

## БЕТАТРОН БЕЗ ЖЕЛЕЗНОГО ЯРМА И ПОЛЮСОВ

Г. И. ДИМОВ и Д. А. НОСКОВ

(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

Отказ от громоздкого железного электромагнита является одним из путей создания малогабаритного подвижного бетатрона. С отказом от железного электромагнита открывается возможность получения больших напряженностей магнитного поля, не ограниченных насыщением железа, и, следовательно, возможность создания ускорителя с небольшими радиальными размерами. Кроме этого, магнитное поле, создаваемое электромагнитом без железа, имеет хорошую фазовую структуру и большую статическую однородность, что также является большим достоинством электромагнита такого типа.

Эти заманчивые возможности и привлекли внимание исследователей различных стран. В Советском Союзе, Швеции и Англии делали попытки построить и запустить бетатрон с полным отсутствием железа.

В результате этих работ доказано, что электромагниты такого типа обладают двумя крупными недостатками. Во-первых, для создания магнитного поля с помощью таких электромагнитов затрачивается в десятки раз больше реактивной энергии по сравнению с электромагнитами с железом, т. е. они требуют громоздкой схемы питания; во-вторых, для создания больших напряженностей магнитного поля требуется большая плотность тока в катушках, вследствие чего возможна только импульсная работа.

Для уменьшения потребляемой бетатроном мощности, сокращения плотности тока в катушках и упрощения конструкции электромагнита целесообразно делать электромагниты с центральными железными сердечниками. Введение железных сердечников в сотни раз сокращает энергию, идущую на создание ускоряющего потока, которая составляет большую часть всей энергии, потребляемой бетатроном без железа. Габариты и вес электромагнита бетатрона такого типа, как и с полным отсутствием железа, получаются незначительными. Однако здесь сокращение габаритов электромагнита уже ограничено насыщением сердечников. Уменьшение габаритов и веса достигается только за счет отсутствия железных полюсов и магнитопровода.

Бетатрон с электромагнитом такого типа (с железными сердечниками) был сконструирован в 1949 г. в Голландии в Эйнговенской лаборатории на энергию 8 Мэв [1]. Электромагнит бетатрона состоит из двух катушек с двумя железными сердечниками. Его вес почти в 7 раз меньше веса соответствующего по энергии бетатрона с железом. Однако затраты энергии на создание магнитного поля в этом бетатроне все еще очень велики, велика и плотность тока в катушках.

Данных о расчете, запуске и особенностях работы таких бетатронов не опубликовано. Поэтому в лаборатории Томского политехнического института была поставлена работа с целью изучения электромагнита с железными сердечниками и нахождения наиболее рациональной его конструкции, а также с целью изучения особенностей работы безжелезных бетатронов.

