

УДК 53.08.4

СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НОВОСИБИРСКОГО ЛСЭ

© 2019 г. Т. В. Саликова¹, *, Н. А. Винокуров¹, М. В. Петриченков¹, А. В. Репков¹,
В. Я. Чудаев¹, О. А. Шевченко¹, В. В. Экста¹

¹Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

*E-mail: T.V.Salikova@inp.nsk.su

На установке ЛСЭ система оперативного радиационного мониторинга регистрирует уровни излучений в рабочих помещениях и в ускорительном зале. Собранная информация хранится в базе данных; визуализация данных осуществляется в режиме реального времени. Блоки детектирования, установленные в ускорительном зале, используются как для мониторинга уровней радиации, так и для слежения за потерями ускоренных электронов из пучка на стенках вакуумных камер трактов транспортировки.

DOI: 10.1134/S0367676519020248

ВВЕДЕНИЕ

Мощный лазер на свободных электронах (ЛСЭ) Сибирского центра фотохимических исследований предназначен для научных и технологических применений [1–3]. На рис. 1 приведена схема ЛСЭ, созданного на базе ускорителя-рекуператора, который имеет инжектор, ускорительную ВЧ-структуру, одну вертикальную и четыре горизонтальных дорожки и поглотитель.

Инжектор генерирует сгруппированные сгустки электронов с кинетической энергией $E = 1.5$ МэВ. Средний ток пучка меняется от 30 мкА до 10 мА посредством изменения частоты следования сгустков от 22 кГц до 5.6 МГц.

Из инжектора сгруппированные сгустки электронов проходят в ускоряющей фазе через шестнадцать ВЧ-резонаторов ускорителя-рекуператора, установленных на общей части дорожек, затем попадают в ондулятор, где теряют приблизительно 1% энергии на терагерцевое излучение. Далее от-

работанные электроны в тормозящей фазе проходят ВЧ-резонаторы (рекуперация), замедляясь до энергии инжекции 1.5 МэВ, и поступают в поглотитель.

Потери тока пучка в инжекторе могут достигать 1–2 мА. Потери тока пучка в вакуумной камере ускорителя-рекуператора не превышают 0.5 мА. При превышении уставленных аппаратных/программных пределов срабатывает система контроля потерь по току, пучка “запирается”. На рис. 1 представлены положения интегральных датчиков тока пучка, по показаниям которых контролируются потери по току на протяженных участках тракта транспортировки ускорителя-рекуператора. Первый датчик установлен на выходе пучка из пушки, второй – на выходе из инжектора; третий датчик установлен перед входом пучка в ускоряющую линейку ВЧ-резонаторов; четвертый – на поглотителе.

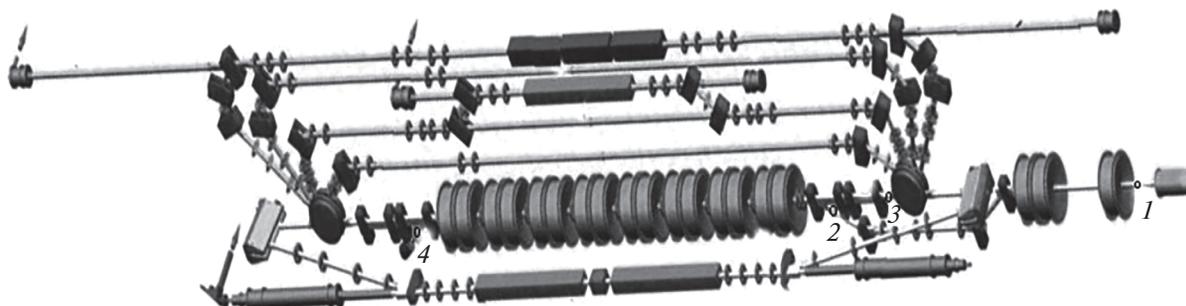


Рис. 1. Схема Новосибирского мощного лазера на свободных электронах. Пояснения к обозначениям приведены в тексте.

Настройка ускорителя выполняется при минимальном токе пучка 30 мкА, чтобы при попадании пучка на стенки вакуумной камеры не создавать высоких уровней радиации и не “прожечь” вакуумную камеру.

