

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ИНЖЕКТОРА ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЛИНАК-800

*Н. И. Балалыкин, В. Ф. Минашкин, М. А. Ноздрин, Г. Д. Ширков*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Описана система управления и контроля инжектора линейного ускорителя электронов ЛИНАК-800. Представлена архитектура системы управления, состав аппаратуры и программное обеспечение. Данная система является частью первой очереди системы управления электронного ускорителя ЛИНАК-800.

The control system for the injector of linear accelerator of electrons LINAC-800 is described. The architecture of the control system, structure of equipment and the software are presented. The given system is a part of the first turn of the control system of electronic accelerator LINAC-800.

PACS: 29.20.Ej

### ВВЕДЕНИЕ

Электронный линейный ускоритель ЛИНАК-800 базируется на части ускорительного комплекса, который безвозмездно передан в ОИЯИ нидерландским Институтом ядерной физики и физики высоких энергий (NIKHEF, Амстердам). Линейный ускоритель НИКНЕФ, так называемый ускоритель на средние энергии (Medium Energy Accelerator — MEA), был разработан корпорацией «Haimson Research Corporation» (США) в 1969–1974 гг., построен в 1975–1978 гг. и запущен в работу с пучком в 1978 г. [1]. Анализ состояния ускорительного оборудования MEA показал, что требуется полная модернизация только системы управления. Все остальное оборудование находится в хорошем состоянии и имеет значительный рабочий ресурс.

На основе ускорителя ЛИНАК-800 в настоящий момент реализуется ряд задач. В частности, создается комплекс лазеров на свободных электронах (ЛСЭ). Конструкция ускорителя предусматривает отвод пучка с энергией в диапазоне от 15 до 150 МэВ. Извлеченный пучок с энергией в этом диапазоне может быть использован для генерации инфракрасного и ультрафиолетового излучения ЛСЭ. Пучок с максимальной энергией до 800 МэВ позволит создать ЛСЭ с длиной волны в области вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена.

В связи с участием ОИЯИ в международной коллаборации по сооружению ИЛС (International Linear Collider) [2] на базе ускорителя ЛИНАК-800 создается стенд для решения ряда задач: тестирования ускоряющих структур и средств диагностики пучка, создания на базе ускорительного оборудования (источников питания, модуляторов, клистронов,

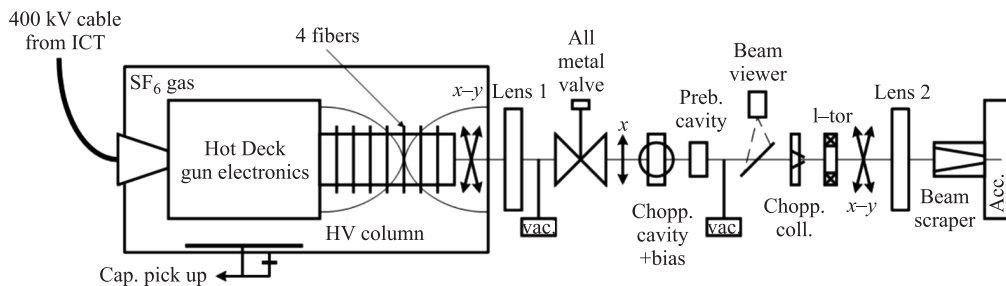


Рис. 1. Схема инжектора линейного ускорителя электронов ЛИНАК-800

ускорительных трактов и т.д.) элементов прототипа фотоинжектора и их исследования, изучения радиационной стойкости материалов и т.д.

Готовятся предложения по созданию на ЛИНАК-800 экспериментальной установки с объемным лазером на свободных электронах (ОЛСЭ) [3].

Линейный ускоритель электронов ЛИНАК-800 имеет на выходе энергию электронов до 800 МэВ и ток 40–60 мА, частоту повторения импульсов 10–250 Гц и длительность импульсов тока 2–3,5 мкс. Структурно линейный ускоритель состоит из инжектора и 23 ускорительных секций (или 14 ускоряющих станций). Длина ускорителя составляет 200 м. Инжектор (рис. 1), в свою очередь, состоит из электронной пушки и группирователя (чоппера, пребанчера и банчера).

