

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

9-84-281

Б.В.Василишин, Л.П.Зиновьев, И.И.Куликов,  
А.И.Пикин, И.Н.Семенюшкин

**ИСПЫТАНИЯ I ОЧЕРЕДИ  
СИСТЕМЫ КРИОГЕННОЙ ОТКАЧКИ  
ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ СИНХРОФАЗОТРОНА ЛВЭ**

**1984**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Монтаж первой очереди системы криогенной откачки /СКО-1/ вакуумной камеры синхрофазотрона является первым этапом создания такой системы по всему кольцу ускорителя, предложенной в 1980 г./1/.

При создании СКО синхрофазотрона ставилась задача обеспечения условий для ускорения ядер до аргона включительно. Ядра аргона были получены на электронно-лучевом ионном источнике КРИОН-2 еще в 1972 г./2/, однако очень высокие потери от перезарядки на остаточном газе пока не позволяют ускорять их на синхрофазотроне. Наиболее тяжелыми ядрами, ускоренными на синхрофазотроне с существующей вакуумной системой, являются ядра неона/3/. И даже в этом случае для исключения доминирующего фона более легких ядер в ускоренном пучке был использован тяжелый изотоп  $Ne_{22}^{14}$ /4/. Согласно нашим расчетам, основанным на экспериментальных/5/ и теоретических/6/ данных по сечениям перезарядки, при существующей энергии инжекции 5 МэВ/нуклон снижение давления остаточного газа в вакуумной камере ускорителя до  $2,5 \cdot 10^{-7}$  Тор даст возможность ускорять на синхрофазотроне ядра до аргона включительно. При этом ожидается ослабление интенсивности ускоренного пучка ядер аргона от перезарядки примерно в 10 раз, что в настоящее время представляется приемлемой величиной.

Существующая вакуумная система синхрофазотрона после откачки в течение месяца имеет следующие основные параметры:

- полная скорость поступления газа в вакуумную камеру  $- Q = 0,15 \text{ Тор.л/с}$
- среднее давление по кольцу  $- P = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Тор.}$

Состав остаточного газа очень близок к составу атмосферного воздуха. Из этого можно заключить, что основным каналом поступления газа в вакуумную камеру синхрофазотрона является натекание воздуха через различного рода неплотности в конструкции камеры.

## 2. СТРУКТУРА СКО

Для откачки остаточного газа в создаваемой СКО синхрофазотрона используется эффект конденсации молекул газа на холодных поверхностях. Поскольку более 90% состава остаточного газа приходится на азот и кислород, эффективную откачку можно вести в диапазоне температур криопанелей не выше 25К, где коэффициент "прилипания" указанных молекул близок к единице/7/. Этот темпера-

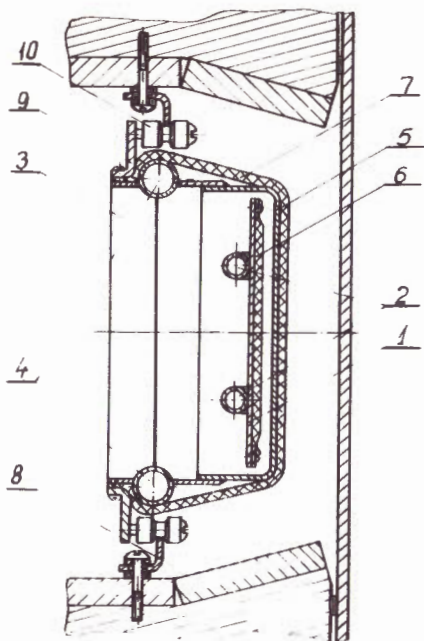


Рис.1. Поперечный разрез секции криогенной откачки в вакуумной камере синхрофазотрона. 1 - криопанель, 2 - трубки охлаждения криопанели, 3 - шеврон, 4 - трубки охлаждения радиационного экрана, 5 - сплошной экран, 6 - суперизоляция криопанели, 7 - суперизоляция экрана, 8 - направляющая, 9 - кронштейн, 10 - ролики из стеклотекстолита.

турный диапазон ограничивает набор возможных криоагентов для термостабилизации криопанелей водородом и гелием. По соображениям безопасности нами выбран гелий.

Для снижения давления остаточного газа в вакуумной камере синхрофазотрона до  $P = 2,5 \cdot 10^{-7}$  Тор при существующей скорости потупле-

ния газа  $Q = 0,15$  Тор.л/с скорость откачки создаваемой СК0 должна составлять величину  $S = Q/P = 6 \cdot 10^5$  л/с.

