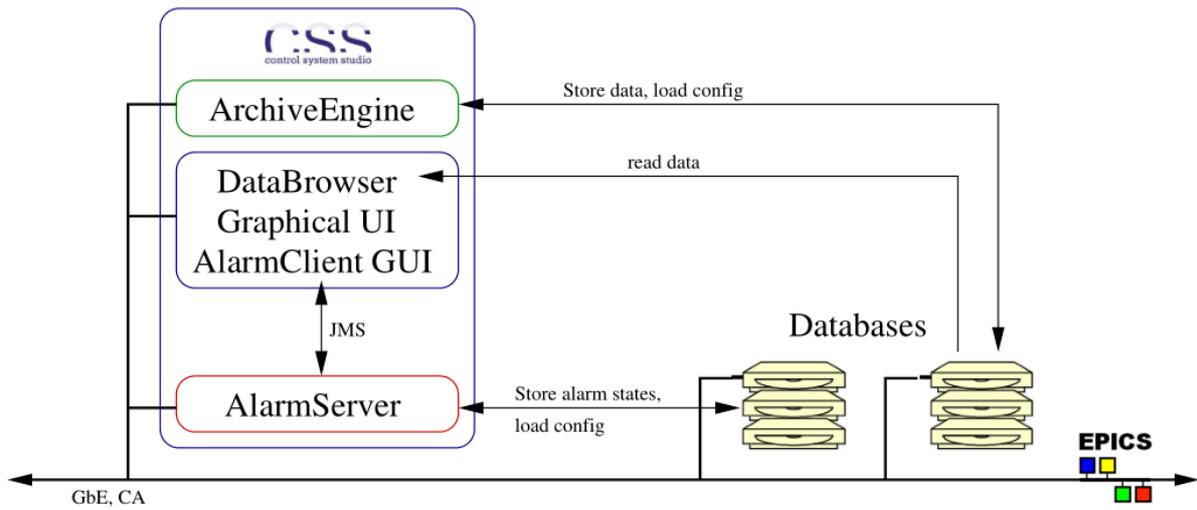


Рис. 10. Схема подключения CSS и базы данных.

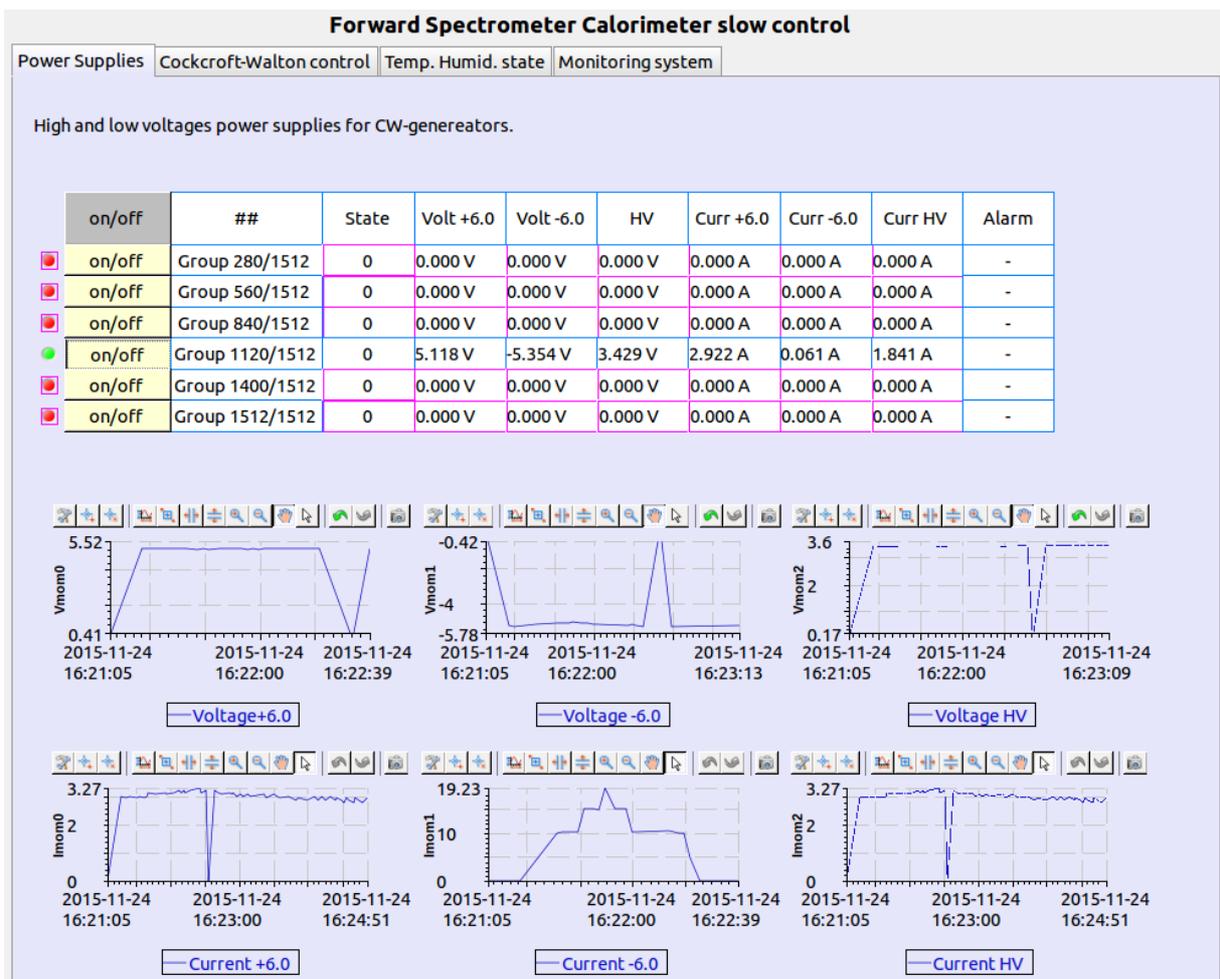


Рис. 11. Графический интерфейс.

