

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4433/2-81

31/8-81

P9-81-339

В.С.Алфеев, А.Ю.Грищенко, В.И.Илющенко,
А.М.Коврижных, В.И.Лобанов, Е.А.Матюшевский,
И.А.Шелаев

МОДЕЛИРОВАНИЕ
"ХОЛОДНОЙ" ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ
СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СИНХРОТРОНА

Направлено в ПТЭ

1981

ВВЕДЕНИЕ

В зависимости от температуры стенок вакуумные камеры проектируемых синхротронов со сверхпроводящей магнитной системой можно условно разделить на "холодные" /1,2/, стенки которых находятся при температуре жидкого гелия, и "теплые" /3,4/, рабочая температура которых значительно выше. Проектом нуклотрона /1/ предусматривается "холодная" камера. Этот вариант конструктивно значительно проще и обеспечивает возможность получить более высокий вакуум за счет криосорбции остаточного газа на стенках камеры. Последнее обстоятельство особенно важно для нуклотрона, т.к. позволит ускорять тяжелые ядра с минимальными потерями за счет перезарядки.

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования вакуумных характеристик трех периодов "холодной" ускорительной камеры модельного сверхпроводящего синхротрона /5/. В последнем наряду с протонами предполагается ускорять тяжелые ионы, и, согласно предварительным оценкам, давление в его камере должно быть не выше 0,6 нПа с тем, чтобы потери ионов за счет перезарядки не превышали 15%.

КОНСТРУКЦИЯ КАМЕРЫ

Регулярный период магнитной системы модельного синхротрона имеет ФODO структуру /5/, что отразилось и на конструкции камеры. На рис. 1 показана схема вакуумной камеры одного периода. Два цилиндрических участка /1/ камеры предназначены для размещения

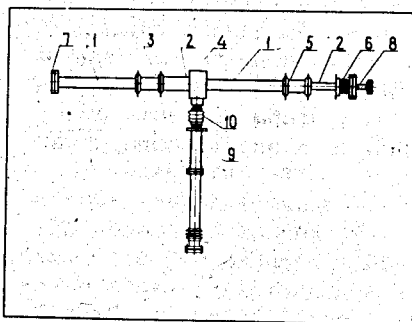


Рис. 1

дипольных магнитов и имеют длину 420 и внутренний диаметр 50 мм. Два линзовых участка /2/ длиной по 150 мм каждый в поперечном сечении представляют собой эллипсы с осями 30x62 мм², причем в D-линзе /в центре камеры/ большая ось эллипса ориентирована вертикально, а в Ф-линзе - горизонтально. В трех не занятых магнитами коротких участках /3-5/ предполагается разместить корректирующие безжелезные сверх-

проводящие магниты /3/ или 5/ или пикап-электроды /5/ или 3/ в зависимости от четности периода. Короткий свободный участок /4/ имеет вертикальный патрубок для подсоединения к камере насоса или датчика давления. Два концевых участка /7/ и 8/ содержат разборное фланцевое соединение камер соседних периодов.

Все прямолинейные участки соединены между собой гибкими диафрагмами, обеспечивающими их поворот в горизонтальной плоскости на общий угол 15° на период и выполняющими роль температурных компенсаторов. Кроме того, в схему включен сильфон /6/, допускающий независимую юстировку камер соседних периодов в пределах 1-2 мм.

Элементы камеры выполнены из нержавеющей стали марки 09X18H10T, причем ее прямолинейные участки изготовлены из стандартных труб со стенкой толщиной 0,5 мм, а диафрагмы - штамповкой из листа той же толщины. Соединения между собой отдельных элементов в пределах одного периода выполнены аргоно-дуговой сваркой. В разборных фланцевых соединениях использовались медные прокладки.

Для исключения непредвиденных замыканий вихревых токов, возникающих в стенках камеры при циклическом изменении магнитных полей, ее горизонтальная часть электрически изолирована с помощью изолятора /10/, который имеет проходной диаметр 54 мм и изготовлен из керамики типа ХС22.

Полная электрическая изоляция камеры позволяет использовать последнюю в качестве нагревательного элемента при ее прогреве на месте.

