

B-19

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

9 - 8766

ВАСИЛЕНКО
Алексей Тихонович

СИЛЬНОТОЧНЫЕ ЦИКЛИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ
(Особенности конструктивных решений)

Специальность 05.14.11 - электрофизические установки
и ускорители

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук И.Ф.Малышев,
кандидат технических наук Р.Ц.Оганесян.

Ведущее учреждение: Ленинградский институт ядерной физики
имени Б.П.Константинова, г.Гатчина.

Автореферат разослан " " _____ 1975 г.

Защита диссертации состоится " " _____ 1975 г.

в ____ час. на заседании Ученого совета Лаборатории
ядерных проблем Объединенного института ядерных ис-
следований, г.Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А.Батуров

9 - 8766

ВАСИЛЕНКО
Алексей Тихонович

СИЛЬНОТОЧНЫЕ ЦИКЛИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ
(Особенности конструктивных решений)

Специальность 05.14.11 - электрофизические установки
и ускорители

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

I. Непрерывно растущие требования к точности постановки физического эксперимента стимулируют научно-исследовательские и конструкторские работы в области создания сильноточных ускорителей. При этом возникают и требуют своего решения такие проблемы, как влияние пространственного заряда пучка на его устойчивое движение, прохождение резонансов, стопроцентный вывод пучка.

Интерес к сильноточным циклическим ускорителям обусловлен не только новыми возможностями в исследованиях структуры ядра и ядерных сил в домиллиардной области энергий, но также и открывающимися большими перспективами в решении ряда практических проблем: например радиационной обработки материалов, продуктов, испытания материалов, лечения онкологических заболеваний и т.д. Поэтому в ряде стран разрабатывают и строят протонные ускорители на средние энергии (400 - 1000 МэВ) и усредненный ток 50 - 200 мкА, проводят реконструкцию старых машин, интенсивно осуществляют исследования по созданию машин с током на сотни миллиампер.

Сильноточные ускорители, как правило, создаются на основе стационарного с азимутальной вариацией магнитного поля, благодаря которому возможно ускорение интенсивных пучков в режиме изохронного циклотрона, либо в режиме фазотрона с высокой частотой повторения импульсов.

Циклотронный режим, обеспечивающий максимальные интенсивности и непрерывные макроструктуры пучков, преимущественно используется во вновь создаваемых ускорителях, фазотронный режим - при реконструкции действующих синхроциклотронов.

В ряду проблем, которые стоят в настоящее время перед лабораториями, располагающими циклотронами низких энергий, важное место занимают проблемы увеличения энергии пучков до 40 - 80 МэВ (область недоступная для тандем-генераторов) и улучшения моноэнергетичности пучков до $\frac{\Delta E}{E} = 10^{-3} \div 10^{-4}$ (т.е. близкой к моноэнергетичности

пучков тандем-генераторов). Большое число циклотронных установок в физических лабораториях (более 100) определяет актуальность реконструкции действующих машин с целью получения вышеуказанных параметров.

В настоящей работе излагается опыт по созданию конструкций электронной модели сильноточной протонной машины с жесткой фокусировкой, изохронного циклотрона с регулируемой энергией $U=120\text{М}$ и выводных устройств пучка из камеры фазотрона, накопленный в конструкторском бюро Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

2. В кратком обзоре (глава первая) конструктивных схем сильноточных ускорителей показано, что в настоящее время нет установившихся общепринятых схем. Каждый проект является обоснованным и фактически определяется возможностями стран и накопленным опытом разработчиков.

3. Во второй главе описываются основные конструктивные особенности электронной модели, являющейся динамическим аналогом протонного изохронного циклотрона с конечной энергией 800 МэВ при токе около 100 мА.

Электронная модель выполнена из немагнитных материалов, при этом в качестве основного конструктивного материала взят дюралюминий как достаточно технологичный и дешевый. Магнитное поле формируется проводниками с током. На рис. 1 изображена ускорительная камера.

В данной разработке наибольший интерес с точки зрения инженерных решений представляют такие узлы ускорителя, как полюсная крышка, дуант и дополнительная вариационная обмотка.

