

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПУЧКА ПРОТОНОВ ПО ПОВЕРХНОСТИ МИШЕНИ В ПРОЦЕССЕ ОБЛУЧЕНИЯ

Б. Н. Кирсанов¹, А. Б. Облеухов, А. А. Разбаш, М. В. Ульянов

ЗАО «Циклотрон», Обнинск, Россия

В сообщении на предыдущем семинаре в 2015 г. была представлена система контроля и управления распределением пучка по поверхности мишени в процессе облучения на ускорителе РИЦ-14. В настоящем докладе описана модернизированная система для ускорителя У-150. Проанализирован опыт ее эксплуатации. Представлены данные, подтверждающие, что получаемые изображения адекватно отражают положение пучка протонов и состояние мишени. Показаны методы корректировки положения пучка на мишени в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Обоснована возможность и необходимость дальнейшего использования подобной системы для увеличения производительности наработки изотопов и снижения вероятности повреждения мишеней во время облучения.

In the report at the previous seminar in 2015 the system of monitoring and managing of proton beam distribution on the target in the cyclotron RIC-14 was presented. In the present report we describe an updated system for the U-150 cyclotron and analyze the experience of its maintenance. The presented data confirm the fact that the obtained images reflect adequately the proton beam position and the state of the target. The methods of correction of the position of the beam on the target in the vertical and horizontal planes are demonstrated. A possibility and a necessity of a further use of a similar system for increasing the output of isotope production and reducing the possibility of target damages during irradiation are substantiated.

PACS: 29.20.dg

ВВЕДЕНИЕ

Основной сферой деятельности предприятия ЗАО «Циклотрон» является производство циклотронных радионуклидов, а также источников излучения и генераторов короткоживущих радионуклидов на их основе.

На предыдущем семинаре (2015 г.) нами было представлено сообщение о созданной в ЗАО «Циклотрон» системе контроля за распределением пучка протонов по поверхности мишени, облучаемой на циклотроне предприятия. Были описаны конструкции циклотронов, мишеней и мишеных устройств, параметры пучка протонов, система управления

¹E-mail: cyclotron@obninsk.com

распределением пучка по поверхности мишени. В основном это касалось измерений при облучении на циклотроне РИЦ-14.

Для циклотрона У-150 была создана модернизированная система контроля, в которой учтен опыт работы на циклотроне РИЦ-14 и устранены недостатки предыдущей системы.

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУЧКА ДЛЯ У-150

Для контроля распределения пучка на мишени применяется разработанная в ЗАО «Циклотрон» система дистанционного контроля температуры мишени (далее по тексту СДКТМ), блок-схема которой представлена на рис. 1.

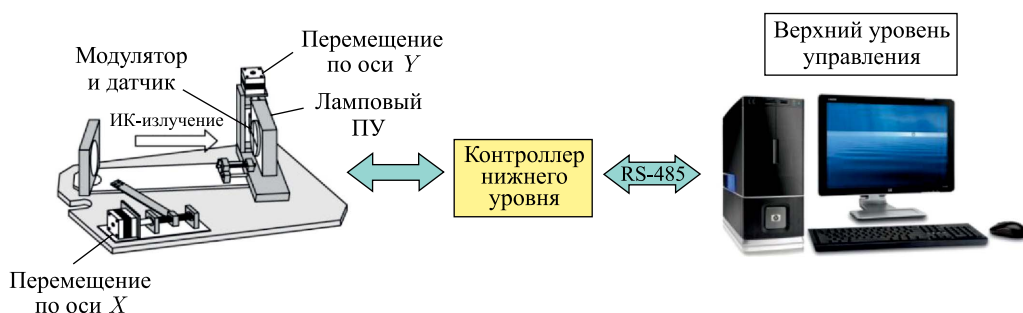


Рис. 1. Блок-схема СДКТМ

Принцип работы СДКТМ основан на измерении инфракрасного излучения от поверхности мишени датчиком на основе PbS с помощью оптической системы и сканирующего двухкоординатного модуля. Сигнал от датчика, являющийся функцией температуры, модулируется механическим модулятором на частоте порядка 1000 Гц и усиливается ламповым усилителем с дифференциальным выходом, что значительно снижает воздействие промышленных помех. Дальнейшее усиление и обработка сигнала осуществляются вне зоны повышенной радиационной нагрузки. Управление СДКТМ происходит в двух уровнях. Нижний уровень, выполненный на специализированном контроллере собственной разработки, управляет шаговыми двигателями сканирующего модуля и синхронизирует измерение инфракрасного излучения с положением точки сканирования на плоскости мишени. Обмен данными и командами с персональным компьютером, размещенным на рабочем месте оператора, осуществляется по протоколу RS-485. Управление системой в целом выполняется из программы собственной разработки. Сканирование возможно как по горизонтальной или вертикальной координатам, так и по всей поверхности мишени (планарное сканирование). Возможно однократное сканирование и сканирование по таймеру.

КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУЧКА НА МИШЕНИ

Контроль распределения пучка на мишени в начале и в процессе облучения осуществляется путем периодического измерения распределения теплового поля на поверхности мишени. Интерфейс программы сканирования представлен на рис. 2.

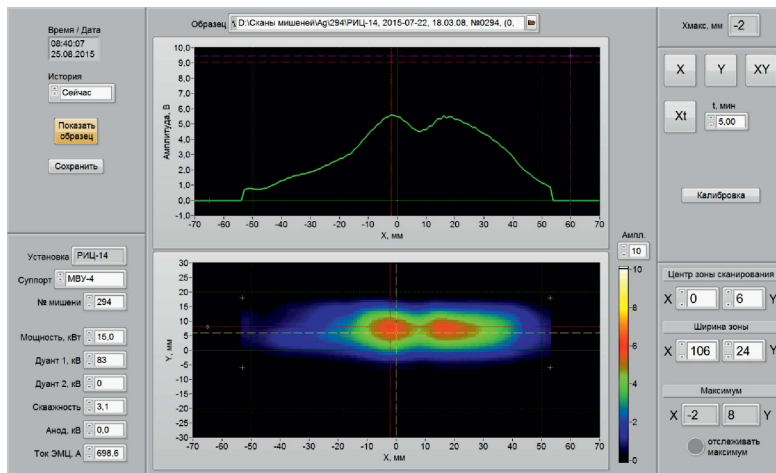


Рис. 2. Интерфейс программы сканирования

Программа имеет предупредительную и аварийную сигнализацию, которая срабатывает при превышении заданных порогов.

УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПУЧКА

Управление распределением пучка по горизонтали производится за счет изменения значения первой гармоники азимутальной вариации магнитного поля с помощью внешних корректирующих катушек, установленных на конечных радиусах ускорения. Вертикальное смещение пучка осуществляется с помощью дополнительных обмоток на конечных радиусах ускорения пучка.

С помощью управления распределением пучка в начале облучения мы добиваемся оптимального распределения теплового поля по поверхности мишени и поддерживаем это распределение в дальнейшем. В процессе облучения распределение может меняться. Оно может равномерно расти, что связано с потемнением поверхностного слоя, или на нем появляются пики, что говорит о возможном начале повреждения мишени. Если на поверхности мишени появляются пики возрастания теплового поля, то проводится корректировка распределения с целью снижения этих пиков. Если снизить пики не удастся, то облучение продолжается на сниженной мощности до достижения этими пиками предельного значения для данной мишени. Фотографирование поверхности мишени до начала и после окончания облучения позволяет сравнивать результаты сканирования и фактическое состояние мишени. Когда возникают сомнения в целостности покрытия мишени, облучение останавливают, мишень фотографируют и принимают решение о продолжении или прекращении облучения.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ НА МИШНЯХ

Примеры типичного распределения теплового поля представлены на рис. 3–6.

На следующих рисунках показана динамика изменения теплового поля в процессе облучения для никелевой мишени (рис. 7) и ее фото после облучения (рис. 8).

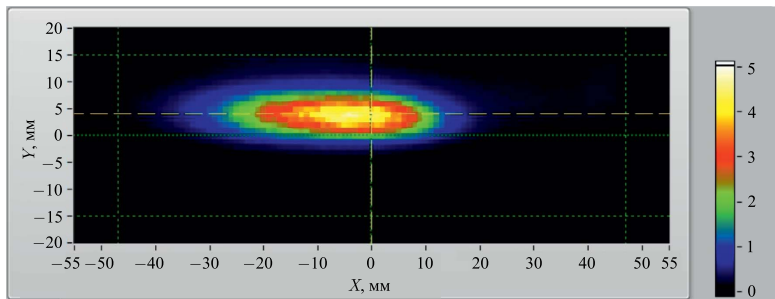


Рис. 3. Распределение теплового поля на поверхности плоской лантановой мишени (РИЦ-14)

