

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПУЧКА ЦИКЛОТРОНА ПО ПОВЕРХНОСТИ ОБЛУЧАЕМОЙ МИШЕНИ

Б. Н. Кирсанов¹, А. Б. Облеухов, А. А. Разбаш

ЗАО «Циклотрон», Обнинск, Россия

В докладе представлена созданная в ЗАО «Циклотрон» система управления и контроля распределения пучка протонов по поверхности мишеней во время облучения на циклотронах предприятия. Приведены параметры пучка протонов при облучении, конструкции мишеней и мишеневых устройств, используемых для наработки изотопов, система управления распределением пучка по поверхности мишени. Контроль осуществляется путем снятия распределения температуры по инфракрасному излучению с поверхности мишени. Обоснована необходимость использования подобной системы для увеличения производительности наработки изотопов и снижения вероятности повреждения мишеней во время облучения.

This paper presents a system of management and control of a distribution of a beam of protons over the surface of targets during the irradiation on the cyclotrons designed at the Cyclotron Company Ltd. The parameters of a beam of protons are given on the irradiation of a set of targets and target devices which are used for production of isotopes, as well as the system of control of the beam distribution over the target surface. The control is performed by recording of the temperature distribution over the target surface during the infrared irradiation. The necessity is justified of using such a system for increasing the production of isotopes and reducing the probability of target destruction during the irradiation.

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. Среди всей широкой номенклатуры продукции наибольшим спросом на внешнем и внутреннем рынках пользуются радионуклиды кобальт-57, германий-68, палладий-103 и кадмий-109, а также генераторы галлия-68.

Высокое качество продукции, привлекательные цены и условия поставки, надежность позволили ЗАО «Циклотрон» занять и удерживать многие годы прочные позиции на зарубежных рынках. В настоящее время около 95 % всего объема выпускаемой радиоизотопной продукции наше предприятие поставляет на экспорт в такие развитые страны,

¹E-mail: kirs.bor@yandex.ru

как США, Германия, Франция, Австрия, Канада и др. При этом мы полностью удовлетворяем растущие потребности России в наших изотопах, но, к нашему сожалению, растут эти потребности очень медленно.

Чтобы удерживать завоеванные позиции и обеспечивать возрастающие потребности в радиоизотопной продукции, необходимо увеличивать производительность наработки радионуклидов, т. е. осуществлять облучение мишеней пучками протонов высокой интенсивности. Но такой режим облучения может приводить к разрушению мишеней и радиоактивным выбросам. Чтобы избежать этого и обеспечить высокую производительность, необходимо контролировать распределение пучка протонов по мишени и иметь возможность контролировать повреждения мишени.

ХАРАКТЕРИСТИКА УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАО «ЦИКЛОТРОН»

В настоящее время наработка радиоактивных изотопов осуществляется на двух циклотронах.

Первый, модернизированный «классического типа», У-150 (рис. 1), работает в режиме ускорения протонов до 20–23 МэВ. Средний ток внутреннего пучка при облучении мишеней достигает 1100 мкА. На циклотроне У-150 производят наработку радионуклидов с использованием, в основном, ядерной реакции ($p, 2n$).

Второй циклотрон, РИЦ-14 (рис. 2), ускоряет протоны до энергии 14 МэВ. Средний ток внутреннего пучка при облучении мишеней достигает 1700 мкА. На этом ускорителе получают радионуклиды с использованием ядерной реакции (p, n).

Облучение мишеней на циклотронах производится только на внутреннем пучке протонов.

Наработка радионуклидов осуществляется с использованием универсальных мишеней, представляющих собой медный блок, к которому методом диффузионной сварки приварена пластина из облучаемого материала или на поверхность которого облучаемый материал нанесен электролитически.