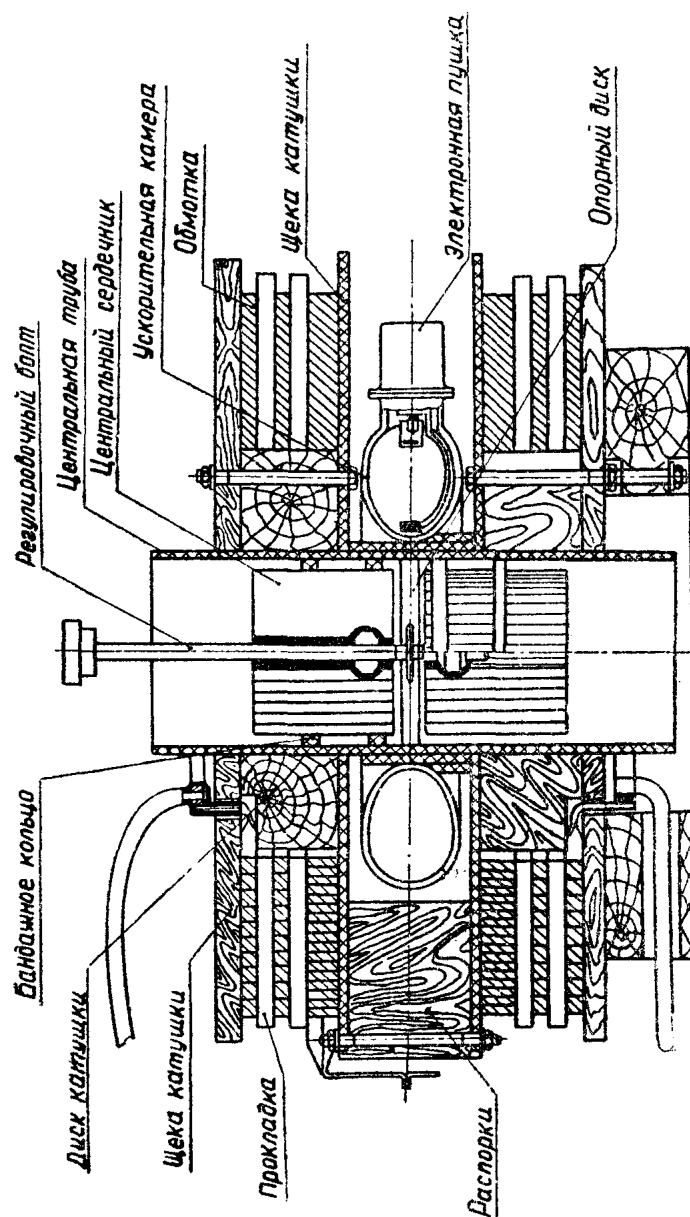


Рис. 1

Авторами был рассчитан, сконструирован и построен бетатрон без железного ярма и полюсов на энергию до 10 Мэв с радиусом равновесной орбиты 9,5 см. Бетатрон состоит из электромагнита, создающего магнитное поле необходимой для ускорения электронов конфигурации, вакуумной камеры, схемы питания электромагнита, схем инжекции и сброса электронов и других вспомогательных схем.

Электромагнит бетатрона состоит из двух коаксиальных катушек прямоугольного сечения с двумя центральными сердечниками (рис. 1). Каждая катушка имеет по 34 витка сечением 56 мм<sup>2</sup> (шесть параллельных ветвей). Центральные сердечники набраны из радиальных пластин и кре-

пятся в центре катушек в гетинаксовой трубе посредством винта, с помощью которого можно плавно регулировать зазор между сердечниками. Магнитное управляющее поле необходимой конфигурации создается между катушками, где и помещается стеклянная ускорительная камера с сечением  $7\text{ см} \times 5\text{ см}$ .

Достоинством данной конструкции электромагнита является простота изготовления, удобство в обращении и возможность легко изменять некоторые параметры и характеристики магнитного поля. Радиус равновесной орбиты легко меняется с изменением зазора между центральными сердечниками и с изменением расстояния между катушками, при этом показатель спада напряженности магнитного поля „ $n$ “ изменяется незначительно. Изменение длины сердечников влечет за собой как изменение радиуса равновесной орбиты, так и изменение показателя „ $n$ “ (при этом характер зависимости показателя „ $n$ “ от радиуса изменяется незначительно).

Хотя бетатрон, изготовленный в Томском политехническом институте имеет мощность питания в шесть раз меньше, чем голландский бетатрон, но эта мощность остается значительно большей, чем у бетатрона с железным магнитопроводом на соответствующую энергию.

Электрическая схема питания состоит из выпрямителя на газотроне, через который заряжается конденсаторная батарея емкостью  $90\text{ мкф}$ , разряжающаяся через игнитрон на катушки электромагнита. Напряжение на конденсаторной батарее  $8500\text{ в}$ , амплитуда тока через катушки электромагнита  $2400\text{ а}$ , длительность импульсов тока  $0,001\text{ сек}$ , частота повторения 2 импульса в секунду.

Отсутствие мощного коммутирующего прибора не позволило запустить бетатрон на расчетную энергию. Используя игнитрон И-100/1000 и применяя гашение обратного напряжения, мы запустили бетатрон на энергию около  $2,5\text{ Мэв}$  (пониженный режим: напряжение  $2000\text{ в}$  при токе около  $600\text{ а}$ , частота повторения около 20 импульсов в секунду).

Для работы в импульсном режиме была применена упрощенная схема инжекции, состоящая из емкости, переменного сопротивления и импульсного трансформатора, соединенных последовательно и подключенных параллельно катушкам электромагнита.

Характеристики магнитного поля бетатрона без железного ярма и полюсов несколько отличаются от характеристик поля, создаваемого в междуполюсном пространстве обычного бетатрона. Например, при отклонении от центральной плоскости величина „ $n$ “ в безжелезном варианте уменьшается, а в обычном—почти не изменяется. Фазовая и статическая неоднородности магнитного поля значительно меньше, чем у бетатронов с железным магнитопроводом.

В процессе исследования особенностей работы бетатрона безжелезного ярма и полюсов установлены некоторые зависимости, имеющие значение для бетатронов любых конструкций.

Так, например, установлено, что внутри ускорительной камеры существует диапазон значений радиуса равновесной орбиты, в границах которого его изменение не влияет на интенсивность излучения. Показано, что с помощью потенциальной функции можно предварительно установить оптимальный радиус равновесной орбиты. Экспериментальный оптимум отличается от теоретического на  $3\text{ мм}$ .

При исследовании зависимости интенсивности излучения от конфигурации магнитного поля показано, что более наглядной характеристикой фокусирующих свойств этого поля является потенциальная функция его фокусирующих сил. При изменении показателя „ $n$ “ на орбите от 0,5 до 0,72 высота потенциального барьера фокусирующих магнитных сил практически остается неизменной, не изменяется при этом и интенсивность излучения. При значениях „ $n$ “ на орбите 0,25 и 0,36 высота потенциального

барьера значительно уменьшается, интенсивность излучения в этих случаях также резко падает.

В процессе опытов установлено, что изменение положения электронной пушки в пределах 5—7 мм незначительно влияет на интенсивность излучения.