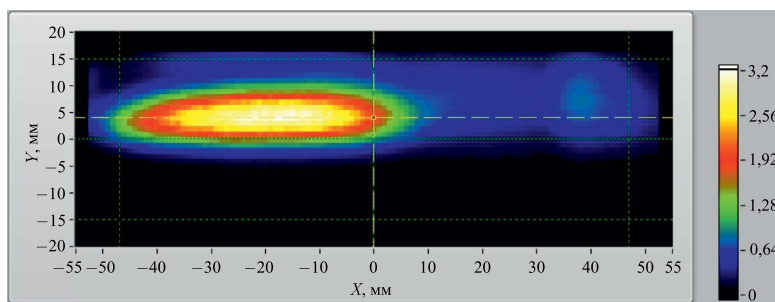


Рис. 4. Распределение теплового поля на поверхности родиевой мишени (РИЦ-14)

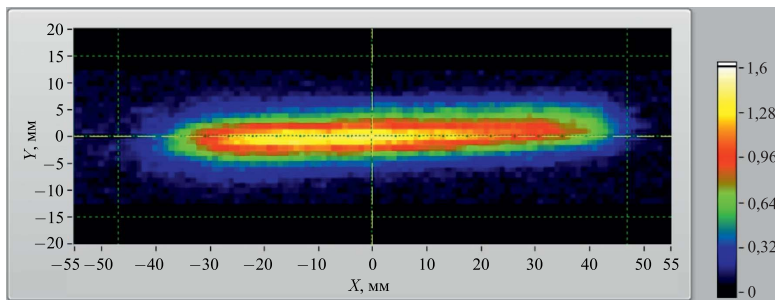


Рис. 5. Распределение теплового поля на поверхности GaNi-мишени (У-150)

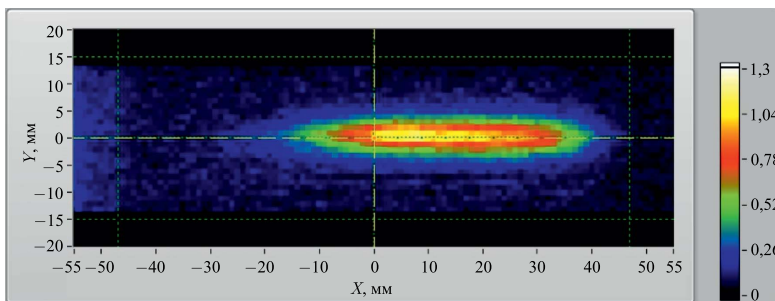


Рис. 6. Распределение теплового поля на поверхности Ni-мишени (У-150)

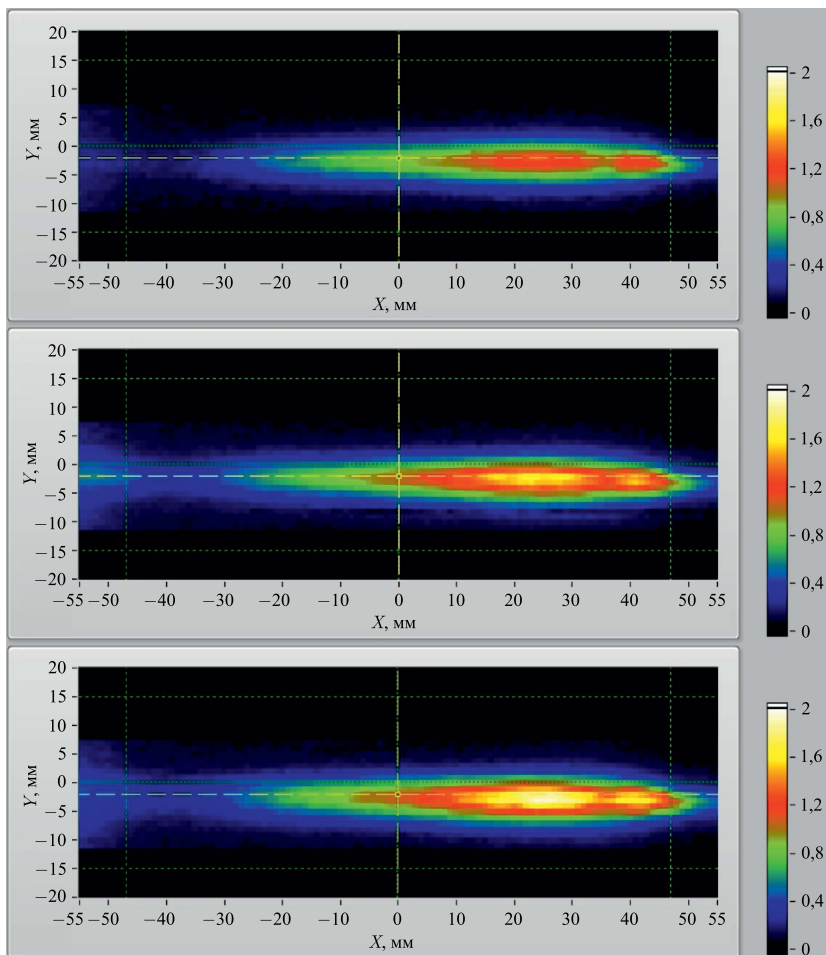


Рис. 7. Динамика изменения теплового поля в процессе облучения для никелевой мишени