Вакуумная камера одного периода имеет длину 1,5 м, объем 5 л и поверхность $0,3 \text{ м}^2$; общая длина сварных швов равна 7 м.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАМЕРЫ

При изготовлении вакуумная камера каждого периода была разделена на отдельные технологические участки так, что в каждом участке вначале выполнялись сварные швы, обращенные внутрь камеры. Затем после электрополировки и контроля герметичности эти участки сваривались между собой швом, обращенным наружу. При этом в камеру подавался аргон с тем, чтобы свести к минимуму окисление шва изнутри, где последующая электрополировка невозможна.

Готовая камера герметизировалась на торцах фланцами типа "конфлат", на измерительном патрубке - фланцами с канавочно-клиновым соединением /8/, а на откачном - ввариваемой заглушкой. Тип фланца на измерительном патрубке выбран таким, чтобы к нему можно было присоединить стандартный преобразователь ПМИ-27 или ММ-14М с предельным измеряемым давлением 10 нПа и 10 пПа

соответственно /7/. Один из торцовых фланцев снабжался медной трубкой с соединением типа "шар-конус" для последующей откачки. Подготовленная в таком виде камера поступала на стенд контроля и тренировки.

Тренировка на стенде предусматривала следующие операции. Прежде всего готовая камера подвергалась контролю на герметичность с помощью гелиевого течеискателя ПТИ-7А. Затем проводилось 3-5 циклов низкотемпературной тренировки, в каждом из которых камера охлаждалась до температуры жидкого азота с последующим нагревом до комнатной температуры. После повторного контроля герметичности камеры поочередно помещались в высоковакуумный объем стенда, где они в течение 24-48 часов прогревались при температуре 750-800 К. Разрежение вне камер до давления порядка 10 мПа, используемое как для теплоизоляции, так и для частичного удаления растворенного в их стенках водорода, создавалось диффузионным агрегатом АВП-0,5. Давление внутри камер /порядка 1 мПа/ поддерживалось магниторазрядным насосом типа НОРД-100 /7/. Их прогрев завершался охлаждением до комнатной температуры, контролем герметичности и консервационной герметизацией. Последняя операция выполнялась путем обжатия и перекуса медного штенгеля на фланце откачанной камеры, соединяющего ее с магниторазрядным насосом. В откачанном состоянии камеры хранились до момента их монтажа в криостате.

Предполагалось, что выполнение этой процедуры, а также минимальное время выдержки камер при атмосферном давлении и последующий прогрев на месте до температуры 470 К достаточны для удаления большей части водорода из их стенок. Расчетное давление в камере при комнатной температуре должно быть порядка 1-3 мкПа в случае откачки насосом НОРД-100.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

В описываемом эксперименте исследовались вакуумные характеристики трех одинаковых соединенных последовательно /по вакууму/ камер регулярного периода модельного сверхпроводящего синхротрона. Размещение вакуумного оборудования показано на рис.2.

На измерительном патрубке одной из крайних камер был установлен датчик давления /1/ типа ПМИ-27, а на другой - ММ-14М /2/. Средняя камера через патрубок откачки была соединена с насосом НОРД-100 /3/. Здесь же были установлены датчик давления ПМИ-27 /4/ и предохранительная мембрана /5/, предотвращающая разрушение системы в случае попадания жидкого гелия в ее теплые участки, а также прогреваемый вентиль /6/ фороткачки.

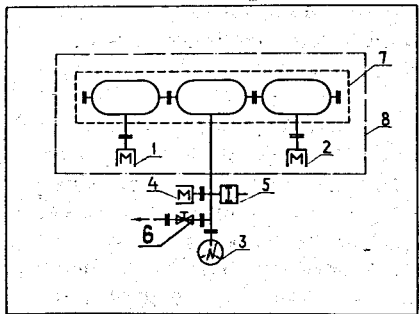


Рис. 2

В горизонтальном гелиевом криостате /7/, как видно из рис. 2, находились только горизонтальные части камер. При этом датчики давления /1/ и /2/ размещались в изоляционной вакуумной полости, образуемой сосудом /8/.

К моменту монтажа системы в гелиевом криостате стенд тренировки камер не был полностью оборудован, поэтому не была проведена заключительная операция - проверка их герметичности методом "гелиевого мешка" после высокотемпературного прогрева. Измеренное суммарное натекание в трех смонтированных камерах было около 1 нВт после 48-часовой откачки насосом НОРД-100. Герметизация гелиевого криостата позволила проверить их герметичность методом "гелиевого мешка" на месте. Проверка показала, что имелось несколько микротечей, локализация и устранение которых оказались наиболее трудоемкими операциями.

