

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМ УСКОРИТЕЛЕМ ИЯИ РАН

О.В. Грехов, А.Н. Другаков, Ю.В. Киселев

Институт ядерных исследований РАН, 117312, Москва, Россия

E-mail: grekhov@inr.ru

Рассмотрена история развития и представлено текущее состояние системы управления линейным ускорителем ионов водорода (ЛУ) ИЯИ РАН. Приводятся структурная схема существующей системы управления (СУ) и описание основных этапов ее создания. В 2000 году было официально решено использовать пакет программного обеспечения LabView в качестве основного языка программирования в СУ ЛУ. В настоящее время практически все программное обеспечение системы управления построено на базе LabView. Описываются типовые промышленные устройства ввода-вывода дискретной и аналоговой информации, используемые в настоящее время в СУ ЛУ. Обсуждаются основные принципы и возможности дальнейшего развития системы управления и автоматизации ЛУ.

1. ВВЕДЕНИЕ

Опыт создания и эксплуатации современных ускорителей показывает, что их эффективность, надежность и затраты на эксплуатацию существенно зависят от качества работы системы управления. Расположенный в городе Троицке линейный ускоритель ИЯИ РАН предназначен для получения пучков протонов и отрицательных ионов водорода. В данной работе приведено описание истории развития и представлено текущее состояние системы управления (СУ) указанным ускорителем.

2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Процесс создания и развития системы управления ЛУ ИЯИ РАН условно можно разбить на три этапа:

1. Разработка и ввод в эксплуатацию СУ ЛУ (1973-1995 г.).
2. Исследование и доработка СУ (1996-1999 г.).
3. Модернизация СУ ЛУ (2000-2007 г.).

Разработка проекта системы управления ЛУ ИЯИ проводилась, начиная с 1972 года, Московским радиотехническим институтом. В 1973 году в ИЯИ была организована Лаборатория управления и автоматизации, основной задачей которой являлось участие в разработке и тестировании технических средств, создание алгоритмов и программного обеспечения и ввод в эксплуатацию СУ ЛУ. Для обеспечения указанных работ была разработана модель автоматизированного линейного ускорителя ИЯИ [1]. Работы по приемке оборудования СУ, его монтажу и наладке начались в 1980 году.

Физический запуск первого резонатора линейного ускорителя произошел в 1988 г. [2]. До 1996 года система управления линейным ускорителем была построена по территориально-функциональному принципу [3] и состояла из пяти секторных подсистем (Рис.1), в состав которых, в свою очередь, входили ЭВМ типа СМ 1420 и ряд (до 20 на каждом из секторов) разработанных МРТИ [4] устройств связи с объектом (УСО). Обмен информацией с УСО осу-

ществлялся через устройство ввода-вывода информации (УВВ). Каждое УСО обеспечивало:

- управление от ЭВМ входящими в состав УСО функциональными блоками;
- прием с технологического оборудования линейного ускорителя, запоминание и выдачу в систему управления ускорителем аварийных и главных статусных сигналов;
- прием и преобразование в двоичный код 96 аналоговых сигналов,
- прием и коммутацию на две согласованные линии 28 видеосигналов;
- выдачу серий с программируемым числом импульсов по 64 каналам управления шаговыми двигателями;
- прием и выдачу 128 дискретных сигналов;
- выдачу 16 пар независимых импульсов синхронизации.

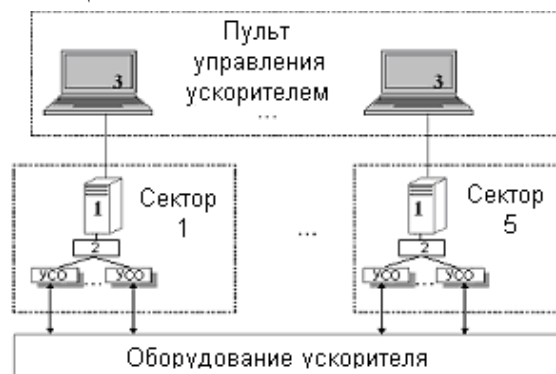


Рис.1. Структурная схема СУ ЛУ в 1980-1995 гг. (1 - ЭВМ СМ1420; 2 - устройство ввода-вывода; 3 - Монитор)

Основными функциями представленной на Рис.1 СУ были:

- измерение основных параметров оборудования высокочастотных ВЧ-каналов ускоряющей системы, системы фокусировки пучка и вакуумной системы;
- установка и управление амплитудой и фазой ВЧ-каналов;
- автоматическое восстановление работоспособности ВЧ-каналов основной части ускорителя;

- управление токами источников питания системы фокусировки;
- регистрация и оперативная диагностика причин возникновения аварийных и предаварийных ситуаций.

