

СИСТЕМА ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МИШЕНЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ШИРОКОГО СПЕКТРА РАДИОНУКЛИДОВ

*Р. М. Клопенков¹, М. Л. Клопенков, Д. Н. Степанов, Н. В. Юдакова,
Ю. В. Зуев, М. В. Варламова, А. Н. Кужлев, П. А. Гнутов,
А. С. Мерзликин, Д. С. Апарин-Урсулика*

Акционерное общество «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова», Санкт-Петербург, Россия

Циклотроны серии СС производства НИИЭФА им. Д. В. Ефремова предназначены в первую очередь для наработки широкого спектра радиоизотопной продукции для получения диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов. Для получения радиоизотопов таллий-201, галлий-67, медь-64, цирконий-89 в институте выполнен цикл мероприятий по разработке и изготовлению мишеней, мишенных станций и систем доставки наработанной активности до модулей синтеза радиохимической лаборатории.

СС series cyclotrons manufactured by NIEFA are intended primarily for the production of a wide range of radioisotope products for diagnostic and therapeutic radiopharmaceuticals. To produce the radioisotopes thallium-201, gallium-67, copper-64, zirconium-89, the institute carried out a series of works on the development and manufacture of targets, target stations and systems for delivering the produced activity to the synthesis modules of the radiochemical laboratory.

PACS: 29.20.dg

ВВЕДЕНИЕ

Современные требования радиационной безопасности и эффективности производства диктуют необходимость автоматизации наработки изотопов.

Приемы автоматизации наработки и выделения наиболее распространенных в позитронно-эмиссионной томографии изотопов (^{18}F , ^{11}C , ^{13}N) хорошо разработаны, полная автоматизация может быть легко достигнута, так как указанные изотопы образуются при облучении стартовых веществ, находящихся в жидком или газообразном агрегатном состоянии. Мишенные устройства представляют собой емкости, удерживающие мишенный материал, причем стенка со стороны вхождения пучка ускоренных частиц обычно выполняется тонкой и проницаемой для ускоренных частиц, а боковая и задняя стенки омываются охлаждающей водой.

Облученный мишенный материал может быть доставлен в лабораторию синтеза радиофармпрепаратов по капиллярам, соединяющим мишенное устройство и устройство выделения (модуль синтеза), а для обеспечения автоматизации процесса используются клапаны, удерживающие мишенный материал в мишенном устройстве.

¹E-mail: npkluts@luts.niiefa.spb.su

Такие системы разработаны в АО «НИИЭФА» и эксплуатируются на циклотронах при рутинном производстве изотопов.

Значительное количество изотопов, применяемых в медицине (^{64}Cu , ^{67}Ga , ^{111}In , ^{123}I , ^{201}Tl , ^{68}Ge и др.), нарабатываются при облучении мишенных веществ, находящихся в твердом агрегатном состоянии.

С целью полной автоматизации процесса выбрана концепция использования мишеней (фольга, порошок, гальванический слой и др.), заключенных в транспортные шаттлы. Благодаря наличию шаттлов возможна транспортировка мишеней потоком сжатого воздуха между двумя приемными терминалами (находящимися в мишенном устройстве и модуле выделения изотопов).

Мишенное устройство разработки АО «НИИЭФА» обеспечивает коллимацию и диагностику пучка протонов, удержание мишени под пучком, водяное и гелиевое охлаждение мишени.

Модули растворения и выделения разработаны РНЦРХТ им. акад. А. М. Гранова и обеспечивают полную автоматизацию радиохимических процессов.

1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МИШЕННОЙ СИСТЕМЫ

Система разработана с учетом рекомендаций МАГАТЭ [1–4] и предоставляет оператору максимально возможный контроль над пучком заряженных частиц и состоянием мишенного устройства в процессе облучения.

Общий вид мишенной системы представлен на рис. 1.

1.1. Вобблер пучка. Обеспечивает более равномерное распределение тока пучка по полю облучения мишени. Воздействие осуществляется за счет вращающегося магнитного поля.

1.2. Основной и дополнительный четырехламельные коллиматоры. Основной четырехламельный коллиматор выполнен в виде изолированных 45° -х ламелей, установленных на водоохлаждаемую подложку. Ламели коллиматора формируют отверстие для пролета пучка, стандартный диаметр — 12 мм. При проводке пучка оператор может контролировать его положение по току на ламелях.

Дополнительный четырехламельный коллиматор идентичен основному, но установлен непосредственно перед мишенью. По разнице показаний на ламелях коллиматоров оператор может контролировать расходимость пучка и его соосность с трактом транспортировки.