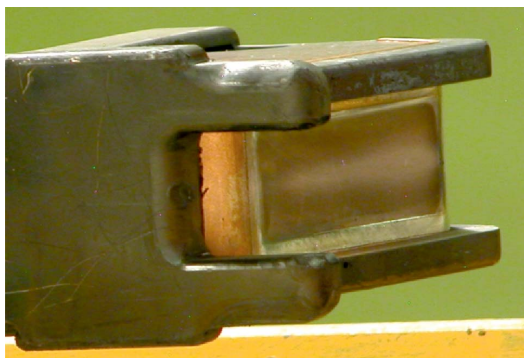


Рис. 8. Никелевая мишень после облучения

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ МИШЕНЕЙ

Для сравнительного анализа тепловых полей мишеней была разработана специализированная программа-просмотрщик, позволяющая отображать сканы и параметры облучения для двух мишеней одновременно. Пример работы программы приведен на рис. 9.

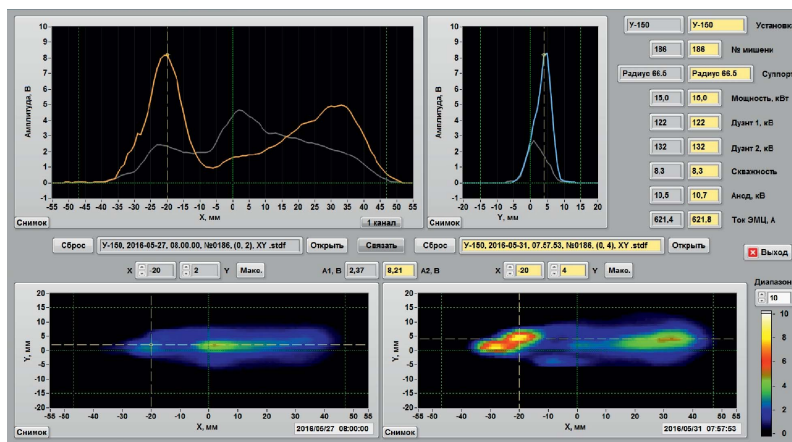


Рис. 9. Интерфейс программы-просмотрщика

Организован дистанционный доступ к архиву сканов на домашних компьютерах ведущих специалистов. Это позволяет удаленно контролировать процесс облучения и своевременно корректировать действия оперативного персонала в нестандартных ситуациях.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПУЧКА

За прошедшее время был наработан опыт эксплуатации этой системы, выявлены ее недостатки, проведена ее доработка. Накоплена огромная база распределений тепловых полей на поверхности мишеней в процессе облучения. В результате использования этого опыта и были найдены характерные признаки, определяющие момент прекращения облучения. Кроме того, анализ полученных результатов подтверждает, что получаемые изображения адекватно отражают положение пучка протонов и состояние мишени.

Все изложенное выше показывает возможность и необходимость дальнейшего использования подобной системы для увеличения производительности наработки изотопов и снижения вероятности повреждения мишеней во время облучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная в ЗАО «Циклотрон» система управления и контроля распределения пучка протонов по поверхности мишени во время облучения работает в штатном режиме более двух лет. Она позволяет нам проводить облучение практически на предельной мощности,

которую длительно может выдержать мишень без заметного разрушения облучаемого слоя. Это позволяет получить максимальную производительность для данной мишени и снижает вероятность повреждения мишеней во время облучения.

Программа-просмотрщик температурных полей помогает проводить сравнительный анализ результатов облучения на однотипных мишенях и, как следствие, осуществлять облучение мишеней пучками протонов максимально возможной интенсивности без критических повреждений.

Сравнение реального состояния мишени после облучения и сканов тепловых полей во время облучения свидетельствует, что система адекватно отражает состояние мишени в процессе облучения.

Таким образом, очевидна полезность и необходимость дальнейшего использования подобной системы для увеличения производительности наработки изотопов и снижения вероятности повреждения мишеней во время облучения.