Рекуперация позволяет снизить энергетические затраты, существенно уменьшить интенсивность тормозного излучения и избежать образования фотонейтронов и наведенной радиоактивности вблизи поглотителя.

Для оценки максимальной мощности поглощенной дозы тормозного излучения в воздухе на расстоянии 1 метр от мишени использовались экспериментальные данные из СанПиН [4] и эмпирические формулы для оценки доз [5]:

$$\dot{D} = 20E^3 I \text{ Гр} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}^{-1} \text{ при } E < 20 \text{ МэВ}, \\ \theta = 0^\circ,$$

$$\dot{D} = 300E^2 I \text{ Гр} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}^{-1} \text{ при } E > 20 \text{ МэВ}, \\ \theta = 0^\circ.$$

Здесь I – ток пучка электронов на мишень, мА; θ – угол между направлением движения пучка электронов и точкой наблюдения.

Вклад в мощность дозы тормозного излучения от медного поглотителя не превышает $700 \text{ Гр} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}^{-1}$ при токе пучка 10 мА.

Вклад в мощность дозы тормозного излучения от инжектора не превышает $70 \text{ Гр} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}^{-1}$.

При работе в режиме генерации терагерцевого излучения потери по току составляют 20–300 мкА на дорожках ускорителя-рекуператора. Соответственно вблизи вакуумной камеры на первой дорожке ускорителя-рекуператора мощность дозы может достигнуть $0.7\text{--}10 \text{ кГр} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}^{-1}$. При работе второй очереди ЛСЭ мощность дозы находится в диапазоне $2\text{--}36 \text{ кГр} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}^{-1}$, при работе третьей очереди ЛСЭ мощность дозы возрастает до $9\text{--}140 \text{ кГр} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}^{-1}$. Из приведенных оценок следует, что установленные в ускорительном зале блоки детектирования должны контролировать мощность дозы в диапазоне от 0.01 до $100 \text{ кГр} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Трехметровые бетонные стены ускорительного зала обеспечивают надежную защиту, в смежных помещениях мощности доз не превышают допустимых значений. В рабочих помещениях уровни излучений близки к естественному фону около $0.2 \text{ мкГр} \cdot \text{ч}^{-1}$. Для регистрации уровней фотонного излучения в пультовых, на рабочих станциях потребителей излучения ЛСЭ и в помещениях эпизодического пребывания персонала установлены блоки детектирования (БД) с ионизационными камерами, работающими в диапазоне от 0.1 до $50 \text{ мкГр} \cdot \text{ч}^{-1}$.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Мониторинг радиационной обстановки в рабочих помещениях и ускорительном зале ведется в режиме реального времени с помощью БД с ионизационными камерами и счетчиками Гейгера–Мюллера, регистрирующими мощность фотонной дозы. Все БД (в количестве 20 шт.) подключены к общему блоку управления. Важно отметить, что в ускорительном зале БД можно относительно легко перемещать в другое выбираемое место.

Интегральный дозиметрический контроль вне ускорительного зала обеспечивается термолюминесцентными дозиметрами ДВГН-01 (из комплекса АКВДК-301), которые регистрируют нейтронную и фотонную компоненты дозы.

При работе второй и третьей очередей ЛСЭ происходят фотоядерные реакции (диапазон энергий 20–40 МэВ), поэтому периодически вне ускорительного зала проводятся измерения мощности дозы нейтронов с помощью переносного комбинированного многофункционального дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-03. Измеряемые значения мощности нейтронной дозы в рабочих помещениях находятся на уровне порога регистрации дозиметром.

По истечении запретного периода после включения ускорителя проводятся измерения уровней γ -излучения наведенной радиоактивности в ускорительном зале с помощью МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКГ-04.

В настоящее время производится замена ионизационных камер, установленных в ускорительном зале, на малогабаритные счетчики Гейгера СБМ21 (диаметр 6 мм, длина 20 мм), так как высокий уровень радиации приводит к деградации ионизационных камер, изготовленных из полимерных материалов. (Ионизационные камеры являются уникальной разработкой нашего института. Ремонт и реставрация камер требует существенных временных и материальных затрат, счетчики СБМ21 относительно дешевы.) При значительном возрастании уровня радиации счетчики Гейгера автоматически переводятся из счетного в токовый режим.

