

Большой адронный коллайдер (БАК) CERN длиной 26 659 м получает пучки заряженных частиц от комплекса машин, являющихся предварительными инжекторами БАК. Эти машины - Linac2 (H⁺), Linac 3 (Pb⁵⁴⁺), PS-бустер, PS и SPS - существуют уже много лет. На PSB, PS и SPS проводятся собственные физические эксперименты. Все эти машины были доработаны так, чтобы они были в состоянии не только обеспечить необходимые для БАК параметры пучка, но и продолжить, когда они не используются для БАК, проведение на них собственных экспериментов. На рис. 1 показаны все эти машины и основные площадки для проведения экспериментов.

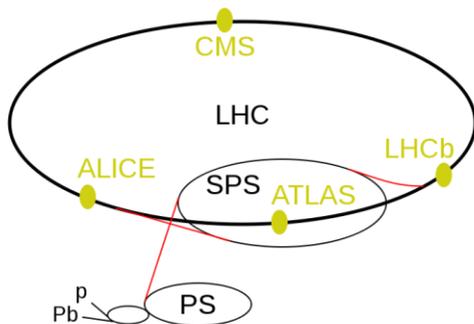


Рис.1. Ускорители CERN

Экспериментальные научные центры:

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) - для изучения кварк-глюонной плазмы в столкновениях тяжёлых ионов свинца

ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) и CMS (Compact Muon Solenoid) - детекторы общего назначения, предназначены для поиска бозона Хиггса и «нестандартной физики», в частности тёмной материи

LHCb (The Large Hadron Collider beauty experiment) - для исследования физики *b*-кварков, что позволит лучше понять различия

Энергетическая компоновка БАК чрезвычайно сложна, она включает 1232 главных дипольных магнита, приблизительно 450 квадрупольных магнитов и несколько тысяч магнитов коррекции, приводящиеся в действие 1612 электрическими схемами. Питающий ток колеблется от 60 А (для малых магнитных корректоров) до 12 кА для главных дипольных квадрупольных магнитов, энергия, сохраненная в сверхпроводящих магнитах, составляет приблизительно 10 ГДж. Для установки и ввода в действие оборудования БАК в туннеле были выполнены и проверены около 80.000 коммутаций тока высокого напряжения.

Система управления БАК

Управление БАК и его предварительными инжекторами осуществляется из единой диспетчерской с помощью объединенной системы управления.

В CERN существуют две сети Ethernet: сеть общего назначения General Purpose Network (GPN) и техническая сеть Technical Network (TN). Первая развернута во всех зданиях CERN с доступом в интернет, вторая предназначена для управления оборудованием и не имеет доступа к интернету. Эта сеть, разбитая на подсети и основанная на гигабитном Ethernet, использует волоконно-оптические каналы связи.

Как показано на рис. 2, у системы управления БАК имеется 3 иерархического слоя управления, объединенного технической сетью CERN с использованием TCP-IP протокола.

Доступ к оборудованию БАК осуществляется через следующие интерфейсные системы:

- Фронтальные (front-end) компьютеры VME. 350 VME-компьютеров добавлены к уже существующим для комплекса PS и SPS 300 крейтам, работающим в режиме реального времени с высокоэффективными средствами сбора данных, которые предоставляют собой разнообразные коммерческие или сделанные в CERN модули ввода/вывода. Эти компьютеры работают под управлением операционных систем реального времени LynxOS так же, как и в PS и SPS, и Red Hat Linux. Главным образом для повышения надежности они бездисковые, и загружаются по сети.

