

НОВЫЕ РЕЖИМЫ И МОДЕРНИЗАЦИЯ КИЕВСКОГО 240-САНТИМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА

А.В.Демьянов, А.Ф.Линев, Е.Л.Олейник, К.И.Ольховский, В.С.Прокопенко, В.И.Сахно
Институт ядерных исследований АН УССР, Киев

Изохронный циклотрон У-240 используется как для исследований по ядерной физике, твердому телу и биологии, так и для решения прикладных задач, связанных с радиационной стойкостью материалов и производством радиофармпрепаратов. Полезное время работы ускорителя в 1985г. составило 4400 часов. Распределение времени работы по частицам и энергии представлено в табл.1.

Т а б л и ц а 1
Распределение времени работы циклотрона в различных режимах ускорения заряженных частиц (данные за 1985г.)

Протоны		Дейтроны		α -частицы		Тяжелые ионы		Н ⁻	
Энергия, МэВ	Час	Энергия, МэВ	Час	Энергия, МэВ	Час	Энергия, МэВ	Час	Энергия, МэВ	Час
25	15	30	336	40	60	C ⁺³ , 50	54,6	50	79
30	359	40	108	60	97	C ⁺³ , 65	27,5	70	18
50	510	50	730	100	446	N ⁺⁴ , 156	134,2	ток	
40	45	ток		ток				до 1мкА	
70	1388	до 10мкА		до 10мкА					
ток до 15мкА									
Итого:	2317	Итого:	1174	Итого:	603	Итого:	216,3	Итого:	97

Интенсивности выведенных пучков легких частиц ограничиваются возможностями электростатического дефлектора (коэффициент вывода 40-60%), т.е. тепловым разрушением его септума, а интенсивности тяжелых частиц (коэффициент вывода 20-30%) - низкой эффективностью радиального источника и недостаточно высоким вакуумом в ускорительной камере (последнее также относится и к ускорению Н⁻). Горизонтальные и вертикальный эмиттансы выведенного пучка равны примерно 20 мм·мрад. Прикладные работы проводились при скважности ускоряющего напряжения на дуанте 10, ядерно-физические исследования при скважности 2 ÷ 4, энергетический разброс пучка составляет в среднем 5·10⁻³. Следует отметить, что из-за низкой надежности оборудования, его физического износа, невысокого уровня стабилизации систем питания, время простоев циклотрона велико и составляет около 12% от времени полезной работы.

С целью расширения возможностей использования циклотрона (создание и освоение режимов ускорения новых частиц, уменьшение энергетического разброса, увеличение интенсивности пучков, уменьшение эффективной скважности пучка) проводится модернизация и реконструкция основных узлов, которая включает в себя:

- замену устаревших источников питания на тиристорные выпрямители типа ИСТ и ИСТР (около 120 единиц мощностью 2 МВт);

- создание современной диагностики пучка в камере ускорителя, области вывода пучка и его транспортировки;
- введение контроля и защиты всех технологических систем;
- улучшение вакуума до 10^{-7} Торр ;
- создание и внедрение для инжекции внешних источников ионов;
- внедрение источника поляризованных частиц и нового источника тяжелых ионов;
- создание режима нейтронного спектрометра;
- создание автоматизированной системы управления.

Реализация намеченных мероприятий позволит достичь следующих параметров:

- увеличить интенсивность выведенных пучков в среднем в 2 раза;
- довести энергетический разброс пучка до 10^{-3} и существенно улучшить его временную структуру;
- получить пучки поляризованных протонов, дейтронов и лития;
- сократить на 20% потребление электроэнергии на 1 час полезной работы циклотрона;
- довести полезное время работы циклотрона до 6000 часов в год.

Достижение этих параметров позволит проводить на современном уровне новые для нашего циклотрона опыты:

- изучение спин-спиновых и спин-орбитальных эффектов в ядерных взаимодействиях (поляризованные пучки и малая эффективная скважность);
- изучение пространственных корреляций продуктов ядерных реакций с регистрацией γ -квантов, нейтронов и заряженных частиц;
- изучение взаимодействия нейтронов высоких энергий с атомными ядрами и веществом;
- увеличить производство радиоактивных изотопов для медицины и промышленности в 2-4 раза.

Ниже мы кратко охарактеризуем те работы, которые проводятся силами нескольких подразделений института и сторонними организациями для выполнения изложенной выше программы.

В течение последних лет на циклотроне ведутся работы по наработке экспериментальных количеств радиоизотопов для медицины. В частности, при энергии протонов 65+70 МэВ ведется наработка иода-123. В режиме *on-line* может быть получена производительность около 20мКи/мкА.ч /1/. Однако существующая система вывода ограничивает интенсивность пучка протонов. Одним из вариантов увеличения тока пучка выведенных протонов является ускорение ионов H^- . На ускорителе были проведены эксперименты по получению из обычного источника, ускорению и выводу при помощи эффекта перезарядки на тонкой углеродистой фольге отрицательных ионов водорода.

В обычном протонном режиме и давлении в камере $(3+5) \cdot 10^{-6}$ Торр потери при перезарядке на остаточном газе в камере ускорителя составили 90% пучка. Исследования показали, что в данном ускорителе большое влияние на потери пучка оказывает качественный состав остаточного газа, ну и, конечно, давление в камере. Приблизительная оценка состава остаточного газа показала, что в ускорительной камере имеется ~54% газа с молекулярной массой $M = 28,8$ и тяжелых углеродов - 46% с массой $M = 205$.

Теоретический расчет интенсивности выхода ионов H^- из источника $I=20,5$ мкА. Эксперимент, проведенный на низком уровне магнитного поля, когда пучок ионов делает несколько больше 1,5 оборота, пройдя ускоряющий зазор, и удаляется от источника на расстояние до 16см, показал хорошее совпадение с расчетом - $2I$ мкА.