Рис. 1. Циклотрон У-150



Рис. 2. Циклотрон РИЦ-14

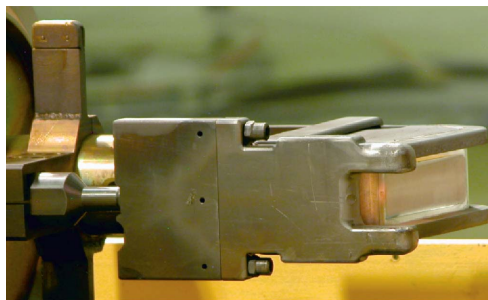


Рис. 3. Мишенное устройство с подвижным коллиматором для циклотрона У-150

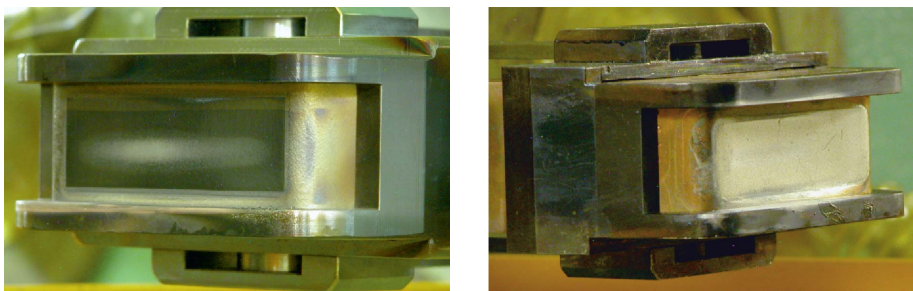


Рис. 4. Мишенные устройства для циклотрона РИЦ-14

Мишень помещается в одно из трех мишенных устройств (рис. 3 и 4) и выводится на нужный радиус циклотрона через вакуумный шлюз.

На мишень выводится пучок протонов, под воздействием которого и происходит наработка нужного изотопа. Размеры пучка на радиусе мишени составляют 8–10 мм

на полувысоте гауссова распределения. Для уменьшения удельной плотности пучка на мишени, а значит и для увеличения стойкости мишени во время облучения, т.е. снижения вероятности повреждения мишеней во время облучения, мишень устанавливается под углом $7-9^\circ$ к падающему пучку. Кроме того, мишень имеет криволинейную поверхность с радиусом кривизны, примерно равным радиусу вращения пучка.

КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУЧКА НА МИШЕНИ

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. 5. Принцип работы СДКТМ основан на измерении инфракрасного излучения с поверхности мишени датчиком на основе PbS с помощью оптической системы и сканирующего двухкоординатного модуля. Сигнал от датчика модулируется механическим модулятором на частоте порядка 1000 Гц и усиливается ламповым усилителем с дифференциальным выходом. 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 съем инфракрасного излучения с положением точки сканирования на плоскости мишени. Данные передаются в управляющий модуль верхнего уровня, выполненный на контроллере фирмы «National Instruments»

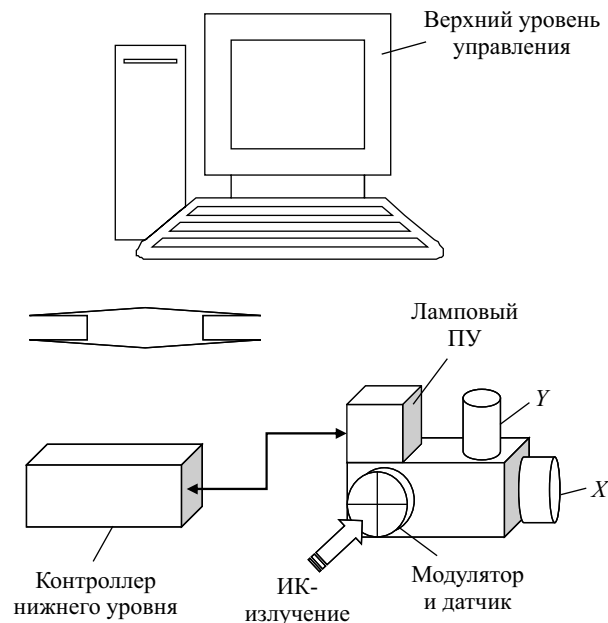


Рис. 5. Блок-схема СДКТМ

и персональном компьютере. Управление системой в целом выполняется персональным компьютером из программы, написанной в среде LabView. Сканирование возможно как по отдельным координатам, так и по всей поверхности мишени (планарное сканирование).

Контроль распределения пучка на мишени в начале и в процессе облучения осуществляется путем периодического снятия распределения температуры по инфракрасному излучению с поверхности мишени. Примеры типичного распределения температуры на поверхности мишеней представлены на рис. 6–8.

В процессе облучения температурное распределение меняется. Оно или равномерно растёт, что связано с потемнением поверхностного слоя, или на нем появляются пики, что говорит о начале повреждения мишени. В этом случае облучение мишени прекращается или изменяется настройка пучка так, чтобы уменьшить пик и прекратить его рост.