Общая структура системы медленного контроля «шашлыка», изображенная на рис. 12, включает в себя локальную базу данных и локальную версию CSS, которые необходимы при настройке и в дальнейшем при независимой эксплуатации системы FSC DCS (Forward Spectrometer Calorimeter).

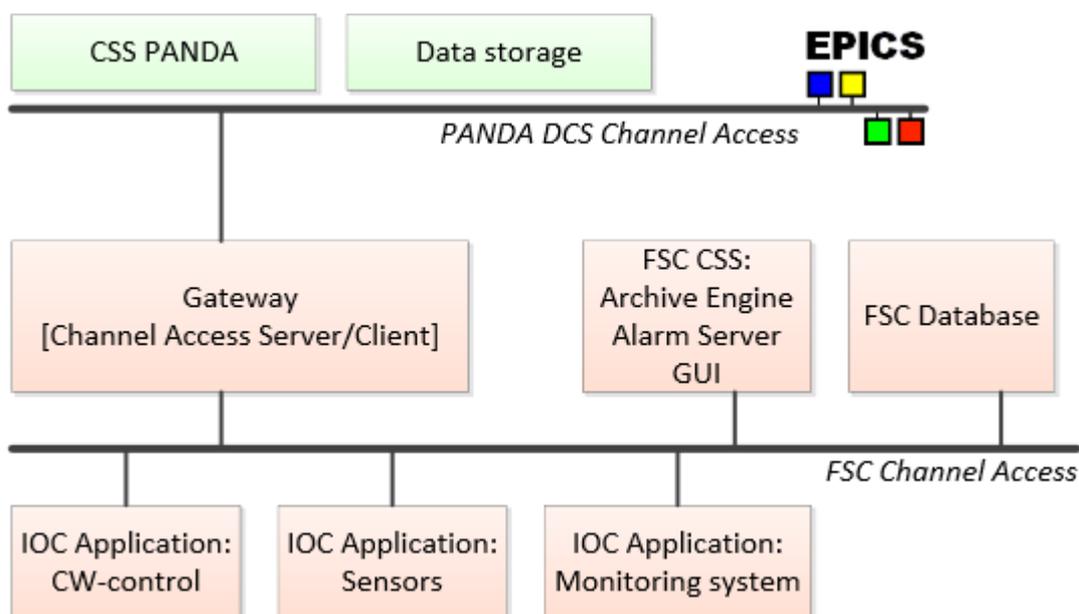


Рис. 12. Структура DCS калориметра «шашлык».

Заключение

Система медленного контроля калориметра «шашлык» является распределенной системой управления, что обеспечивает высокое быстродействие за счет распределения задач в системе, ее надежность (выход из строя одного из элементов системы не приводит к сбою в работе других) и простую масштабируемость и модернизацию системы.

Применение EPICS унифицировало разрабатываемые подсистемы PANDA DCS, что уменьшает время на разработку программного обеспечения. Кроме этого преимуществом данной среды является широкий выбор клиентских программ, библиотек и драйверов, а также их поддержка для различных операционных систем.

Список литературы

- [1] <http://www.aps.anl.gov/epics/> - сайт разработчиков программной среды EPICS.
- [2] <http://www.aps.anl.gov/epics/docs/GSWE.php> – лекции по работе с EPICS.
- [3] <https://www.panda.gsi.de/> - сайт эксперимента PANDA.
- [4] Test beam study of the PANDA shashlyk calorimeter prototype. [Journal of Physics Conference Series](#) 04/2009;160(1):012021. [D.A. Morozov](#), [S.K. Chernichenko](#), [A.A. Derevschikov](#), [V.Y. Kharlov](#), [Y.A. Matulenko](#), [V.V. Mochalov](#), [A.V. Ryazantsev](#), P.A. Semenov, [A.P. Soldatov](#), [O.P. Yuschenko](#), [A.N. Vasiliev](#).
- [5] <https://www.raspberrypi.org/> - сайт об одноплатном компьютере Raspberry Pi.
- [6] Kay Kasemir, Gabriele Carcassi. Control System Studio Guide for installers and maintainers of CSS. Oak Ridge National Laboratory, 2011.
- [7] <https://panda-wiki.gsi.de/foswiki/bin/view/DCS/PANDACSS> - сайт разработчиков CSS PANDA.

Рукопись поступила 1 февраля 2016 г.

С.И. Букреева и др.

Система управления переднего калориметра типа «шашлык» в эксперименте PANDA.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 04.02.2016. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.

Печ.л. 1,25. Уч.– изд.л. 1,63. Тираж 80. Заказ 5. Индекс 3649.

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»

142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2016-3,
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», 2016