а) Необходимая жесткость полюсных крышек диаметром 2420 мм, нагруженных атмосферным давлением, была достигнута следующим путем. Крышки выполнены в виде низких цилиндрических коробок, одно из днщ которых оребрено со стороны внутренней полости коробки. При этом между ребрами и вторым днщем оставлен зазор, равный половине проги-

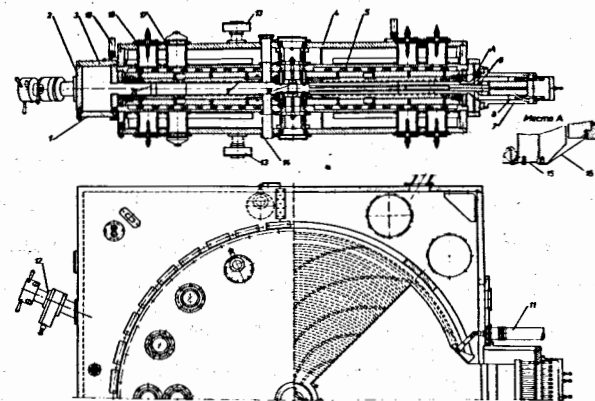


Рис. 1. Ускорительная камера. 1 - нижняя крышка камеры, 2 - боковая стенка камеры, 3 - верхняя крышка камеры, 4 - верхний диск полюсной крышки, 5 - нижний диск полюсной крышки, 6 - дуант, 7 - резонансная линия, 8 - закорачивающее устройство, 9 - диск с катушками тонкой коррекции среднего магнитного поля, 10 - центральная колонна, 11 - фидерная линия, 12 - шпиль пробника, 13 - шиберный затвор, 14 - вход тракта инъекции электронов, 15 - контактная плоская пружина, 16 - плакировка.

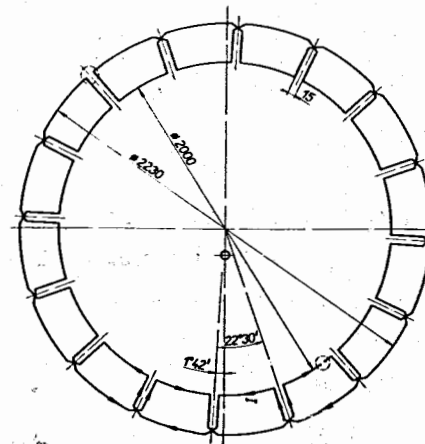


Рис. 2. Дополнительная вариационная обмотка.

ба неоребреного днаща, который вызывается действием атмосферной нагрузки. Внутренняя полость крышек откачивается до давления $10^{-2} - 10^{-3}$ Тор. Крышки свободно опираются на распорное кольцо по наружному периметру и на колонну в центре.

Дается инженерный метод расчета жесткости диска с радиально расположенными ребрами. Суть расчета в следующем. Рассматривается условно вырезанный из диска сектор, ограниченный ближайшими ребрами, со свободными опорами на краях. Нагрузка - атмосферное давление. Так как сектор в плане имеет геометрию трапеции, то силовое воздействие атмосферы $q = 1 \text{ кг/см}^2$ может быть заменено двумя силовыми факторами: равномерной нагрузкой с интенсивностью $q_1 \text{ кг/см}$ ($q_1 = aq$) и треугольной нагрузкой с максимальным значением интенсивности $q_2 \text{ кг/см}$, $q_2 = \frac{B-a}{2} q$. Изгибающие моменты в сечении X от соответствующих силовых факторов равны:

$$M_1(x) = \frac{1}{2} q a L x - \frac{1}{2} q a x^2, \quad (1)$$

$$M_2(x) = -\frac{1}{6} q \frac{B-a}{L} x^3 + \frac{1}{6} q (B-a) L x. \quad (2)$$

Уравнение изогнутой оси балки имеет вид:

$$y'' = \frac{M(x)}{E J(x)}, \quad (3)$$

где

$$M(x) = M_1(x) + M_2(x),$$

$J(x)$ - момент инерции поперечного сечения балки с координатой X .

В расчете взято среднее арифметическое значение момента инерции J_{cp} между двумя предельными значениями, соответствующими конечным сечениям сектора - балки.

После интегрирования уравнения (3) получим:

$$y = \frac{1}{E J_{cp}} \left[\frac{qL}{36} (2a+B)x^3 - \frac{aq}{24} x^4 - \frac{q}{120} \frac{B-a}{L} x^5 + \frac{aqL^3}{24} + \frac{q}{120} (B-a)L^3 x - \frac{qL^3}{36} (2a+B)x \right]. \quad (4)$$

Максимальный прогиб имеет место при $X = 55,509 \text{ см}$. При $a = 25,7 \text{ мм}$, $B = 452,6 \text{ мм}$, $L = 1073 \text{ мм}$, $q = 1 \text{ кг/см}^2$, $J_{cp} = 899 \text{ см}^4$, $E = 0,71 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ прогиб y равен $0,0647 \text{ см}$.