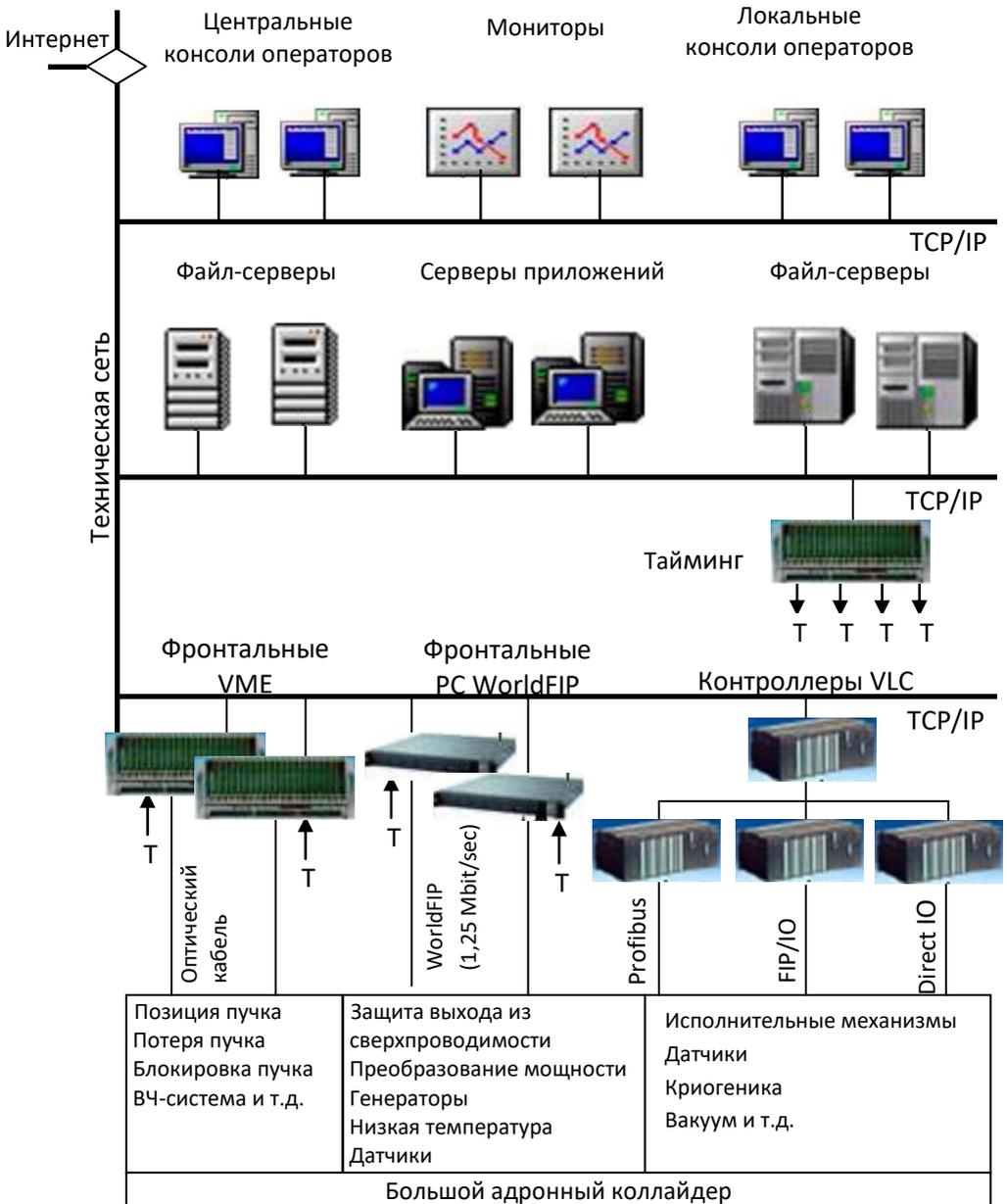


Рис.2. Архитектура системы управления

Как правило, фронтальные VME используются для инструментровки пучка БАК и системы блокировки (interlock) пучка (системы, принимающей в случае нештатной ситуации решение о сбросе пучка).

- Фронтальные промышленные PC с ОС Linux, которые для уменьшения затрат, когда нужна простая функциональность, заменили крейты VME. Приблизительно 250 модульных PC установлены в зданиях БАК. Они, как правило, содержат одну или две интерфейсные платы промышленной шины (fieldbus) и плату синхронизации PCI и связаны с оборудованием в туннеле и подземных областях оптическими кабелями. Через PC-шлюзы соединяются конвертеры мощности и система защиты сверхпроводимости БАК.

- Фронтальные компьютеры PLC, традиционно используемые для управления промышленным оборудованием. В некоторых случаях доступ к PLC осуществляется через VME. В БАК они используются для машинной криогеники, блокировок, вакуума, модуляции и вывода пучка.

- В CERN для БАК используются две промышленные шины: WorldFIP и Profibus.

- WorldFIP выбрана, когда требуется временное разрешение меньше $10\mu\text{s}$, надежность при работе в сложной окружающей среде и высокие скорости передачи данных (1Мбит/с и 2.5 Мбит/с). Она используется для преобразователей мощности БАК, системы защиты выхода из сверхпроводимости Quench Protection System (QPS), контроля температуры криогеники. Инфраструктура WorldFIP состоит из 350 км кабеля, приблизительно 40000 пассивных и 1100 активных элементов, среди которых имеются модули, специально предназначенные для работы в жесткой радиационной окружающей среде.
- Шина Profibus выбрана из-за ее простой конфигурации, большого разнообразия систем удаленного ввода/вывода и интеграции с PLC фирмы Siemens. Ее производительность позволяет использование в качестве инструментальной шины (Profibus-PA) с широким диапазоном продуктов инструментровки Profibus таких, как стандартные средства связи. Она используется для быстрых по-

воротных магнитов, охлаждения и вентиляции, вакуума, криогеники, управления магнитами и блокировок.

