

Компактный медицинский циклотрон МГЦ-14

Э.Н. Бондарчук, М.Д. Веселов, М.Ф. Ворогушин, М.Т. Козиенко,
Е.Б. Крымов, В.Я. Моисеев, Ю.А. Свистунов, Ю.В. Смирнов,

А.В. Степанов, Ю.И. Стогов

*Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия*

Введение

В Научно-производственном комплексе линейных ускорителей и циклотронов (НПК ЛУЦ) НИИЭФА им. Д.В. Ефремова разработан проект компактного медицинского циклотрона МГЦ-14, предназначенного для производства УКЖ (С-11, N-13, O-15, F-18) и КЖ (Ga-67, In-111, I-123 и др.) радионуклидов, используемых в медицинской диагностике с помощью позитронно-эмиссионных томографов и однофотонных гамма-камер.

Принимая во внимание, что подобные установки размещаются в медицинских центрах, при проектировании ставилась задача создать компактный, экономичный и надежный циклотрон с автоматизированным управлением, позволяющим использовать при эксплуатации персонал средней квалификации.

Объем радиоактивной продукции, производимой на циклотроне, позволяет расположить ускоритель на расстоянии до 1 км от ПЭТ-центра и за счет работы в вечернее и ночное время обеспечить “циклотронными” изотопами 15-20 гамма-камер, расположенных в радиусе 50-100 км от циклотрона.

1. Основные характеристики циклотрона

МГЦ-14 представляет собой изохронный секторно-фокусирующий циклотрон, который обеспечивает ускорение отрицательных ионов водорода до энергии 14 МэВ при расчетном токе пучка до 100 мкА. Выпуск пучка на одну из трех внешних мишеней осуществляется обдиркой отрицательных ионов водорода в протоны на фольге со 100%-ой эффективностью.

Ниже приведены основные технические характеристики циклотрона МГЦ-14:

Пучок

тип ионов:

ускоряемых	H^-
выпущенных на мишень	H^+
энергия (макс.)	14 МэВ

ток пучка:

гарантированный	75 мкА
расчетный	100 мкА
число внешних мишеней	3

Магнитная структура

диаметр полюсов электромагнита	76 см
число секторов (на полюс)	4
зазоры (холм/долина)	2.4 см / 10 см
индукция магнитного поля	1.65 Тл
потребляемая мощность	20 кВт
вес (железо / медь)	18 / 1 т

ВЧ-система

число дуантов, связанных в центре	2
угловая протяженность дуанта	45°
кратность частоты ускоряющего напряжения	2
рабочая частота	50.2 МГц
амплитуда ускоряющего напряжения	35 кВ
скин-потери	6.9 кВт
выходная мощность ВЧ-генератора	9 кВт

Источник ионов и вакуум

тип источника ионов	P.I.G. с “холодным” катодом
мощность разряда	до 2 кВт
рабочий вакуум, при расходе газа 3-4 см ³ /мин	5 · 10 ⁻⁶ Тор

Габаритные размеры

циклотрон	2150 x 1830 x 1100 мм ³
высота медианной плоскости	1300 мм
общая высота	1850 мм
три стойки питания и управления каждая по	1200 x 1200 x 2000 мм ³

Потребление электроэнергии

в “ждушем” режиме	10 кВт
в режиме облучения	50 кВт

2. Проектные особенности циклотрона

Электромагнит циклотрона Ш-образной формы. Верхняя часть с помощью двух гидроцилиндров может подниматься на 350 мм для доступа к внутренним узлам вакуумной камеры. Изохронная зависимость среднего магнитного поля по радиусу формируется изменением азимутальной протяженности секторов без использования корректирующих обмоток. Источник отрицательных ионов водорода типа P.I.G. с “холодным” катодом [1] вводится в камеру радиально.

Высокочастотная ускоряющая система состоит из двух 45-градусных дуантов, кондуктивно связанных в центре. Дуанты со штоками и плакировками образуют два четвертьволновых резонатора. Рабочее напряжение на дуантах составляет 35 кВ, что обеспечивает прирост энергии за оборот ≈ 100 кэВ. Выпуск пучка на одну из трех внешних мишеней производится путем перезарядки отрицательных ионов водорода в протоны на тонкой фольге. Три перезарядных устройства содержат по три фольги, каждая из которых устанавливается в рабочее положение без нарушения вакуума.

Вакуумная камера циклотрона, объемом 200 л, конструктивно выполнена из обечайки и двух крышек. Каждая крышка состоит из установочного диска с секторами, являющегося частью полюса, и периферийной части, изготовленной из нержавеющей стали. Внутри камеры располагаются дуанты со штоками. В обечайке имеются отверстия для подсоединения патрубков трех диффузионных насосов для установки источника ионов, пробника, кондуктивного узла ввода ВЧ-мощности от оконечного каскада генератора, трех внешних мишеней. Высоковакуумная откачка камеры осуществляется тремя диффузионными насосами DIF-250 с суммарной быстротой действия 4200 л/с (по азоту) и 10590 л/с (по водороду). При напуске газа в ионный источник 4-5 см³/мин откачные средства обеспечивают среднее рабочее давление в камере $5 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст.

Управление циклотроном полностью автоматизировано. Все системы циклотрона управляются собственными микропроцессорами, связанными через контроллер посредством стандартных интерфейсов с компьютером, видеомонитором и специализированным функциональным пультом.