Совершенно очевидно, что диск прогнется несколько меньше, чем сектор, вырезанный из этого диска. Необходимо найти поправочный коэффициент n . Он находился сопоставлением прогиба диска без ребер, для которого есть точное решение, и прогиба сектора, вырезанного из данного диска, который определен по формуле (4). Найдено, что для диска, усиленного радиально расположенными ребрами, имеющего опору в центре и по периметру, коэффициент $n = 1,2$. Прогиб, вычисленный по формуле (4), необходимо уменьшить в 1,2 раза. Экспериментально установлено хорошее соответствие расчетного значения прогиба с измеренным.

Максимальное значение деформации полюсной крышки, вычисленное с учетом вышеотмеченного распределения нагрузки между гладким и оребранным днащами, а также коэффициента $n = 1,2$, равно $0,27 \text{ мм}$. Измеренная деформация крышки на соответствующей координате равна $0,24 \pm 0,02 \text{ мм}$.

б) Предложен и реализован в конструкции дуанта способ компенсации весовой нагрузки тонкостенных элементов консольных конструкций, заключающийся в возбуждении с помощью натяжного устройства в одном или нескольких сечениях изгибающего момента, обратного по знаку моменту от весовой нагрузки. Крышка дуанта выполнена из дюралюминия $\delta = 9,5 \text{ мм}$ с последующей обшивкой медью $\delta = 0,5 \text{ мм}$. Крышка при длине $L = 925 \text{ мм}$ и консольной заделке без компенсации весовой нагрузки прогибается на 3 мм . С компенсацией только лишь в одном сечении $X = 505 \text{ мм}$ ($M_x = 60 \text{ кг}\cdot\text{см}$) прогиб равен $0,17 \text{ мм}$.

в) В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1972 году открыт эффект расширения замкнутых орбит пучка в периодических магнитных полях. Коэффициент уплотнения орбит $\frac{P}{L} \frac{dL}{dP}$ зависит от вариации магнитного поля, поэтому возможно существенно регулировать (20 - 50 раз)

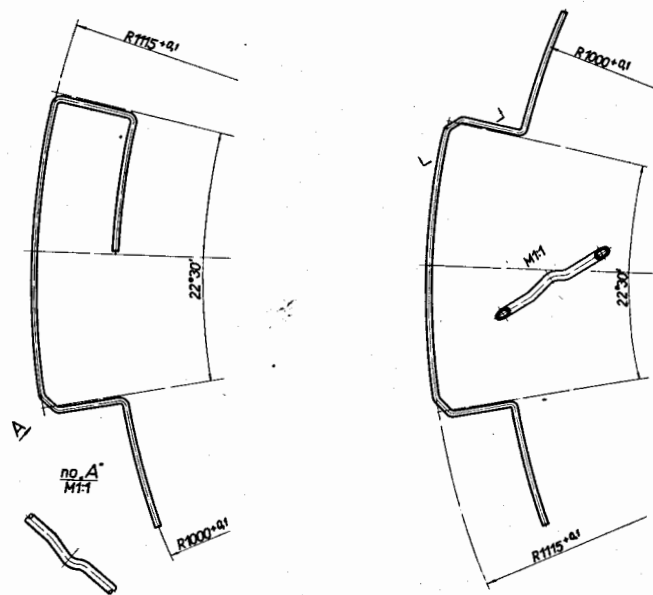


Рис. 3. Секции дополнительной вариационной обмотки.

коэффициент расширения орбиты за счет изменения вариации поля ϵ .

$$\frac{P}{L} \cdot \frac{dL}{dP} = \frac{1}{1+n+\frac{R}{\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dR}},$$

λ - параметр, зависящий от ϵ .

Для проверки этого соотношения была проведена в весьма сжатые сроки (три месяца) реконструкция электронной модели, в результате которой изготовлена и смонтирована дополнительная вариационная обмотка (рис.2) на предельных радиусах ускорителя. Сжатый срок реконструкции стал возможен благодаря разработке весьма простой конструкции дополнительной обмотки, сложно пересекающейся с основной. Основные звенья дополнительной обмотки, выполненной из медной трубки ϕ 7/4, показаны на рис.3. Звенья между собой соединены цилиндрическими муфтами с последующей пайкой твердым припоем. Центровка обеспечена стеклотекстолитовыми вкладышами, уложенными в кольцевые проточки в полюсном диске. Ошибка в центровке не превышает 0,2 мм, а отклонение от правильной геометрии - не более 0,3 мм. Расширение орбит, экспериментально полученное на электронной модели, равно 3 см.