Серверы

- Серверы UNIX-приложений среднего уровня системы управления БАК используются для запуска программного обеспечения, хостинга эксплуатационных программ и файлов с данными, а также для выполнения определенных сервисов (веб-службы для операций, дисплеи, серверы систем сбора данных SCADA, серверы базы данных и т.д.). Они работают под управлением ОС Linux. Акцент ставился на надежность аппаратных средств и стоимость их реализации. Для гарантирования целостности данных и устранения ошибок используется RAID массивы. Кроме нескольких больших SUN-компьютеров, используемых для баз данных, обычными серверами являются HP машины типа ProLiant. Приблизительно 50 из них располагаются в управляющем центре CERN Control Center (CCC).

- Система центрального тайминга базируется на системе VME, которая действует как сервер для данных выбора времени и синхронизации всех машин, включая временную отметку данных БАК.

Процессы, запущенные в этих серверах, общаются с фронтальными машинами доступа к оборудованию, используя различные механизмы и протоколы, такие как Common Object Request Broker Architecture (CORBA) и TCP-Modbus.

Пульты операторов и дисплеи

- Как показано на рис. 2, верхний слой системы управления БАК состоит из операционных пультов и дисплеев, которые располагаются в CCC или в технических зданиях. Эти пульты на базе PC с одним или 3 мониторами работают под управлением Linux. Некоторые из них используют Windows, главным образом, для управления сервисами CERN общего технического назначения. Пульты представляют собой интерактивные GUI-приложения, которые запускаются на серверах. Сорок из них расположены в CCC, и столько же расположено в технических зданиях. Они все связаны технической сетью CERN.

Дисплеи показывают статусную информацию о процессах в машине или пучке. Она формируется РС в управляющем центре и распределяется по CERN или сети Ethernet, а также через сети абонентского телевидения.

Две промышленные шины, используемые в ускорителе БАК, а именно, WorldFIP и Profibus, являются частью трех шин, включая VME, рекомендованных в CERN. Они обе поддерживаются внутренним обслуживанием CERN. Эти шины, как правило, позволяют более длинные расстояния и более устойчивые протоколы, чем Ethernet. Кроме того, они - единственные средства соединения оборудования, расположенного в туннеле БАК или других радиоактивных областях.

Шина WorldFIP

Табл. 1 суммирует инсталляционные потребности WorldFIP в БАК. Она выбирается, когда требуются следующие особенности:

- Временное разрешение (до 10μs) для:
 - управления в реальном времени и синхронизации оборудования БАК,
 - распределения времени высокой точности,
 - управления периодическими данными.
- Надежность работы в серьезной окружающей среде и в особенности:
 - сопротивление электромагнитному шуму (уровень 3),
 - хорошее сопротивление высоким радиационным уровням (основанное на стойких полупроводниках и индуктивной связи, гарантирующей гальваническую изоляцию).
- Скорости передачи данных:
 - WorldFIP используется для управления, в основном, распределенными системами БАК на высоких скоростях передачи данных (1 МБит/с и 2.5 Мбит/с),
 - возможный высокий коэффициент нагрузки (70 - 80% сетевой полосы пропускания).

Табл.1. Потребности шины WorldFIP для LHC

Система LHC	Точность времени (мс)	Длина кабеля (км)	Скорость передачи данных
Защита магнитов	1	61	1 MBit/s
Преобразование мощности	0.01	45	2.5 MBit/s
Управление пучком	500	50	31.25 KBit/s
Радио-частота	1	5	1 MBit/s
Охлаждение	500	90	1 MBit/s
Радиационный контроль	1000	44	31.25 KBit/s

Шина Profibus

Profibus была выбрана для использования с оборудованием в БАК, таким как быстрые кикер-магниты, охлаждение и вентиляция, вакуум, криогеника, магниты и блокировка мощности.

Главные причины выбора Profibus для этих применений:

- Надежность протокола и простота конфигурации.
- Большое разнообразие удаленных систем ввода/вывода, доступных с Profibus.
- Простая интеграция с PLCs фирмы Siemens.
- Возможность стойкого к радиации удаленного ввода/вывода на Profibus.
- Использование в качестве инструментальной шины (Profibus-PA) с широким диапазоном предложений продуктов инструментровки Profibus как стандартных средства связи.