## 1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКОЙ

Основным элементом инжектора ЛИНАК-800 является электронная пушка [4]. Пушка триодного типа, с постоянным высоким напряжением на катоде, «заземленным» анодом и управляющим электродом. Пушка размещена в танке, наполненном элегазом (гексафторидом серы)  $SF_6$  под давлением около 6 атм для повышения электрической прочности. В электронной пушке используется импрегнированный (impregnated cathode) катод (вольфрам с 20 % окислов бария, кальция и алюминия). Катод имеет диаметр 8 мм, и эмитирующая поверхность составляет  $0,5 \text{ см}^2$ . Накал катода косвенный, диапазон рабочих значений токов и напряжений находится в пределах от 6,5 В/4А до 8,8 В/5А. Ресурс работы катода составляет 15–20 тыс. ч.

Катод крепится на конце высоковольтной колонны — высоковольтного проходного вакуумного многосекционного изолятора, разделяющего вакуумный объем ускорительного тракта и газонаполненный объем танка, в котором размещена высоковольтная часть катодной электроники. Электронно-оптическая система пушки (рис. 2) образована управляющим электродом и системой из 15 анодов с принудительным резистивным ( $R = 200 \text{ МОм}$ ) распределением потенциала (примерно 30 кВ на промежутки). На первый фокусирующий анод подается постоянное напряжение, регулируемое в пределах 8–20 кВ. Катодный модулятор собран по каскадной схеме генератора Маркса, где накопительные конденсаторы заряжаются параллельно, а разряжаются посредством управляемых ключей последовательно на нагрузку — управляющий электрод (extractor electrode). Выходное напряжение с модулятора от  $-400 \text{ В}$  до  $+5 \text{ кВ}$ , длительность импульса от 200 нс до

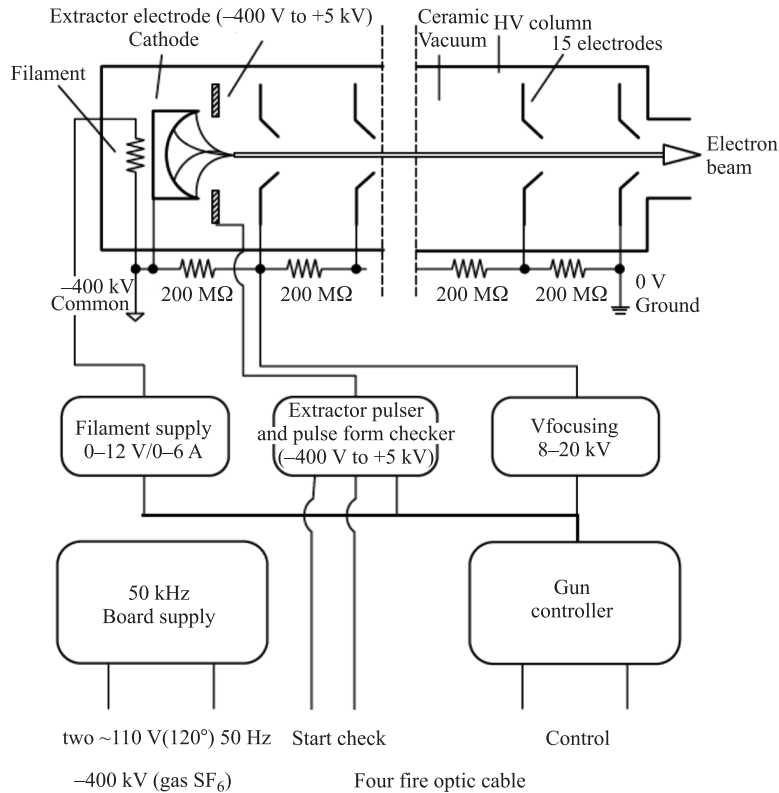


Рис. 2. Схема электронно-оптической системы пушки ЛИНАК-800

50 мкс, стабильность амплитуды лучше 0,1 %, максимальная частота повторения импульсов до 500 Гц. Внутри танка на конце высоковольтной колонны смонтирована консоль с блоками катодной электроники [5]. Весь блок катодной электроники «подвешен» под высокое напряжение  $-400$  кВ. Выходная энергия электронов составляет около 400 кэВ, пиковый ток пучка 0,3–0,4 А.