4. В третьей главе описывается изохронный циклотрон с регулируемой энергией (рис.4, 5), предназначенный для работы на протонах (I3-39,8 МэВ), дейтронах (8,7 - 20 МэВ), альфа-частицах (I7,4 - 40 МэВ) и ядрах ^3He (I7 - 50 МэВ) при токе 20 - 100 мкА с моноэнергетичностью $(1 - 3)10^{-3}$. Средний эмитанс выведенного пучка - $16\bar{x}$ мм мрад. Диапазон перестраиваемых частот 9 - 27 МГц. Максимальное ускоряющее напряжение - 50 кВ. Система вывода - электростатическая с эффективностью 0,5.

При разработке циклотрона У-120М предложены оригинальные инженерные решения по симметрированию ускорительной камеры в межполюсном зазоре, а также по исполнению конструкции резонансной линии ускорителя.

а) Ускорительная камера, выполненная из дюралюминиевых плит, симметрируется в межполюсном зазоре с помощью гидравлических подушек,

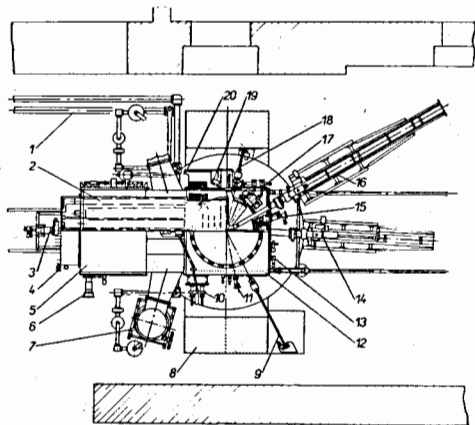


Рис. 4. План циклотрона У-120М в здании ОИЯИ. 1 - форвакуумная линия, 2 - средний электрод резонансной линии, 3 - пробник №1, 4 - электропривод на пуллер, 5 - резонатор, 6 - фидер, 7 - высоковакуумный агрегат, 8 - электромагнит, 9 - пробник №2, 10 - триммер правый, 11 - возбудитель, 12 - ускорительная камера, 13 - дефлектор I, 14 - ионный источник, 15 - дефлектор II с компенсатором, 16 - пробник №3, 17 - дефлектор III, 18 - пробник №4, 19 - датчик положения выведенного пучка, 20 - выпускное окно.

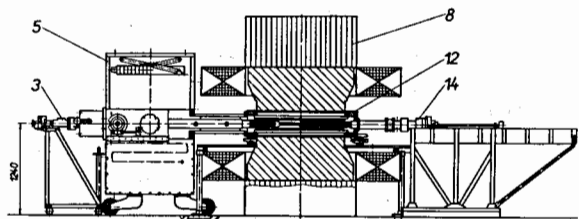


Рис. 5. Вертикальный разрез циклотрона У-120М. 3 - пробник №1, 5 - резонатор, 8 - электромагнит, 12 - ускорительная камера, 14 - ионный источник.

рис.6. Предварительная установка камеры в медианной плоскости межполюсного зазора осуществляется специальными домкратными устройствами на опорных катках камеры с применением калиброванных планок, укрепленных на периферии гидроподушек. Для рассматриваемой машины, при совместном действии атмосферных и электромагнитных сил на крышки вакуумной камеры, электромагнитные силы даже при низшем значении индукции 10000 Гс существенно больше атмосферных. Избыток электромагнитных сил, действующих на крышки, несущие стальные элементы, которые формируют поле в рабочем зазоре электромагнита, компенсируется давлением рабочей жидкости в гидроподушках. При максимальной индукции магнитного поля давление в гидроподушках равно $3,4 \text{ кг/см}^2$, а при минимальной - $1,2 \text{ кг/см}^2$. При магнитных измерениях камера не вакуумируется, поэтому верхнее значение давления рабочей жидкости равно $4,4 \text{ кг/см}^2$, а нижнее - $2,2 \text{ кг/см}^2$.

К достоинствам описываемой схемы расклиновки камеры в межполюсном зазоре электромагнита в сравнении с известными способами (болтовое крепление крышек на полюсах электромагнита, крепление к полюсу с помощью захватов с последующим распором металлическими клиньями, постановка на домкраты верхней балки с полюсом электромагнита) следует отнести: а) высокую степень разгрузки крышек камеры во всех режимах работы ускорителя, что позволяет надеяться на хорошую повторяемость параметров магнитного поля при последующих демонтажных и монтажных работах на ускорительной камере; б) невозможность отказа типа "заклинивания" камеры в межполюсном зазоре; в) простоту конструкции.