Улучшение вакуума в камере до $8 \cdot 10^{-7}$ Торр и уменьшение количества тяжелых молекул в составе остаточного газа позволит в 2 раза ($\sim 80\%$) увеличить коэффициент прохождения пучка до конечного радиуса.

Для циклотрона У-240 разработан и внедрен радиальный источник [2] многозарядных тяжелых ионов, в котором используются катодные узлы, состоящие из катода, антикатода, держателя катода и экрана, изготовленных методами порошковой металлургии из мелкодисперсных порошков вольфрама и молибдена. Использование прогрессивной безотходной технологии устранило трудности механической обработки металлического вольфрама и молибдена. Для получения МЗИ твердых веществ на этом же источнике нами совместно с ИИМ АН УССР разработаны катоды и антикатоды из спеченного порошкового вольфрама с добавками рабочего вещества, например Al_2O_3 . Испытания таких катодов на стенде показали высокие эксплуатационные свойства катодов и антикатодов с добавкой Al_2O_3 в случае, когда относительная плотность материала составляла $\sim 96\%$ и более, а количество рабочей добавки менялось от 1 до 25 %. Выход ионов алюминия из источника составлял 0,5; 0,4; 0,2; 0,04 мА/имп соответственно для Al^{+1} , Al^{+2} , Al^{+3} , Al^{+4} . Время работы источника при этом составляло в среднем 15 – 20 часов и не отличалось от времени работы источника с катодами, изготовленными методами механической обработки ковального вольфрама.

По источникам питания мы ориентируемся на использование серийно выпускаемых блоков типа ИСТР 2500/48, ИСТ 500/230, а также на разработанный в нашем институте источник типа ИССП, стабильность по току которого не хуже $5 \cdot 10^{-5}$, диапазон регулирования 0,1 – 1,1 номинального напряжения.

Для контроля и регулировки разработаны системы связи с мини-ЭВМ.

Система диагностики пучка циклотрона состоит из датчиков (емкостных и индукционных) и пробников, а также соответствующей электронной аппаратуры. В камере ускорения используются емкостные датчики, которые позволяют измерять и стабилизировать фазу ускоряемых ионов, а также дают информацию о положении и интенсивности пучка в области выпуска. Степень стабилизации фазы составляет 1° , а точность ее измерения 15%.

Тракт транспортировки пучка оснащен емкостными датчиками и пробниками.

В содружестве с НИИЭФА создается система диагностики пучка на основе микропроцессорной техники (исследование микроструктуры пучка) для оптимизации выпуска.

Совместно с Киевским политехническим институтом создается система измерения распределения интенсивности по площади пучка, включая и математическое обеспечение. Оригинальной частью этой системы является механический сканер, который с помощью нитей одновременно сканирует пучок в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Работы по автоматизации управления циклотроном предусматривают создание многоуровневой АСУ [3]. Параметры ускорителя классифицированы по общности регулирования и влияния на качество пучка, предусмотрена реализация контуров аналогового и цифрового управления. Часть аналоговых контуров – стабилизации фазы ускоряемых ионов, интенсивности пучка на мишень – успешно работают на ускорителе, некоторые – стабилизации положения пучка, интенсивности – находятся в стадии доработки.

Цифровые контуры реализуются с помощью микро- и мини-ЭВМ и образуют иерархическую структуру с разделением функций управления и вычисления на различных уровнях иерархии. Первый этап этой системы создается на базе микроЭВМ "Электроника-60" (4 шт.) и мини-ЭВМ типа СМ-4. Для связи используется последовательный интерфейс и операционная система реального времени *RSX11S*.

Вся структура базируется на нижнем уровне, который организован по модульному принципу на основе типового модуля управления 32 параметрами /4/.

В аппаратуре используются конструктивы ВИШНЯ и блоки в стандарте КАМАН, основой модуля является микроЭВМ "Электроника-60", объединенная в единую стойку с устройствами сопряжения.

При опытной эксплуатации было показано, что модуль обеспечивает вывод на рабочий режим всех 32 параметров менее чем за 12 мин (время не зависит от количества параметров). Это время следует считать оптимальным для У-240, поскольку при увеличении быстродействия контура возникает колебательный процесс из-за взаимосвязи систем авторегулирования тока в обмотках магнита.

В планах модернизации циклотрона предусмотрено первоначально АСУ из 4 модулей: для управления собственно циклотроном, управления трактом транспортировки, измерения параметров пучка, а также модуль диагностики состояния оборудования и защиты ускорителя.

Перечисленные мероприятия рассчитаны на поэтапную реализацию до 1990 года.

Л и т е р а т у р а

1. Hegedüs F., Ochinger H., Rerronico L., Willax H. Parasitic use of the 72 MeV injection beam for the production of I^{123} . Proceedings of the Intern.seminar on isochronous cyclotron technique. Krakow, 1978.
2. Демьянов А.В., Линева А.Ф., Палаш А.И., Сахно В.И., Шпаченко А.И., Стенд для испытания источника многозарядных ионов. Препринт ИЯИ-83-21, ИЯИ АН УССР, Киев, 1983.
3. Сахно В.И. Задачи и перспективы развития системы управления У-240. Препринт ИЯИ-85-21, ИЯИ АН УССР, Киев, 1985.
4. Линева А.Ф., Пашин В.А., Сахно В.И., Соколова Н.А. Исследование характеристик циклотрона У-240 в режиме управления от микро-ЭВМ. Препринт ИЯИ-86-1. ИЯИ АН УССР, Киев, 1986.