Система управления электронной пушкой состоит из следующих основных частей (рис. 3):

- источник ICT (Insulating Core Transformer), обеспечивающий высоковольтное катодное напряжение со стабильностью  $10^{-4}$ – $10^{-5}$ ;
- катодная электроника;
- компьютер с соответствующим программным обеспечением (программа GunCtrl, позволяющая оператору задавать опорные напряжения для накала катода, первого фокусирующего электрода и отпирающего электрода, а также контролировать напряжение и ток накала катода, напряжение первого фокусирующего электрода, давление и температуру элегаза SF<sub>6</sub>, напряжение питания и состояние двух вентиляторов охлаждения катодной электроники);
- линия связи (оптоволоконные кабели и преобразователи интерфейсов);
- синхронизатор, выдающий управляющие сигналы с привязкой к питающей сети;

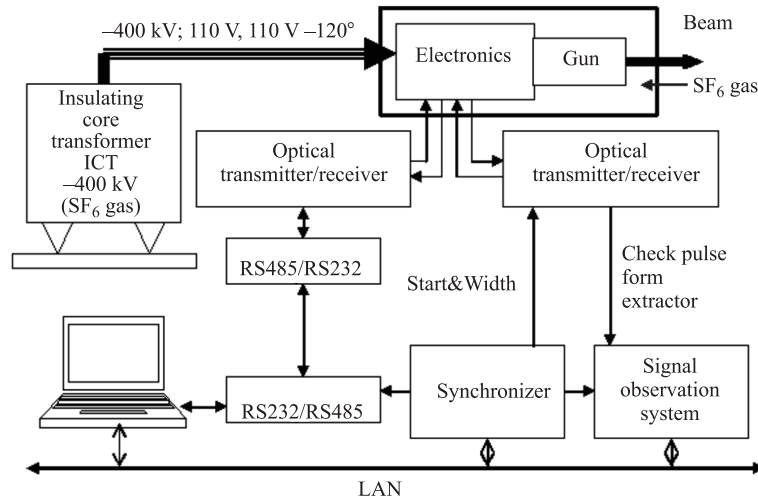


Рис. 3. Схема системы управления электронной пушкой ЛИНАК-800

- система наблюдения видео- и аналоговых сигналов, предназначенная для диагностики параметров пучка (тока, положения, профиля).

## 2. СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Для обеспечения безопасности персонала при эксплуатации ускорителя в штатных режимах и при возникновении аварийных ситуаций разработана система радиационного контроля (рис. 4). В настоящее время создана первая очередь системы дозиметрического контроля, обеспечивающая контроль радиоактивной обстановки по гамма- и нейтронному излучению.

К системе радиационного контроля ускорителя ЛИНАК-800 предъявляются следующие требования [6]:

- автоматическое измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, мощности эквивалентной дозы нейтронов в зале ускорителя, экспериментальных залах и прилегающих технологических помещениях;
- сбор информации с детекторов и оперативное отображение информации на экране монитора оператора системы;
- обработка и создание архива данных о радиационном фоне на ускорительном комплексе;
- тестирование детекторов и каналов регистрации;
- приведение в действие сигнализирующих и блокирующих устройств;
- оперативное управление параметрами элементов системы и защита от несанкционированных действий оператора;
- локализация потерь пучка как во времени, так и в пространстве.

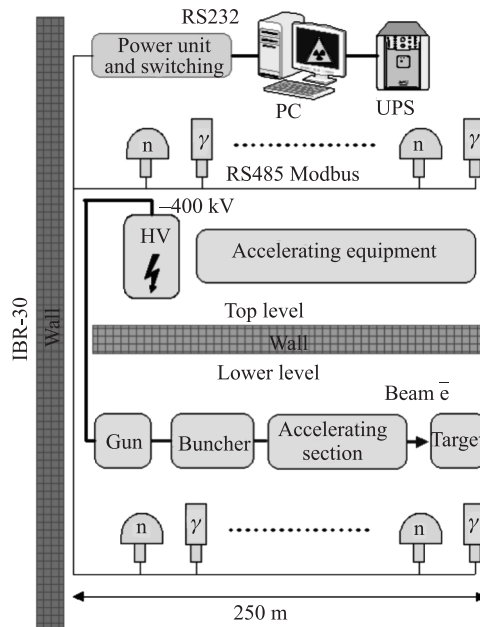


Рис. 4. Схема системы радиационного контроля ЛИНАК-800

С учетом приведенных требований была реализована первая очередь системы радиационного контроля, включающая в себя