б) Резонансная линия циклотрона образована ускорительной, промежуточной камерами и резонатором с подвижными панелями. Резонатор с промежуточной камерой соединяется не как обычно-болтами или шпильками, а с помощью шпилек с кольцевыми проточками, в которые входит профилированная лента, рис.7. Такое конструктивное решение сочленения

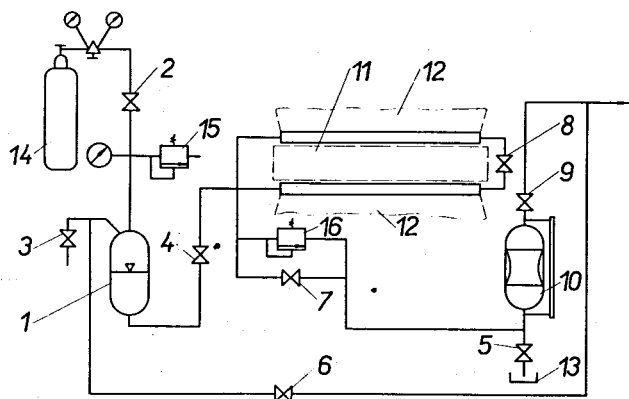


Рис.6. Схема привода гидроподушек. I - бачок с маслом, 2 - 9 - вентили, 10 - контрольный бак, II - ускорительная камера, 12 - полюс электромагнита, 13 - противень, 14 - баллон со сжатым газом, 15 и 16 - предохранительные клапаны.

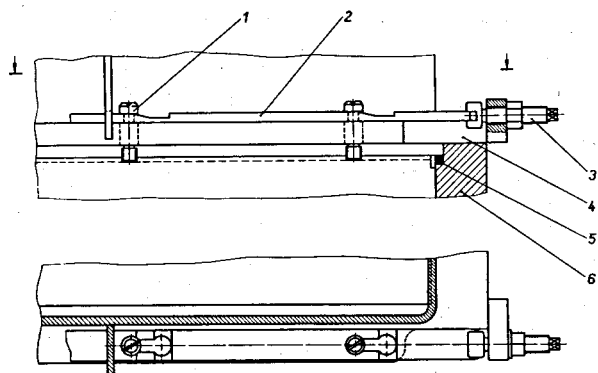


Рис.7. Стыковка промежуточной камеры с резонатором. 1 - шпилька с проточкой, 2 - лента профилированная, 3 - винт, 4 - фланец промежуточной камеры, 5 - уплотнительный шнур, 6 - резонатор.

может применяться как в малодоступных местах, так и в местах с повышенной радиоактивностью, так как стыковку и расстыковку возможно проводить дистанционно, связав ленту, например, с гидроцилиндрами.

Резонансная линия грубо перестраивается двумя подвижными панелями. Синхронное плоскопараллельное движение панелей задается электроприводом. Ведомые валы через равноплечие рычаги связаны с панелями. Плоскопараллельное движение достигается благодаря жесткой связи через гибкий элемент (трос) соответствующих цапф рычагов, находящихся во вращательной паре с панелью. Точная настройка резонансной линии производится двумя триммерами с емкостью по 375 пф каждый. Настройка - электромашинная.

Контакт подвижных панелей со стенками резонатора обеспечивает закорачивающим механизмом, одна из секций которого показана на рис.8. Секция состоит из дюралюминиевого оксидированного корпуса 7, упругих пластин I с призмами, вала 2, с которым жестко связаны эксцентрики 3, цилиндрических шестерен 5, зацепленных с рейкой штока гидроцилиндра (на рисунке рейка и гидроцилиндр не показаны).

Упругие пластины шириной по 50 мм могут самоустанавливаться относительно кулачка подвижной рамки, находящейся в кинематической связи с эксцентриками. Поэтому каждая пластина с призмами находит свое оптимальное положение при замыкании контакта, что достигается поворотом вала с эксцентриками на 180° по отношению к позиции, изображенной на чертеже. При отмеченном повороте вала рамка переместится на 10 мм, тогда как пластина I - на 7 мм, так как призмы пластины встречают стенку резонатора и дальше перемещаться не могут. Кулачок рамки при своем дальнейшем движении прогнет упругую пластину на 3 мм. В результате под вершинами призм возникнут реактивные силы. При этом удельное давление находится в пределах $100 - 120 \text{ кг/см}^2$. Из-за возможных неровностей плакировки на стенках резонатора, из-за отклонения поверхности стенки от прямолинейной формы вследствие проги-