Все секторные компьютеры работали под управлением операционной системы RSX-11M с программным обеспечением, написанным на языках Ассемблер и Фортран.

Рассмотренная выше система не обеспечивала быстрого оперативного измерения, обработки и наглядного графического представления основных параметров пучка заряженных частиц и распределения его потерь вдоль ускорителя. А, как известно, обеспечение радиационной чистоты является одним из основных требований, предъявляемых к сильноточным ускорителям. Потери пучка на ЛУ ИЯИ измеряются с помощью фотоэлектронных умножителей (ФЭУ-30 и ФЭУ-115) и нейтронных датчиков (УДБН-02Р). Автоматизацию системы измерений основных параметров и потерь пучка, проводимую в 1996-1999 годах, было решено осуществлять на основе применения появившихся к этому времени персональных компьютеров (ПК) на базе 486 процессора и использования модулей в стандарте КАМАК. ПК работали под управлением операционной системы Windows95 и были объединены в локальную сеть (Рис.2). Прикладные программы были написаны на языке С.



Рис.2. Структурная схема СУ ЛУ в 1996-2000 гг. (1 – ЭВМ СМ1420; 2 – УВВ; 3 – Монитор; 4 – компьютер с 486 процессором; 5 – крейт КАМАК)

В 2000 году было принято очень важное решение для системы управления ЛУ ИЯИ, которое определило всю ее дальнейшую судьбу. Дело в том, что в Отделе ускорительного комплекса практически не осталось квалифицированных программистов, а число остальных специалистов по системе управления ЛУ заметно уменьшилось (Рис.3). Поэтому было решено при дальнейшей модернизации системы управления использовать платы ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов и пакет программного обеспечения LabView компании National Instruments (NI) в качестве основного языка программирования в СУ ЛУ.

В 2000-2002 годах была осуществлена замена старых секторных компьютеров СМ1420 на новые ПК с

операционными системами фирмы Microsoft, которые выполняют функции контроллера УСО, и на их базе осуществлена модернизация управления системой фокусировки ускорителя [5] и ВЧ-каналами начальной и основной частями ЛУ. Для сопряжения ПК с УВВ и УСО были использованы платы ввода-вывода дискретных сигналов NI DIO96, применение которых, как минимум на порядок, позволило поднять скорость обмена информацией с УСО. Одновременно все компьютеры СУ были включены во вновь созданную локальную сеть системы управления ускорителем.

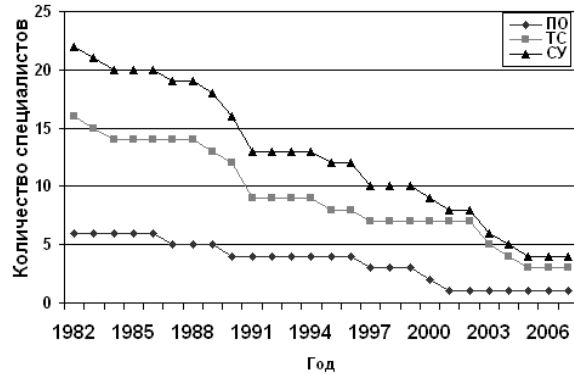


Рис.3. Динамика численности специалистов по программному обеспечению (ПО) и техническим средствам (ТС) системы управления ускорителем (СУ – общее количество специалистов)

Все прикладное программное обеспечение (ППО) разработано с использованием пакета графического программирования LabView. В качестве примера на Рис.4 представлена конфигурация ППО контроллера УСО.

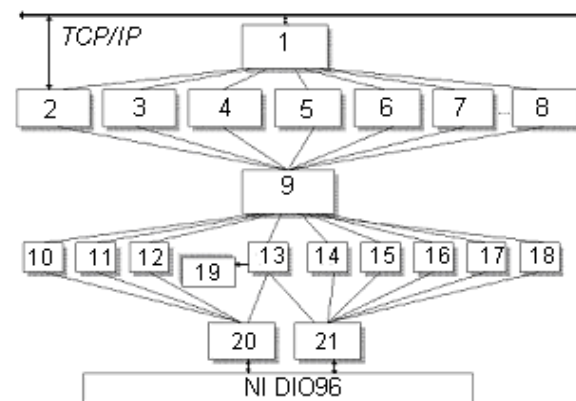


Рис.4. Конфигурация специального прикладного программного обеспечения компьютера, который управляет работой УСО:

- 1- сервер управления;
- 2- сервер команд;
- 3- программа включения-отключения оборудования системы управления;
- 4- тестирования оборудования системы управления;
- 5 - восстановления работы ВЧ-каналов при их отключении;
- 6 - контроля за работой вакуумной системы;
- 7 - контроля и управления параметрами ВЧ-систем;
- 8 - пакет программ управления системой фокусировки;
- 9 - сервер управления УСО;
- 10 - вывода дискретной информации;
- 11 - управления шаговыми двигателями;
- 12 - управления сигналами синхронизации;
- 13 - регистрации считываемых параметров и ошибок работы с УСО;
- 14 - ввода дискретных сигналов

лов; 15 - синхронного считывания и преобразование аналоговых сигналов; 16 - синхронного ввода дискретных сигналов; 17 - считывание информации о параметрах сигналов синхронизации; 18 - коммутация видеосигналов; 19 - массив данных; 20 - программа записи данных в порт платы NI DIO96; 21 - программа чтения информации из порта платы NI DIO96

Ядром ППО контроллера УСО является программа, названная сервером управления УСО. Ее задачей является:

- запуск сервера команд (предназначенного для работы с оборудованием сектора с любого из компьютеров сети управления в режиме запрос-ответ) и остальных необходимых программ работы с оборудованием ускорителя (осуществляющих ввод-вывод информации через УСО);
- передача в сеть по протоколу TCP/IP всей собранной с помощью УСО за выбранный промежуток времени информации.

Одним из недостатков УСО являлось невозможность одновременного измерения большого количества быстроменяющихся параметров. Поэтому для решения задач управления и автоматизации различными системами ускорителя (такими, например, как системы измерения параметров пучка на различных участках ускорителя, сигналов с нейтронных датчиков и датчиков системы измерения потерь пучка, импульсных сигналов в ВЧ-системах и т. д.) были использованы компьютеры с PCI и USB платами компании National Instruments. К числу этих плат относятся, в частности, NI PCI 6071E, NI PCI 5102, NI PCI 6031E, NI PCI 5112, NI PCI 6259M, NI USB 6259M, NI USB 6009 [6] и другие.

3. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Структурная схема существующей в настоящее время системы управления ЛУ представлена на Рис.5.

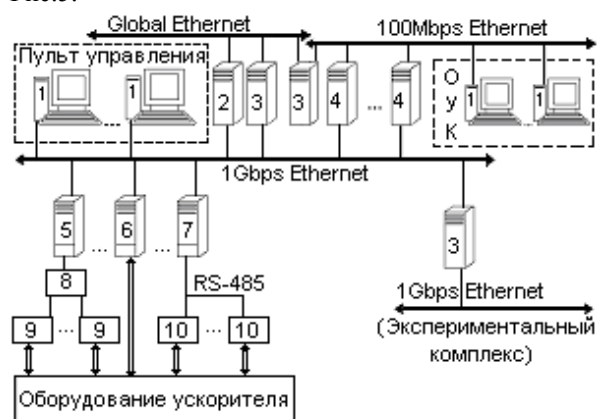


Рис.5. Структурная схема системы управления ЛУ по состоянию на 2007 год.

1-клиентские компьютеры; 2-Web-сервер; 3-шлюз; 4-серверы верхнего уровня СУ; 5-сервер УСО с платой NI DIO96; 6-сервер оборудования ускорителя с различными (от 1 до 4-х) платами NI; 7-сервер оборудования с платой последовательного интерфейса (NI USB-485-2 или аналогичной ей); 8-VBB; 9-УСО;

10-различное промышленное оборудование с интерфейсом RS-485, такое, например, как источники стабилизированного питания, микропроцессорные регуляторы и т.д.; ОУК-персональные компьютеры сотрудников Отдела ускорительного комплекса

В состав СУ ЛУ входит около 30 компьютеров с различными платами NI, которые выполняют функции серверов или контроллеров оборудования ускорителя. Первоначально это были обычные персональные компьютеры с шиной PCI, а последние шесть, полученные в последние два года – промышленные компьютеры.