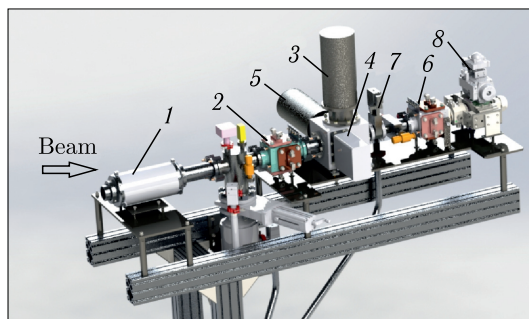


Рис. 1. Общий вид системы твердотельных мишеней: 1 — вобблер пучка; 2 — основной четырехламельный коллиматор; 3 — подвижный цилиндр Фарадея; 4 — сканер пучка; 5 — подвижный деградер; 6 — дополнительный четырехламельный коллиматор; 7 — затвор; 8 — мишенное устройство

1.3. Подвижный цилиндр Фарадея. Представляет собой стандартный цилиндр Фарадея, который может быть введен в тракт для принятия пучка во время настройки, чтобы предотвратить облучение основной мишени.

1.4. Сканер пучка. Позволяет измерять профиль пучка при настройке, в частности, для определения режимов работы вобблера.

1.5. Подвижный деградер. Представляет собой модернизированный вариант цилиндра Фарадея, головка оснащена графитовой пластиной, обеспечивающей пролет пучка с уменьшением энергии протонов. Вводится в тракт при облучении мишенных веществ, у которых оптимальная энергия облучения ниже диапазона регулировки, предусмотренной в циклотроне.

1.6. Затвор. Обеспечивает возможность отсечения мишени от тракта транспортировки пучка для замены вакуумной фольги без нарушения вакуума в ионопроводе. При прорыве фольги затвор автоматически перекрывается.

2. МИШЕННОЕ УСТРОЙСТВО

При разработке мишенного устройства использован принцип транспортных шаттлов. Общий вид мишенного устройства представлен на рис. 2.

2.1. Фланец вывода пучка. Служит для вывода пучка из тракта транспортировки и охлаждения вакуумной фольги и лицевой стороны подложки мишени потоком гелия. В местах примыкания вакуумной фольги и фронтальной части шаттла предусмотрено дополнительное водяное охлаждение. В процессе облучения контролируются температура, проток и давление охлаждающего гелия.

2.2. Рубашка охлаждения подложки мишени с шаровым механизмом запира-ния шаттла. Обеспечивает водяное охлаждение задней стороны подложки мишени, удержание шаттла в процессе облучения и его эвакуацию из мишенного устройства для транспортировки по пневматической системе доставки. Конструкция данного узла позволяет проводить установку мишени в позицию облучения без размыкания контуров охлаждения, что значительно повышает надежность узла. Предусмотрен контроль температуры охлаждающей воды на входе в рубашку охлаждения и на выходе из нее.

2.3. Шаттл (рис. 3). Предназначен для удержания и охлаждения подложки при облучении, а также служит транспортным контейнером при ее транспортировке по линиям пневмотранспорта после облучения.

Охлаждающая вода подается через заднюю часть шаттла и после снятия тепла с подложки отводится через отверстия в боковой поверхности. Конструкция шаттла максимально унифицирована для облучения подложек различного исполнения.

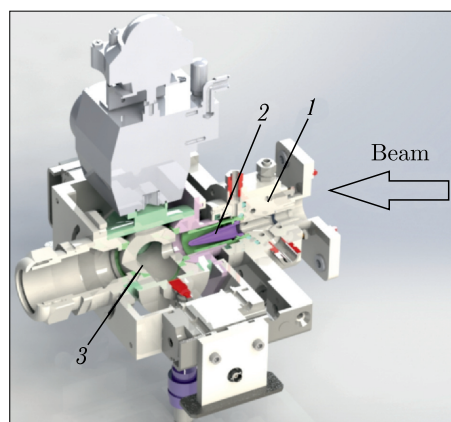


Рис. 2. Мишенное устройство: 1 — фланец вывода пучка; 2 — шаттл; 3 — рубашка охлаждения подложки мишени с шаровым механизмом запира-ния шаттла

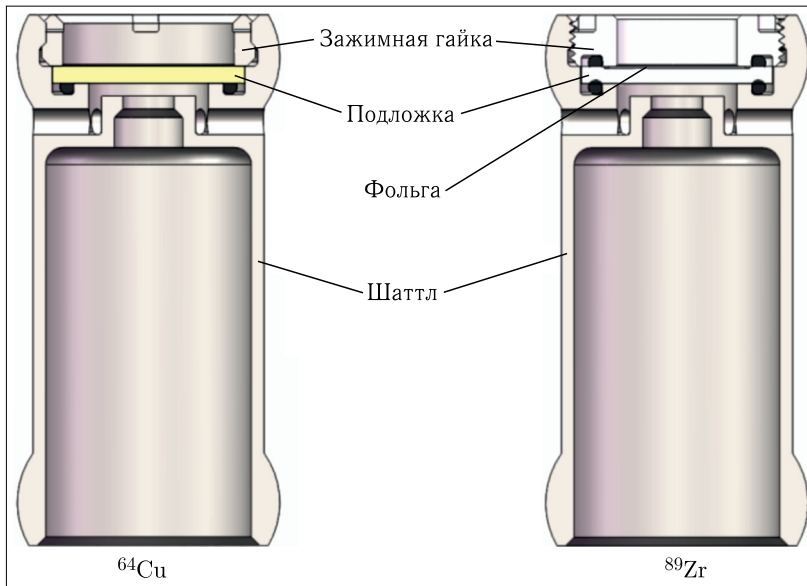


Рис. 3. Транспортные шаттлы с установленными подложками

3. СИСТЕМА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ

Система пневматической транспортировки (рис. 4) разработана для транспортировки шаттла с подложкой между мишенным устройством и радиохимическими модулями.