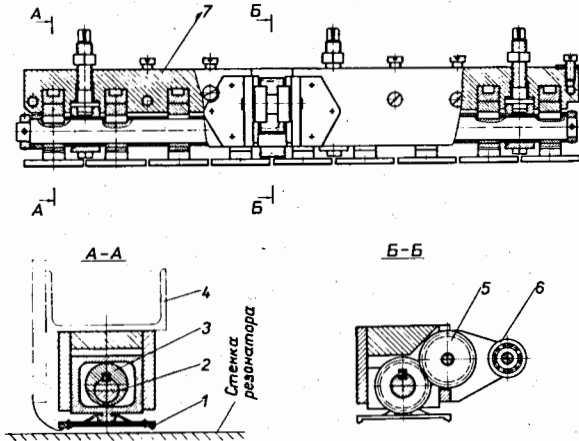


Рис.8 Закорачивающее устройство. 1 - контактная пластина, 2 - вал, 3 - эксцентрик, 4 - каркас подвижной панели, 5 - шестерня, 6 - опорный подшипник, 7 - корпус.

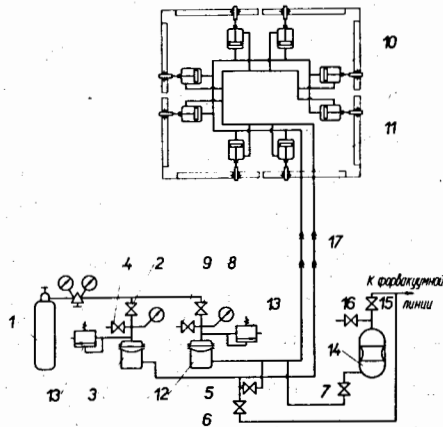


Рис.9. Схема гидропривода на закорачивающее устройство. I - баллон со сжатым газом; 2, 4, 5 - 9, 15, 16 - вентили; 3 и 12 - аккумуляторы, 10 - гидроцилиндр, 11 - подвижная панель; 13 - предохранительный клапан, 14 - бак; 17 - гибкий шланг.

ба под действием атмосферной нагрузки деформация отдельных упругих пластин может отличаться от предельной на $I - 2$ мм. Это означает, что нижний предел удельного давления в токовом переходе будет равен 40 кг/см^2 , что вполне достаточно для обеспечения надежного контакта.

Стабильность упругих свойств пластин обеспечивается изготовлением их из качественной высоколигированной стали с последующей закалкой и меднением с толщиной слоя меди не менее 30 мкм .

На макете закорачивающего устройства были проведены испытания. Линейная плотность высокочастотного тока достигнута 4 А/мм , это предельная плотность тока, возможная в резонаторе. Найдено, что упругие пластины, не покрытые медью, разогреваются токами высокой частоты. Температура пластин, защищенных медью, определялась температурой токового перехода, образованного фольгой закорачивающего устройства. Температура фольги находилась в пределах 60°C .

Схема гидропривода на закорачивающее устройство приведена на рис.9. Сжатый воздух из баллона I через редуктор и вентиль 2 поступает в аккумулятор 3. При этом вентили 4 - 8 должны быть закрыты, а вентиль 9 открыт. Под действием сжатого воздуха ($P = 6 \text{ кг/см}^2$) мембрана аккумулятора 3 выжимает диффузионное масло в линию и под поршневое пространство гидроцилиндра 10 со стороны рейки. Поршень с рейкой, перемещаясь в сторону глухого торца гидроцилиндра 10, разъединяет высокочастотный токовый переход. Панель II освобождается, и ее возможно переставить в новое рабочее положение. Для возобновления токового контакта необходимо закрыть вентили 9 и 2, открыть вентили 4 и 8. Под действием воздуха масло из аккумулятора 12 пойдет в рабочие гидроцилиндры 10 со стороны глухого торца. Поршень с рейкой пойдет в обратном направлении и восстановит токовый контакт.

Предохранительный клапан 13 гарантирует безопасную работу. Вентили 5 - 7, 15 и 16, бачок 14 необходимы при первоначальном заполнении линий и емкостей гидропривода диффузионным маслом.

Вода для охлаждения подвижных панелей и масло в гидроцилиндры вводятся в резонатор гибкими вакуумно-плотными металлическими рукавами.

Стенка резонатора со стороны промежуточной камеры выполнена из двух плит. Такое конструктивное решение, направленное на упрощение технологии изготовления плит и на повышение их механической прочности за счет ликвидации узких перемычек, неизбежно имеющих место в случае изготовления стенки из единого листа, стало возможным при специальном исполнении (показано на рис.10) средних плит боковых стенок резонатора. Данное исполнение уплотнения предлагается впервые. Испытания уплотнения, проводимые на модели резонатора, дали положительные результаты.