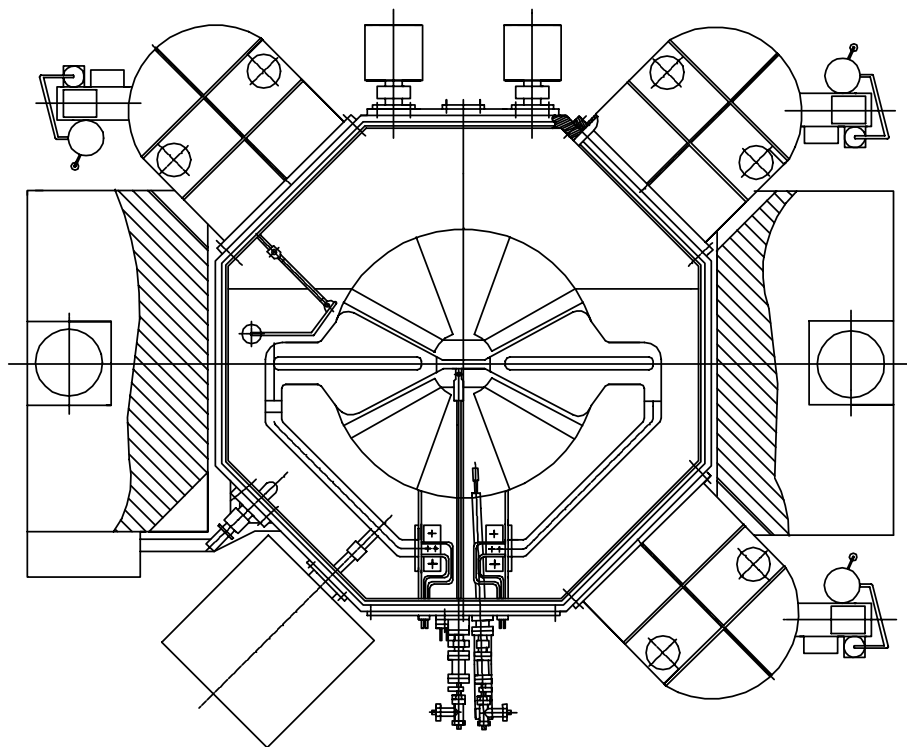


Рис. 1: Общий вид циклотрона.

Общий вид циклотрона МГЦ-14 показан на рис. 1. На рис. 2 приведена примерная схема размещения оборудования циклотрона в двух помещениях, площадью 12 м² (системы питания и управления) и 17 м² (защитный бункер).

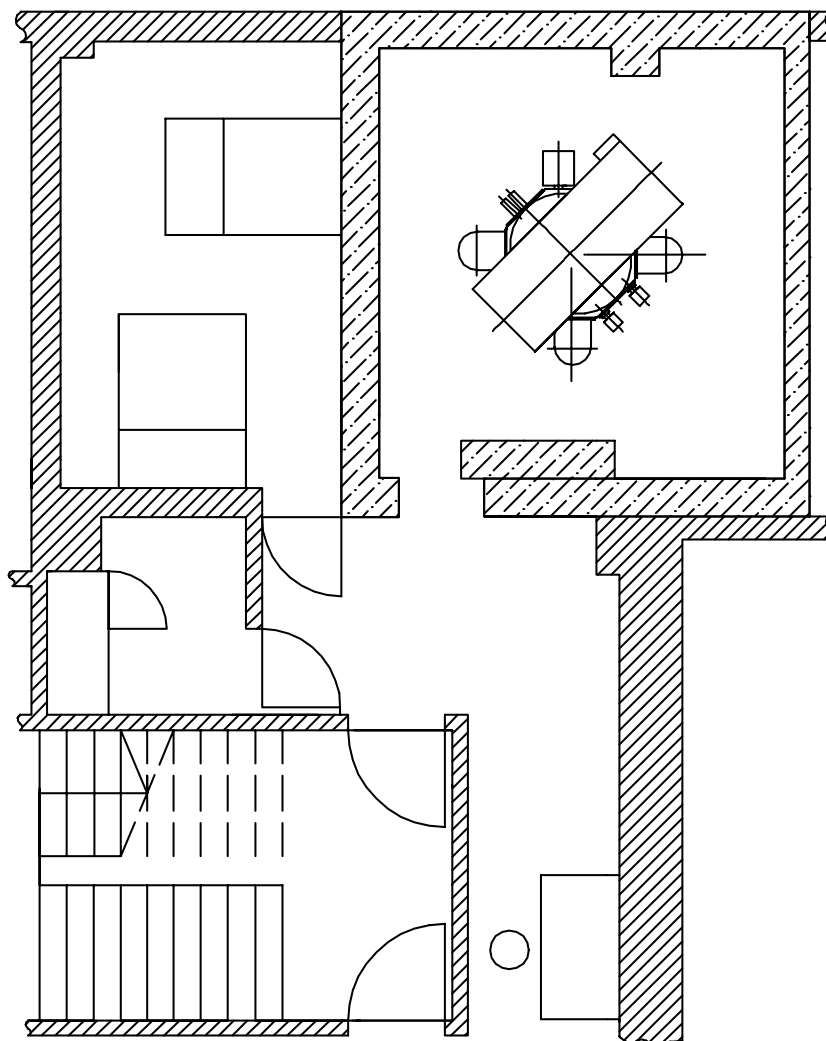


Рис. 2: Схема расположения оборудования.

Заключение

Большое внимание при проектировании циклотрона обращалось на создание надежной, компактной и удобной в эксплуатации машины. Реализация этих условий при полной автоматизации управления, выполняющей весь алгоритм включения, выключения и настройки циклотрона при минимальном участии оператора, достигается путем применения комплектующих изделий ряда западных фирм (Бальперс, Брукер, Сименс). Не исключается возможность оснащения циклотрона импортными автоматизированными мишенными комплексами и системами подготовки радиофармпрепаратов.

Список литературы

- [1] G.O.Hendry et. al. Proceedings of the 9-th Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications. (1981), p.125 .