Она представляет собой автономную систему, в которой транспортировка осуществляется воздухом, циркулирующим по замкнутому циклу. Реализация замкнутого контура транспортировки позволяет предотвратить потенциальные утечки воздуха, содержащего радионуклиды.

Система может поставляться совместно со шлюзовым устройством, позволяющим отделить «грязный» воздух помещений циклотрона и «чистый» воздух радиохимиче-

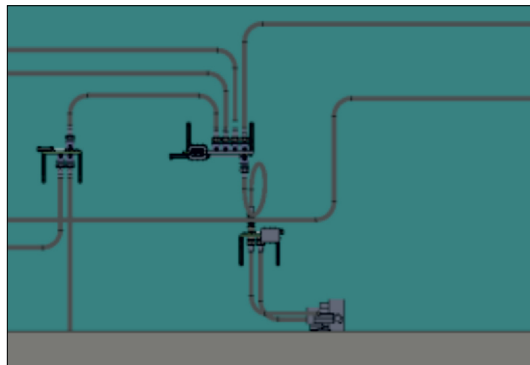


Рис. 4. Общий вид системы пневмотранспортировки шаттлов

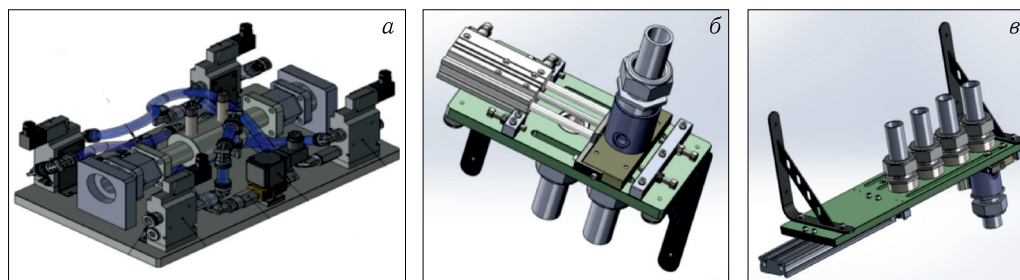


Рис. 5. Шлюзовое устройство, четырех- и двухпозиционные маршрутизаторы линий транспортировки шаттлов

ских помещений и защитных боксов (рис. 5, а). Система пневматической транспортировки оснащается четырех- и двухпозиционными маршрутизаторами направлений (рис. 5, б, в). Применение данных маршрутизаторов в различной комбинации позволяет производить транспортировку шаттлов в практически неограниченное количество приемных станций.

4. АСУ

Автоматизированная система управления контролирует основные параметры мишенного комплекса: давление, температуру и проток гелия и охлаждающей воды, положение исполнительных механизмов, ток пучка на коллиматорах и подложке мишени.

АСУ предотвращает ошибки оператора, а также блокирует облучение при достижении критических значений температуры, тока пучка и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система твердых мишеней, разработанная АО «НИИЭФА», позволяет как производить коммерческую наработку стандартных радионуклидов, так и научно-исследовательские мероприятия в области разработки технологий перспективных радиоизотопов.

Разработанная система диагностики и настройки обеспечивает тонкую настройку пучка как для повышения производительности рутинных процессов, так и для экзотических режимов облучения.

Универсальная конфигурация системы охлаждения и транспортных шаттлов позволяет использовать широкий спектр подложек без внесения изменений в конструкцию мишенного устройства.

Система пневматической доставки шаттлов существенно снижает дозовую нагрузку на персонал, увеличивает оперативность всех технологических процессов и существенно снижает вероятность возникновения нестандартных ситуаций.

Полная автоматизация системы гарантирует повторяемость технологических циклов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Standardized High Current Solid Targets for Cyclotron Production of Diagnostic and Therapeutic Radionuclides. IAEA Technical Reports Series No. 432. Vienna, 2004.
2. Cyclotron Produced Radionuclides: Principles and Practice. IAEA Technical Reports Series No. 465. Vienna, 2008.
3. Cyclotron Produced Radionuclides: Physical Characteristics and Production Methods. IAEA Technical Reports Series No. 468. Vienna, 2009.
4. Gallium-68 Cyclotron Production. IAEA-TECDOC-1863. Vienna, 2019.