После ликвидации указанных микротечей, 3-часового прогрева камер на месте при температуре 420 К и 48-часовой откачки магниторазрядным насосом газовой деление в них составило 0,25 нВт, а давление - 3 мкПа при комнатной температуре. Таким образом, полученные вакуумные характеристики камер полностью соответствовали предполагаемым.

Прогрев камер на месте проводился при откачке гелиевого сосуда агрегатом АВП-0,5 до давления порядка 10 мПа с целью теплоизоляции обмоток сверхпроводящих магнитов. Для исключения возможного повреждения магнитов в результате чрезмерного их нагрева прогрев проводился при более низкой температуре, чем

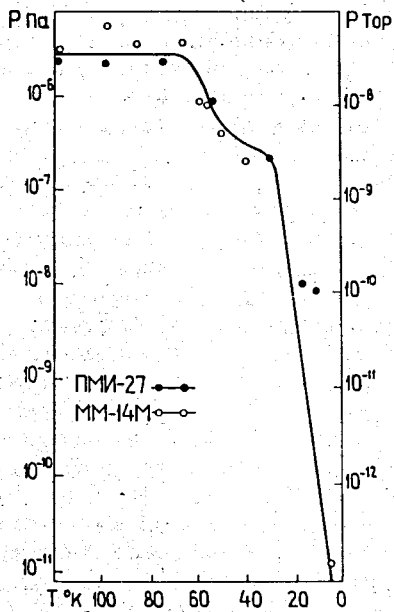


Рис. 3

планировалось. В этом случае температура сверхпроводящих обмоток возросла всего на 40 К относительно комнатной.

На рис. 3 показана зависимость давления в ускорительных камерах от температуры их стенок, полученная при охлаждении криостата. Как видно из рисунка, давление оставалось практически неизменным вплоть до температуры порядка 60 К. При дальнейшем охлаждении давление плавно уменьшается примерно на порядок, когда температура стенок достигает величины 20 К. При более низких температурах давление резко падает ниже уровня, регистрируемого используемыми преобразователями. Более того, разряд в преобразователе ММ-14М полностью прекращается. Это обстоятельство позволяет оценить верхний уровень достигнутого давления величиной менее 10 пПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных экспериментов показывают, что в "холодной" вакуумной камере синхротрона со сверхпроводящей магнитной системой можно получить статическое давление порядка 1-10 пПа. Эта величина на 2-3 порядка меньше той, что предполагается иметь в модельном синхротроне.

Эксперименты подтвердили также приемлемость выбранной технологии подготовки камеры. Основная особенность этой технологии /8/ состоит в том, что более трудный в реализации вариант высокотемпературного прогрева на месте заменен предварительным прогревом на стенде, а прогрев на месте проводится при низкой температуре.

В процессе изготовления и испытания камеры выявлен ряд конструктивных и технологических недостатков, которые могут быть устранены при проектировании рабочего варианта вакуумной системы.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.Н.Ворошилову и Б.Е.Нечипоренко за изготовление вакуумных камер, В.А.Белушкину и А.Г.Зельдовичу за помощь при проведении криогенных испытаний и особенно А.М.Балдину и Л.Г.Макарову за постоянную поддержку этой работы и интерес к ней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. и др. В кн.: Труды Четвертого всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1975, с.4.
2. Фаулер В.Б. В кн.: X Международная конференция по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Серпухов, 1977, т.1, с.110.

3. Калинин Ю.Ж., Рогозинский В.Г., Ушков В.Л. ОИЯИ, Д9-80-637, Дубна, 1980.
4. Даль П.Ф. Там же, что и 2, т.11, с.192.
5. Шелаев И.А., Юдин И.П. ОИЯИ, 9-12346, Дубна, 1979.
6. Рот А. В кн.: Вакуумные уплотнения. "Энергия", М., 1971, с.269, 265.
7. Кузнецов В.И., Немилов Н.Ф., Шемякин В.Е. В кн.: Эксплуатация вакуумного оборудования. "Энергия", М., 1978, с.112, 116, 70.
8. Глазков А.А., Малышев И.Ф., Саксаганский Г.Л. В кн.: Вакуумные системы электрофизических установок. Атомиздат, М., 1975, с.130.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 мая 1981 года.