

ПРОЕКТ НОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛИНАК-200

*М. А. Ноздрин^{а,1}, В. В. Кобец^а, Р. В. Тимонин^а, А. Н. Трифонов^а,
Г. Д. Ширков^а, А. С. Жемчугов^а, И. И. Новиков^б*

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

^б Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Гамбург, Германия

В Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (Дубна) ведутся работы над созданием экспериментальной установки с электронными пучками, основанной на ускорителе МЕА, переданном в ОИЯИ из НИКНЕФ в начале 2000-х гг. Несмотря на длительное время работы ускорителя, он находится в хорошем состоянии и имеет значительный рабочий ресурс. В настоящее время идет наладка ускорителя, получен первый пучок с энергией 200 МэВ. Управление ускорителем осуществляется с помощью ряда независимых подсистем, создававшихся по мере возникновения необходимости. Управление и мониторинг части систем (вакуумной, например) осуществляется локально. Для работы ускорителя в качестве пользовательской установки, однако, требуется глобальная система управления. Требования к этой системе сформулированы в данной статье. Рассмотрены ключевые вопросы управления ускорителем и его вспомогательными системами (охлаждения, вакуумной и т. п.). Представлен проект новой системы управления Линак-200, основанной на TANGO.

A facility for measurements with test electron beams is being created at the Dzhelpev Laboratory of Nuclear Problems of the Joint Institute for Nuclear Research (Dubna, Russia). Its key part is the electron linac based on the MEA accelerator, which was transferred from NIKHEF to JINR at the beginning of 2000s. Despite the long service life of the accelerator, it is in good condition and still has a significant operation potential. Currently the linac is being commissioned, the first 200 MeV beam has been obtained. For now, the machine is being controlled by a set of standalone subsystems which were created as required. Certain systems (e.g. vacuum) are controlled and monitored locally. However, for its operation as a facility for users, the global control system is required. The user and system requirements are summarized in this paper. The key parameters to control the accelerator and its auxiliary (vacuum, cooling etc.) systems, as well as the beam diagnostics equipment are considered. The design of the new TANGO-based control system of the Linac-200 accelerator is presented.

PACS: 07.05.Dz

ВВЕДЕНИЕ

Линак-200 представляет собой линейный ускоритель электронов на энергию до 200 МэВ. Назначение ускорителя — проведение научно-методических исследований в области физики и техники ускорителей, для разработки и создания детекторов элементарных частиц Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и прикладных исследований.

¹E-mail: nozdrin@jinr.ru

Ускоритель состоит из инжектора, группирователя и четырех ускорительных станций (A01–A04) [1]. В будущем планируется установка еще девяти ускорительных станций (A05–A13), что позволит увеличить энергию электронов до 800 МэВ. После каждой из станций будет организован вывод пучка для пользователей.

1. ОБЩАЯ СТРУКТУРА

Основными объектами управления на ускорителе являются:

- вакуумная система;
- магниты, фокусирующие и корректирующие;
- электронная пушка;
- система термостабилизации;
- система синхронизации;
- СВЧ-система: задающий генератор, предусилитель, диагностика падающей и отраженной волн;
- ускоряющая система: статус, формирователи импульсов.

Помимо этого, система управления должна иметь доступ к информации от диагностических устройств и системы радиационного контроля и включать в себя систему блокировок и сигнализаций о нештатных ситуациях.

2. TANGO Controls

Для реализации централизованной системы управления был выбран инструментарий TANGO Controls [2]. Его достоинства приведены ниже.

- Бесплатность. Это свободный инструментарий с открытым исходным кодом.
- Проработанность. TANGO имеет более чем 20-летнюю историю, разработкой системы занимается коллаборация, в которую входят более 50 организаций и более 500 человек [3].
- Значительное число вспомогательных программ для генерации кода, администрирования и т. п.
- Кроссплатформенность и поддержка нескольких языков программирования как для серверных, так и для клиентских приложений.
- Проработанный API.
- Масштабируемость.
- Значительное количество готовых классов устройств в репозитории (здесь, впрочем, надо отметить, что значительная их часть подходит только в качестве образца для написания собственных по причине, например, основанности на библиотеках, используемых в конкретном институте-разработчике).
- Имеющиеся наработки в ОИЯИ в связи с тем, что инструментарий TANGO выбран в качестве основного для создания системы управления коллайдера NICA.

3. ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

3.1. Вакуумное оборудование. 3.3.1. *Источники питания магнитоэлектронных насосов.* На ускорителе используются следующие источники питания:

• Используемые на MEA (возможность удаленного управления отсутствует, однако имеется возможность мониторить рабочий ток, а следовательно, и величину вакуума):

— Varian 929-0172, в настоящее время через разветвители DIGEL обеспечивают питанием большую часть насосов. Информация о рабочем токе снимается с разветвителя и представляет собой аналоговый сигнал с амплитудой 0–5 В.