Исследования зависимости интенсивности излучения от длительности импульса при прочих равных условиях показали, что для данной конструкции бетатрона и данных схем интенсивность излучения изменяется незначительно при приведенных частотах импульса от 350 и 750 гц и значительно уменьшается при частоте 1000 гц и выше. Распространяя наши выводы на бетатроны с питанием переменным током, можно сказать, что каждая отдельная конструкция имеет диапазон частот, в пределах которого интенсивность излучения пропорциональна частоте. Вне границ этого диапазона пропорциональность нарушается.

Кроме бетатрона с двумя катушками, в лаборатории Томского политехнического института разработана более экономичная конструкция электромагнита бетатрона безжелезного ярма и полюсов (разработка Димова Г. И., Ананьева Л. М., Хорошилова С. В.).

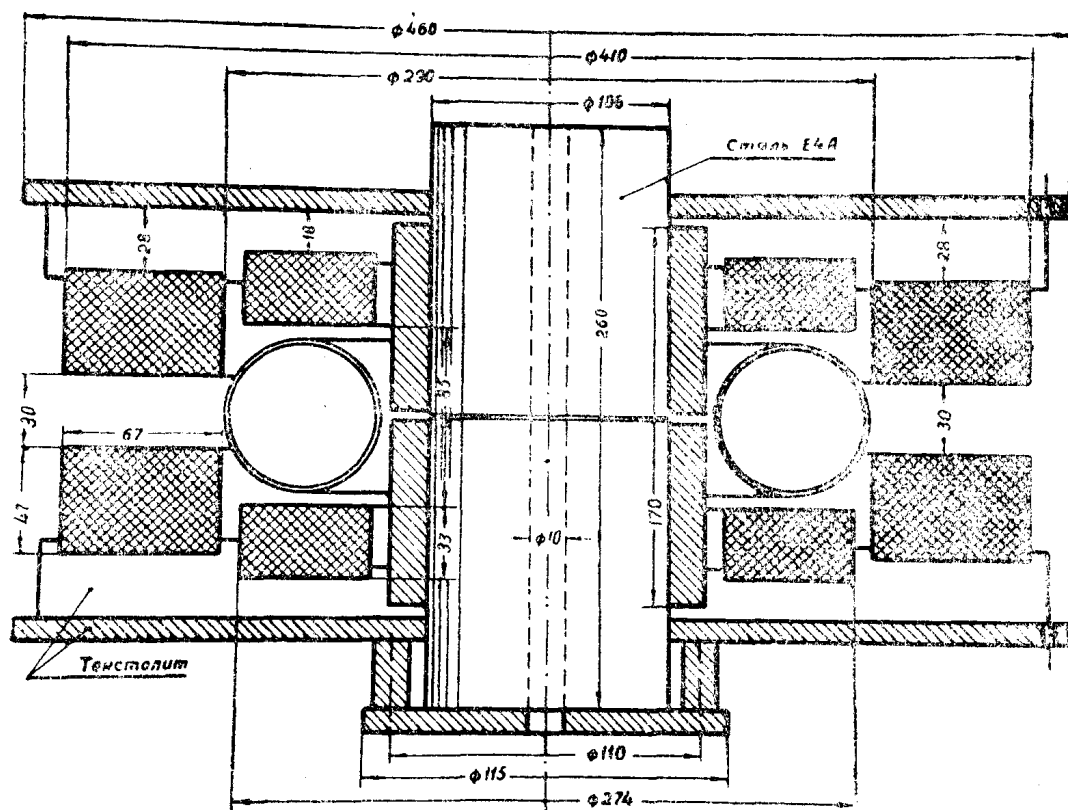


Рис. 2

Особенность этой конструкции электромагнита бетатрона заключается в том, что управляющее поле создается системой из пяти катушек (рис. 2). Введение средних катушек позволяет отказаться от значительного центрального зазора в сердечнике, приводит к более благоприятной конфигурации управляющего поля и увеличивает в аксиальном направлении область магнитного управляющего поля. Введение внутренней катушки с обратно направленным потоком позволяет увеличить длину сердечника и сократить расход реактивной энергии, что дает возможность увеличить частоту повторения до 50 импульсов в секунду. Применение этой катушки

имеет и отрицательную сторону: увеличивается радиальный размер электромагнита.

Бетатрон на 5 Мэв с электромагнитом этого типа имеет радиус равновесной орбиты 10 см (сердечники из трансформаторной стали Э 42). Вес электромагнита 60 кг.

Данная конструкция по мощности питания уже не уступает бетатрону с железным магнитопроводом при питании последнего током промышленной частоты. Электромагнит бетатрона на 5 Мэв потребляет ток 60 а при напряжении 3000 в и длительности импульсов 0,002 сек.

Однако и эта конструкция электромагнита не является совершенной. Уменьшая длительность импульсов и применяя сталь для сердечников с более высокой магнитной индукцией, можно сконструировать бетатрон такого типа на энергию до 10 Мэв с более высокими технико-экономическими показателями, не уступающий по средней интенсивности бетатрону с железным ярмом, работающему на промышленной частоте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Vietman und Oele, Phil. Tech. Pund. № 3., 1949.