По показаниям БД, установленных вблизи вакуумной камеры, строится профиль уровней радиации вдоль тракта транспортировки пучка электронов и определяются места их потерь. Несколько счетчиков помещены в свинцовые контейнеры со встроенными коллиматорами. Контейнеры поглощают значительную часть излучения, отраженного от стен, потолка и пола зала. С помощью лазерной указки коллиматор нацеливается на предполагаемое место, где пучок касается вакуумной камеры. Счетчик регистрирует тормозное излучение от выбранной точки с небольшими вкладами рассеянного излучения от других мест.

Программная часть дозиметрической системы построена на основе распределенной системы управления EPICS [6]. Текущее измеренное значение мощности дозы представлено объектом – переменная процесса (PV – process variable). PV имеет сложный идентификатор с именем. Доступ к показаниям датчика осуществляется через имя PV посредством библиотеки CA (Channel Access). Среда разработчика EPICS предоставляет готовый программный набор для создания баз данных, визуализации данных, а также программы для управления. EPICS работает на операционных платформах MS Windows, GNU/Linux и других. Дозиметрическая система ЛСЭ реализована на базе операционной системы Scientific Linux [7]. EPICS и Scientific Linux – это открытое (open source) бесплатное программное обеспечение (free software), которое содержит богатый инструментарий для разработки систем сбора данных и обработки собранной информации. Не вдаваясь в подробности реализации базы данных и визуализации данных, кратко опишем программную часть дозиметрической системы. Данные выводятся на информационное табло с частотой 1 Гц. В базу данных информация записывается с интервалом 1 мин.

Спецификации записей в базе данных: дата и время; напряжение на пушке; напряжения, токи фидеров и фазы на резонаторах ВЧ-системы; данные с четырех интегральных датчиков тока. Каждый дозиметр имеет собственную структуру записи в базе данных: имя PV, среднее значение мощности дозы, минимальное значение PV и время ее регистрации, максимальное значение PV и время ее регистрации.

Если производные от напряжений, токов, мощностей доз изменились более чем на 10%, обязательно производятся записи в базу данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Система радиационного контроля ЛСЭ обеспечивает контроль уровней ионизирующего из-

лучения в пультовых, на станциях потребителей излучения ЛСЭ и в смежных помещениях эпизодического пребывания персонала. Периодически проводится калибровка БД с ионизационными камерами и счетчиками Гейгера, размещенных вне ускорительного зала, на основе измерений, выполненных дозиметром МКС-АТ1117М, внесенным в госреестр РФ. Блоки детектирования, установленные в ускорительном зале, позволяют построить профиль уровней радиации вдоль вакуумной камеры и определить места потерь пучка. По показаниям этих БД можно оценивать среднюю суммарную дозу тормозного излучения в зале за смену, прогнозировать уровни γ -излучения наведенной радиоактивности, прогнозировать время деградации полимерных материалов, используемых в технологических узлах ЛСЭ.

Настоящее исследование было поддержано грантом 14-50-00080 Российского научного фонда.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП “СЦСТИ” на базе НЛСЭ ИЯФ СО РАН, поддержанного Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEFI62117X0012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shevchenko O.A., Arbuzov V.S., Vinokurov N.A. et al.* // Phys. Proc. 2016. V. 84. P. 13.
2. *Knyazev B.A., Bagryanskaya E.G., Chesnokov E.N. et al.* // Phys. Proc. 2016. V. 84. P. 27.
3. *Винокуров Н.А., Шевченко О.А.* // УФН. 2018. Т. 188. № 5. С. 493.
4. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ. СанПиН 2.6.1.2573-10. М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010.
5. *Swanson W.P.* Radiological safety aspects of the operation of electron linear accelerators. Vienna. IAEA, 1979.
6. EPICS. <https://epics.anl.gov/>.
7. Scientific Linux. <http://www.scientificlinux.org/>.