— Varian 929-0062, используются для питания насосов, откачивающих клистроны. Информация о рабочем токе также представляет собой аналоговый сигнал, однако амплитуда его составляет 0–100 мВ.

• В будущем планируется заменить все блоки Varian 929-0172 с разветвителями на современные Agilent 4UHV, каждый из которых позволяет обеспечивать питанием до четырех насосов. Эти блоки поддерживают удаленное управление и мониторинг через RS-485 и Profibus.

3.3.2. Вакуумметры. Используются вакуумметры Pfeiffer TPG 300 и аналогичные им Balzers TPG 300. Контроль вакуума осуществляется через аналоговые выходы на платах CP300, амплитуда сигнала составляет 0–10 В.

3.3.3. Организация управления. Управление вакуумной системой будет организовано на базе оборудования V&R. В пультовой будет установлен программируемый логический контроллер (ПЛК) серии X20, на каждой ускорительной станции — корзина с набором модулей с необходимым количеством аналоговых входов для работы с вакуумметрами и блоками питания использовавшихся на MEA насосов. Также будет предусмотрено необходимое количество цифровых входов и выходов для управления подсистемой запорного оборудования, на данный момент находящейся на стадии проектирования. Новые блоки питания насосов Agilent 4UHV будут включены в состав системы управления через сеть Profibus посредством соответствующего модуля в ПЛК.

3.2. Магнитная система. Сводная информация по магнитам на ускорителе приведена в таблице. В таблицу не включены поворотные дипольные магниты для пьезоэлектрических выводов пучка, параметры которых будут определены после их расчета.

Основными объектами управления являются корректирующие, квадрупольные и дипольные магниты. Остальные магниты работают на фиксированных параметрах, и удаленное управление ими не предусмотрено. По управлению корректорами и квадрупольными рассматривается два подхода.

• Использование текущих источников питания (Kogad KA6003P и KA3005P), у которых из интерфейсов в наличии имеются USB и RS-232. Следовательно, потребуется приобретение переходников RS-232 в RS-485. Рассматривается также вариант хабов, позволяющих подключать несколько устройств RS-232 по Ethernet или RS-485.

• Приобретение новых источников с возможностью контроля по Ethernet. Основные рассматриваемые в настоящий момент модели — Актаком APS-7306L, OWON ODP3063 и Kogad KWR103.

3.3. Система синхронизации. Текущая система синхронизации основана на конструктиве КАМАК, что с течением времени приводит к все большим потенциальным проблемам в случае выхода из строя какого-то из блоков. В связи с этим требуется новая система, которая была бы основана на современном оборудовании, позволяла задавать длительность синхроимпульса и его задержку относительно мастер-импульса, имела бы модульный конструктив; и желательно отсутствие необходимости

Сводка по магнитам ускорителя

Магниты	Количество каналов		Напряжение, В	Ток, А
	Линак-200	Линак-800		
Фокусировка				
Катушки клистронов	13	40	250	10
Линзы на инжекторе	2	2	30	1
Соленоиды банчера	3	3	100	5
Соленоиды секций	9	9	500	5
Квадруполи	4	22	40	3
Корректировка				
Корректор перед банчером	2	2	150	3
Корректор после банчера	2	2	50	3
Остальные корректоры	16	34	10	3

разрабатывать ПО для включения в глобальную TANGO-систему. Ведется проработка вариантов, на данный момент наиболее перспективным видится вариант аналогичной системы, разрабатываемой в ОИЯИ для коллайдера NICA.

3.4. Прочие системы

- Аппаратная часть системы управления *электронной пушкой* [4] не изменится, программно же вместо операторской программы GunCtrl будет написан соответствующий класс устройства для включения в глобальную систему управления на базе TANGO.

- Имеющиеся станции *системы термостабилизации* планируется заменить на промышленные производства Huber [5]. Окончательное решение о том, каким образом будет организовано их включение в глобальную систему управления, будет приниматься после выбора конкретного модуля термостабилизации.

- Все элементы *СВЧ-системы* — задающий генератор АКПП-7SG384, предусилитель DIALTEK УМП-245-300 [6], платы сбора данных Red Pitaya STEMlab 125-14 — взаимодействуют с системой управления через Ethernet и соответствующие классы устройств TANGO.

- Управление *ускоряющей системой* осуществляется через контроллеры «Велтек» [7], взаимодействующие с верхним уровнем системы управления через RS-485 по протоколу Modbus RTU.

4. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НА TANGO

В качестве основного языка для написания как серверных, так и клиентских приложений системы управления был выбран C++ в целях большей формализации кода (и, следовательно, упрощения отладки) и производительности. Соответственно, среди нескольких инструментариев для построения клиентских приложений был выбран QTango [8] — фреймворк, основанный на C++/Qt. Разработаны класс устройства и клиент на QTango (рис. 1) для управления задающим генератором АКПП-7SG384.



Рис. 1. Клиентское приложение для задающего генератора АКПП-7SG384

5. СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Взамен имевшейся обособленной программной части [9] разработано совместимое с TANGO ПО. Основными элементами являются демон и TANGO-сервер, взаимодействующие при помощи стандартных средств межпроцессовых коммуникаций ОС Linux. Демон требуется для возможности автономной работы системы с целью повышения надежности и отвечает за взаимодействие с детекторами, перевод показаний гамма-детекторов из счета в дозу, внесение показаний в архивную базу данных и поддержание актуальности файла разделяемой памяти, из которого забирает данные TANGO-сервер. Изменение конфигурации датчиков происходит через соответствующую

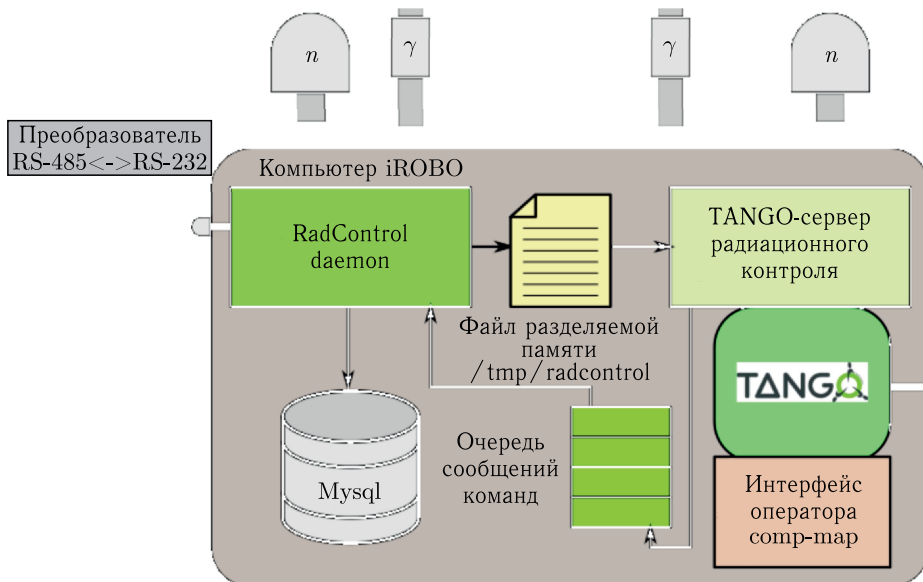


Рис. 2. Принципиальная схема модернизированной системы радиационного контроля

щую команду демону, посылаемую через очередь сообщений Linux. Принципиальная схема системы представлена на рис. 2.

Реализованы также сигнал состояния «компьютер СРК включен» для существующей системы блокировок [9] с помощью программируемого реле и считывание сигнала «двери закрыты» и «ключ в гнезде» с системы блокировок [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ноздрин М. А.* Комплекс аппаратно-программных средств управления и диагностики для ускорителя электронов Линак-200 и прототипа фотоинжектора ОИЯИ. Дис. ... канд. техн. наук. Дубна: ОИЯИ, 2018.
2. TANGO Controls. <https://www.tango-controls.org/>.
3. Community/Tango Controls. <https://www.tango-controls.org/community/>.
4. *Balatykin N. I., Minashkin V. P., Nozdrin M. A., Shirkov G. D.* Control System of Injector for Linear Electron Accelerator LINAC-800 // Phys. Part. Nucl. Lett. 2010. V.7, No.7. P. 525–528.
5. Huber Kältemaschinenbau AG. <https://www.huber-online.com/>.
6. DIALTEK. <http://dialtek.org>.
7. ООО «Велтек». <http://www.weltek.ru/>.
8. *Strangolino G., Asnicar F., Forchi V., Scafuri C.* QTango: A Library for Easy TANGO Based GUIs Development // Proc. of the 12th Intern. Conf. on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPCS2009), Kobe, Japan, Oct. 12–16, 2009. P. 865–867.
9. *Balatykin N. I., Minashkin V. P., Nozdrin M. A., Shirkov G. D., Schegolev V. Y.* On Radiation Protection at the LINAC-800 Linear Electron Accelerator // Phys. Part. Nucl. Lett. 2012. V. 9, No. 4–5. P. 452–455.
10. *Новиков И. И.* Разработка системы управления установкой Линак-200 на основе SCADA-системы TANGO-Controls. Бакалавр. работа. Дубна, 2017.