В качестве операционных систем на серверах оборудования используются Win98, 2K и XP. Все компьютеры СУ ЛУ объединены между собой с помощью высокоскоростной (скорость передачи информации 1 Гб в сек.) локальной сети Ethernet. Клиентские компьютеры, расположенные в пультной ЛУ, получают по сети и обеспечивают операторов ЛУ всей необходимой для управления ускорителя информацией.

Фотография пульта управления ЛУ представлена на Рис.6.



Рис.6. Пульт управления линейным ускорителем

Обобщенная информация о работе ЛУ выдается в глобальную сеть с помощью Web-сервера.

На всех компьютерах Отдела ускорительного комплекса, не входящих в состав СУ ЛУ, доступна полная информация о работе ускорителя и его параметрах. Указанная информация поступает к ним с соответствующих серверов верхнего уровня, таких, например, как:

- сервер данных (о параметрах оборудования систем и установок ЛУ и пучков заряженных частиц),
- сервер регистрации и анализа событий (в том числе и в аварийных и предаварийных ситуациях) [7] и т.д.

Обмен необходимой оперативной информацией между системами управления ЛУ и установками экспериментального комплекса осуществляется через соответствующий компьютер, выполняющий функции шлюза.

4. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Основными направлениями развития системы управления ЛУ на ближайшее время являются:

- обеспечение управления ЛУ при одновременном ускорении двух пучков (протонов и H⁻);

- создание и использование в режиме on-line различных моделей работы оборудования ускорителя и динамики пучка в ЛУ;
- обеспечение возможности контроля и управления при ускорении пучков с длительностью импульса менее 1 мкс;
- развитие серверов приложений;
- расширение применения интерфейса RS-485 для автоматизации медленных процессов [8];
- диагностика основных параметров пучка на установках экспериментального комплекса;
- модернизация системы быстрой аварийной защиты ускорителя и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. О.Я. Грицына и др. *Модель автоматизированного линейного ускорителя мезонной фабрики*: Препринт П-028. Москва, ИЯИ АН СССР, 1976.
2. Yu.V. Bylinsky, et al. Initial Operation of the First 20 MeV Tank of the INR Linac // *Proc. of the 1989 IEEE Particle Acc. Conf.* Chicago, March 20-23, 1989, v.2, p.1411-1413.
3. О.Я. Грицына и др. *Управление ускорителем мезонной фабрики*: Препринт П-025, Москва: ИЯИ АН СССР, 1976.
4. *Ускорительный комплекс для физики средних энергий (мезонная фабрика)* / Под ред. Б.П. Мурина. Москва: Труды Радиотехнического института, 1974, №16.
5. O.V. Grekhov and al. Focusing System Control Upgrade of MMF LINAC // *Problems of Atomic Science and Technology. Series "Nuclear Physics Investigations"*. 2001, N 3, p.113-115.
6. *Measurement and Automation. Catalog 2006*. National Instruments, 2006.
7. A.N. Drugakov and al. Event Registration System for INR LINAC // *Problems of Atomic Science and Technology. Series "Nuclear Physics Investigations" (46)*. 2006, N 2, p.106-107.
8. O. Grekhov. IST Distributed DAQ System for INR Linac // *Proceedings of RuPAC*. 2006, Novosibirsk, Russia p. 261-263. <http://www.jacow.org>

CONTROL SYSTEM OF THE INR LINAC

O. Grekhov, A. Drugakov, Yu. Kiselev

The history and current status of the control system for the INR linear accelerator of beams of hydrogen ions is presented. The block diagram of the linac control system and the description of main automated manufacturing step is considered. In 2000 we have officially decided to use LabView as the software language for control system of INR linear accelerator. Now all application software is based on LabView. Commercial hardware of the control system is described also. The key approach and further development on the control system and the accelerator automation is discussed.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЛІНІЙНИМ ПРИСКОРЮВАЧЕМ ІЯД РАН

О.В. Грехов, А.Н. Другаков, Ю.В. Кисельов

Розглянуто історію розвитку і представлено поточний стан системи керування лінійним прискорювачем іонів водню (ЛП) ІЯД РАН. Приводяться структурна схема існуючої системи керування (СК) і опис основних етапів її створення. В 2000 р. було офіційно вирішено використати пакет програмного забезпечення LabView як основної мови програмування в СК ЛП. Зараз практично все програмне забезпечення системи керування побудовано на базі LabView. Дано опис типових промислових пристроїв вводу-виводу дискретної і аналогової інформації, що використовуються в цей час у СК ЛП. Обговорюються основні принципи і можливості подальшого розвитку системи керування і автоматизації ЛП.