5. В четвертой главе описываются и сравниваются конструкции двух регенеративных выводных систем пучка из камеры сильноточного фазотрона (установки "Ф"): а) ферромагнитной системы с электромагнитной секцией канала с эффективностью 0,5; б) системы с эффективностью 0,9, состоящей из двух электростатических секций и ферромагнитного канала.

Актуальность разработки выводной системы пучка из фазотрона со всей очевидностью следует из такого параметра фазотрона, как мощность пучка, равная 35 кВт. В настоящее время мощность пучка синхротрона ЛЯП ОИЯИ составляет около 1,9 кВт. В камере рассеивается около 1,8 кВт, что составляет половину от мощности потерь в фазотроне при 90%-ном выводе. Но уже в настоящее время уровень активации деталей ускорителя весьма высокий.

а) Электромагнитная секция имеет две токовые катушки. Через основную катушку проходит ток 10500 А, через вспомогательную - 3400 А. Проводники, образующие септум секции, разделены оксидированной алюминиевой пластиной. Расчетное значение эффективности вывода в 50 % получено при толщине септума 4 мм. Толщина проводника мала, а ток

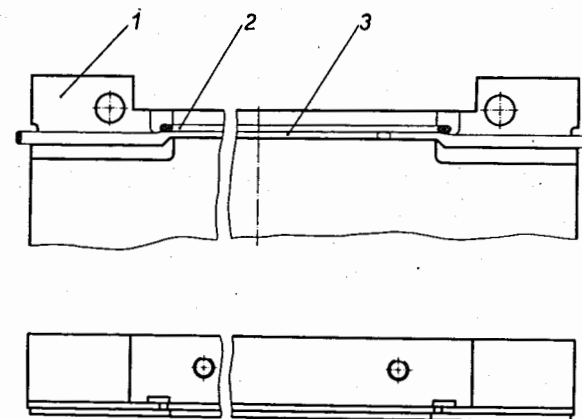


Рис.10. Средняя панель боковой стенки резонатора.
1 - панель, 2 и 3 - шнуровой уплотнитель.

через проводник велик, поэтому не удается исключить прогиб проводников под действием электромагнитных сил. Относительное смещение проводников рано или поздно приведет к разрушению изоляции. Это один из недостатков электромагнитной секции. Второй недостаток — большая сложность конструкции. Третий недостаток — большой объем демонтажных работ, проводимых с помощью специальных механизмов, в случае ремонта секции.

б) При разработке электростатической системы вывода удалось найти такие конструктивные решения, которые обеспечили предельную простоту электростатических секций и простые монтажные операции. Следует отметить, что доступ к электростатическим секциям обеспечивается после откатки промежуточной камеры резонансной линии. Данные работы предусмотрены проектом установки "Ф", поэтому обеспечены всеми необходимыми механизмами. Полный объем монтажных (демонтажных) работ в варианте электростатической системы вывода в 2 — 3 раза меньше, чем в варианте с электромагнитной секцией.

На этапе технического проектирования невозможно отдать предпочтение той или иной системе, несмотря на кажущиеся преимущества электростатической системы, так как отсутствуют экспериментальные данные как по коэффициенту вывода, так и по эксплуатационным параметрам. Основная неопределенность вносится чувствительностью обеих систем к внешним возмущениям магнитного поля в зоне возбуждения колебаний, а также к первоначальной структуре пучка (распределение по амплитудам радиальных и вертикальных колебаний), которая неизвестна вплоть до запуска ускорителя. С этой точки зрения определенным преимуществом обладает железо-токовая секция (электромагнитная), азимутальная протяженность которой значительно меньше отклоняющей секции электростатического дефлектора.

Необходимо проведение эксперимента на макете электростатической секции для выявления эксплуатационных характеристик. Окончатель-

ное решение может быть принято после испытания на работающем ускорителе. Правомочность такой схемы отбора систем следует из высоких требований к их эффективности работы и эксплуатационным характеристикам.

Технические трудности при разработке конструкции электростатической секции были обусловлены:

а) необходимостью расположения секций в узкой (100 мм) и глубокой (~3000 мм) щели дуанта;

б) невозможностью разборки дуанта с помощью манипулятора;

в) необходимостью регулировок как радиального, так и углового положения дефлектора и возбуждителя;

г) необходимостью обеспечения оперативного доступа к секциям с целью возможной замены сетки дефлектора, изоляторов, а также уплотнителей по воде;

д) сильным ограничением свободного пространства между конечным радиусом ускоренного пучка, равным 2700 мм, и обечайкой дуанта — 2900 мм.