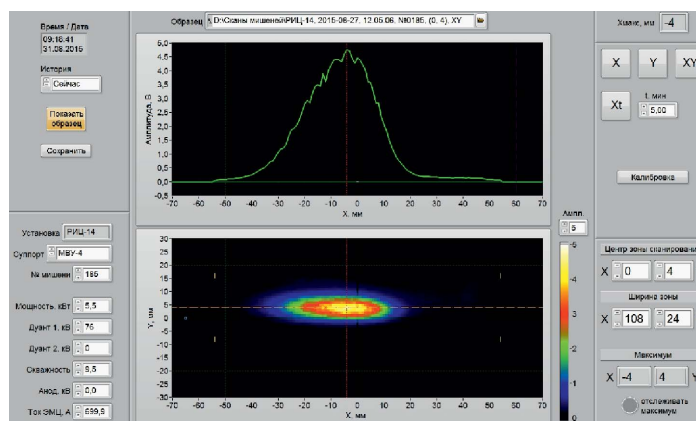


Рис. 6. Распределение температуры на поверхности плоской лантановой мишени

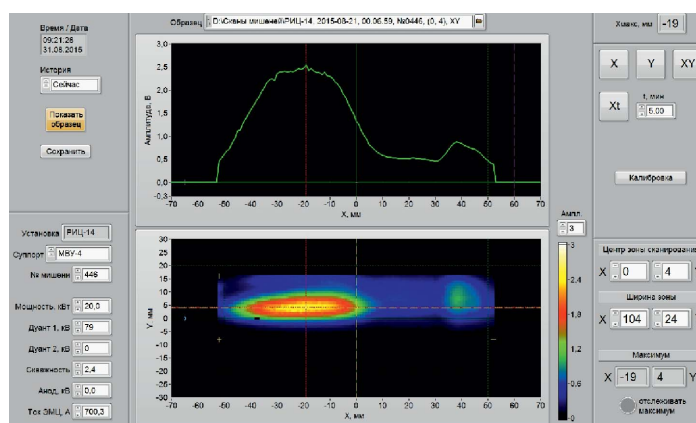


Рис. 7. Распределение температуры на поверхности родиевой мишени

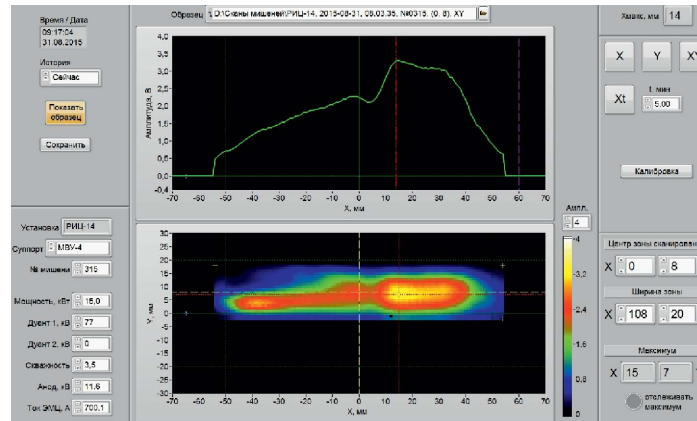


Рис. 8. Распределение температуры на поверхности серебряной мишени

УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПУЧКА

Управление распределением пучка производится за счет изменения первой гармоники магнитного поля с помощью азимутальных корректирующих катушек, установленных на конечных радиусах ускорения.

После окончания облучения облученную мишень на мишенном устройстве фотографируют, что позволяет сравнивать результаты сканирования в процессе облучения и фактическое состояние мишени. Облучение идет при предельной мощности, которую длительно может выдержать мишень без заметного разрушения облучаемого слоя. Это позволяет получить максимальную производительность для данной мишени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная в ЗАО «Циклотрон» система управления и контроля распределения пучка протонов по поверхности мишеней во время облучения в настоящее время работает в тестовом режиме, и уже очевидно, что ее активное использование позволит нам осуществлять облучение мишеней пучками протонов максимальной интенсивности без критических повреждений. Сравнение реального состояния мишени после облучения и изображений во время облучения свидетельствует, что система адекватно отражает состояние мишени в процессе облучения.