- блоки детектирования сцинтилляционные БДС-1М-63 × 63 [7] (диапазон регистрируемых энергий фотонного излучения 0,16–5 МэВ);
- устройства детектирования нейтронного излучения УДБН-01-01 [8] (диапазон измерения мощности амбиентного эквивалента дозы 0,1–10<sup>4</sup> мкЗв/ч; диапазон регистрируемых энергий 10<sup>-3</sup>–14 МэВ);
- блок питания и коммутации БПК-02 [9];
- компьютер с устройством бесперебойного питания;
- программное обеспечение RadControl;
- последовательную линию связи RS-485.

### 3. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЯ ВИДЕО- И АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Данная система разработана для диагностики параметров пучка (тока, положения, профиля) и общего контроля происходящего в зале ускорителя (рис. 5).

На данный момент система включает в себя следующие элементы:

- цифровую видеокамеру Aviosys IP Camera 9000 — для наблюдения профиля пучка на люминесцентном экране;
- цифровую видеокамеру Aviosys IP Camera 9060A — для общего наблюдения за залом ускорителя;

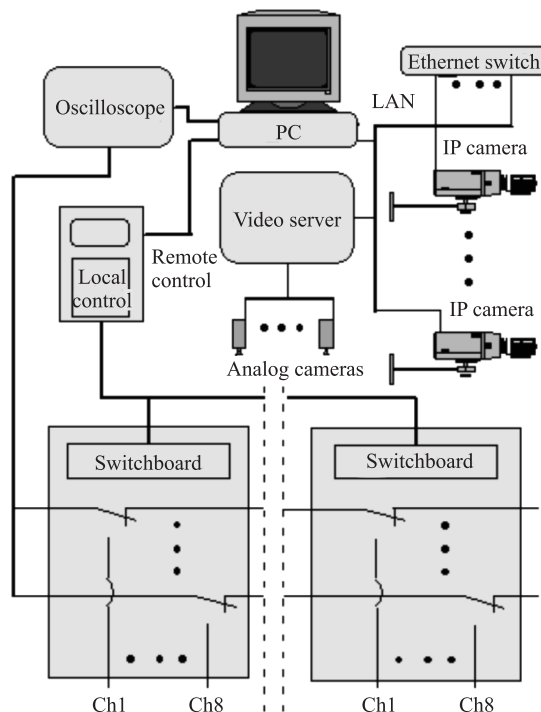


Рис. 5. Схема системы наблюдения сигналов

- цилиндр Фарадея — для измерения тока пучка;
- пояс Роговского — для измерения тока пучка.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы была создана система управления и контроля инжектора линейного ускорителя электронов ЛИНАК-800. Данная система является частью первой очереди системы управления ускорителя ЛИНАК-800. С помощью данной системы зимой 2009 г. был осуществлен физический пуск инжектора ускорителя ЛИНАК-800. Получен ток на выходе электронной пушки 30–40 мА с длительностью импульса 2–3 мкс.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kroes F. B. «Electron Linac MEA» Compendium of Scientific Linacs // LINAC96 Conf., Geneva, Aug. 22–29 1996.
2. International Linear Collider GDE Official Page, <http://www.linearcollider.org>
3. Baryshevsky V. G. et al. // Nucl. Instr. Meth. B. 2006. V. 252. P. 86–91.

4. Kroes F. B. Improvement of the 400 kV Linac Electron Source of AmPS. EPAC. Berlin, 1992. P. 1032–1034.
5. van Es J. T. et al. Injector Besturings Elektonika (HotDeck). NIKHEF, Amsterdam. DIGEL 92/7.
6. ДЭЛСИ Фаза1: Линак-800 и лазеры на свободных электронах. Технический проект ОИЯИ. 2005.
7. Блок детектирования сцинтиляционный БДС-1М-63×63. Паспорт. Научно-произв. центр «Аспект», 2007.
8. Устройство детектирования нейтронного излучения УДБН-01-01. Паспорт. Научно-произв. центр «Аспект», 2007.
9. Блок питания и коммутации БПК-02. Паспорт. Научно-произв. центр «Аспект», 2007.