Разработка проекта стала возможной после того, как был найден новый способ привода секций, позволяющий производить машинную сборку (разборку) секций в дуанте за одно движение, например, по дуге обечайки дуанта.

Краткий итог работы состоит в следующем:

I. Разработана конструкция электронного аналога циклотрона с жесткой фокусировкой, на котором была подтверждена возможность создания высокоточных мезонных фабрик в области энергий до 1 ГэВ.

I.I. Предложен способ уменьшения прогиба длинных тонкостенных консольных элементов конструкции, заключающийся в частичной компенсации весовой нагрузки возбуждением напряжений, обратных по знаку напряжениям от весовой нагрузки.

1.2. Предложен инженерный метод расчета жесткости орбренного диска, подтвержденный экспериментом.

2. Разработана конструкция нового ускорителя с регулируемой энергией пучков частиц P , d , α , ${}^3\text{He}$ на базе магнита ускорителя У-120. Найден и реализован ряд нестандартных решений.

2.1. Предложен новый способ уплотнения прямоугольных плит.

2.2. Предложен новый способ пространственной стабилизации положения ускорительной камеры в межполюсном зазоре электромагнита, заключающийся в применении последовательно включенных гидropодушек.

2.3. Разработано новое надежное эффективное закорачивающее устройство.

2.4. Разработан оригинальный механизм плоскопараллельного перемещения панелей, обеспечивающий плавное перемещение их и точную фиксацию.

2.5. Предложено быстроразборное стыковочное устройство для сочленения резонатора с промежуточной камерой на базе профилированных лент.

3. Выполнены конструктивные разработки и проведен сравнительный анализ систем вывода пучка из сильноточного фазотрона (установки "Ф"). При этом разработан оригинальный привод электростатических секций, выполненный на базе сильфонов, что позволило предельно упростить конструкцию привода и секций в целом.

Некоторые материалы работы доложены на рабочих совещаниях по У-120М и опубликованы в работах /I-II/.

Литература

1. В.Н.Аносов, А.Т.Василенко, В.П.Дмитриевский и др.
Релятивистский кольцевой циклотрон с жесткой фокусировкой .
Препринт ОИЯИ, Р9-3787, Дубна, 1968.

2. А.Т.Василенко, Л.Г.Денисова и др.
Конструкция электронной модели релятивистского кольцевого циклотрона с жесткой фокусировкой . Сообщение ОИЯИ, 9-4512, Дубна, 1969.

3. А.Т.Василенко.

Конструкция циклотрона У-120М . Материалы II рабочего совещания по изохронному циклотрону У-120М, Р9-6241, Дубна, 1972.

4. А.Т.Василенко, А.А.Глазов, Ю.Н.Денисов, В.П.Дмитриевский, Н.Л.Заплатин, В.В.Кольга. Основные параметры и результаты исследований по системам ускорителя . ОИЯИ, Р9-7339, стр.22, Дубна, 1973.

5. А.Т.Василенко, Л.Г.Денисова и др.
Конструкция основных узлов циклотрона . ОИЯИ, Р9-7339, стр.33, Дубна, 1973.

6. Д.П.Василевская, А.Т.Василенко и др.
Автоматический стенд для измерения характеристик магнитного поля циклотрона . ОИЯИ, Р9-7339, стр.75, Дубна, 1973.

7. А.Т.Василенко, Н.Л.Заплатин и др.
Формирование магнитного поля электронной модели кольцевого циклотрона для вывода частиц методом расширения замкнутых орбит .
Сообщение ОИЯИ, Р9-8256, Дубна, 1974.

8. А.Т.Василенко, А.А.Глазов, В.П.Джелепов, В.П.Дмитриевский, Ю.Н.Денисов и др.
Экспериментальное исследование эффекта расширения замкнутых орбит в циклотроне с жесткой фокусировкой . ОИЯИ, Е9-8443, Дубна, 1974.

9. А.Т.Василенко, Б.И.Замолодчиков.
Конструктивная схема дуанта для релятивистского циклотрона .
Е9-3-8638, Дубна, 1975.

10. А.Т.Василенко, Б.И.Замолодчиков.
Пробник с малым провисанием . Е9-3-8637, Дубна, 1975.

11. А.Т.Василенко, Л.Г.Денисова и др.
Изохронный циклотрон У-120М с регулируемой энергией (конструктивные решения). Сообщение ОИЯИ, 9-8631, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 апреля 1975 г.