Выбранная для экранирования криопанелей шевронная структура с коэффициентом заполнения 1 и углом раствора шеврона  $120^\circ$  обладает наибольшей экранирующей способностью и имеет вероятность пролета молекулы  $s_k = 0,27/8$ . Как известно из молекулярно-кинетической теории, объем азота, падающий на  $1 \text{ см}^2$  поверхности за 1 с при комнатной температуре, равен  $v = 11,6 \text{ л/см}^2\text{с}$ . Зная вероятность пролета молекулы  $s_k$  и объем газа, падающий на  $1 \text{ см}^2$  поверхности  $v$ , можно найти, что удельная скорость откачки системой криопанель + шевронный экран в предположении, что коэффициент "прилипания" молекул равен 1, составляет величину  $v_{\text{уд.}} = v \cdot s_k = 3,13 \text{ л/см}^2\text{с}$ . Следовательно, требуемая скорость откачки СК0, равная  $S = 6 \cdot 10^5$  л/см, обеспечивается секциями рассмотренной криогенной структуры с общей площадью криопанелей  $\Sigma = S/v_{\text{уд.}} = 19 \text{ м}^2$ .

Поперечное сечение секции криогенной откачки в вакуумной камере синхрофазотрона показано на рис.1. Криопанель 1, представляющая собой пластину из нержавеющей стали толщиной 2 мм и шириной 200 мм, охлаждается гелием, циркулирующим по трубам 2. Эти трубы изготовлены из нержавеющей стали, имеют внутренний диаметр 16 мм и толщину стенки 1 мм. Для обеспечения хорошего теплового контакта они припаяны к криопанели по всей длине мягким оловянно-свинцовым припоем, который использовался и во всех остальных случаях для той же цели. Шевроны 3 изготовлены из мед-

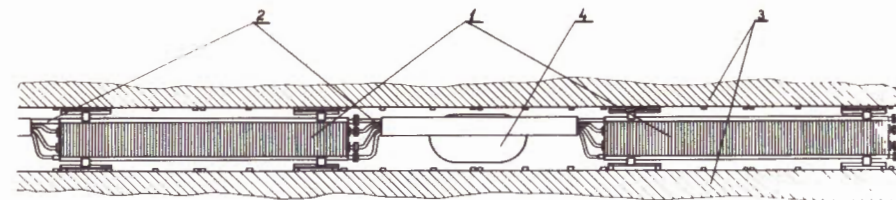


Рис.2. Вид на секции со стороны продольной оси камеры. 1 - откачиваемые участки секций, содержащие криопанели и шевронные экраны, 2 - переходные трубопроводы, 3 - полюса магнита синхрофазотрона, 4 - существующие окна в вакуумную камеру.

ного листа толщиной 1 мм. Для достижения высокой эффективности экранирования шевроны окрашены в черный цвет матовой пентафталевой эмалью по стандартной технологии. Охлаждение шевронов осуществляется двухфазным азотом, циркулирующим по трубам 4. Внутренний диаметр труб - 22 мм, толщина стенки - 1 мм, материал - нержавеющая сталь. Тепловой контакт труб с шевронами обеспечивается пайкой мягким припоем. От теплового излучения со стороны ближайшей боковой стенки вакуумной камеры криопанель защищена сплошным коробчатым экраном 5, выполненным из нержавеющей стали толщиной 1 мм. Этот экран охлаждается жидким азотом в трубах 4 через две последовательные пайки. Для защиты от теплового излучения использована также вакуумно-многослойная изоляция, состоящая из нескольких слоев перфорированной пленки ПЭТФ-0А, предварительно смятой для уменьшения тепловых контактов между соседними слоями и уложенной без прокладок. Теплоизоляция криопанели 6 состоит из пяти слоев, а теплоизоляция экрана 7 - из десяти слоев такой пленки.

Поскольку охлаждение секций сопровождается усадкой, достигающей величины 50:60 мм, предусмотрена возможность продольного перемещения секций по направляющим 8 в верхней и нижней частях камеры. Секции могут двигаться на теплоизолирующих роликах 10, закрепленных на кронштейнах 9.

Габаритные размеры шевронного экрана серийной секции - 180x22 см. Секции устанавливаются по внутреннему периметру в камере синхрофазотрона таким образом /см.рис.2/, что криопанели с шевронными экранами 1 находятся в промежутках между существующими окнами 4 в камеру, а промежуточные трубопроводы 2 - в районе этих окон. Стыковка труб соседних секций осуществляется с помощью фланцевого зубчатого соединения с медной прокладкой.

При выборе компоновки секций и типа радиационного экрана были проведены измерения искажения магнитного поля в камере синхрофазотрона от одиночной секции<sup>9/</sup>. Измерения показали, что установка в камере полномасштабной модели секции с медными

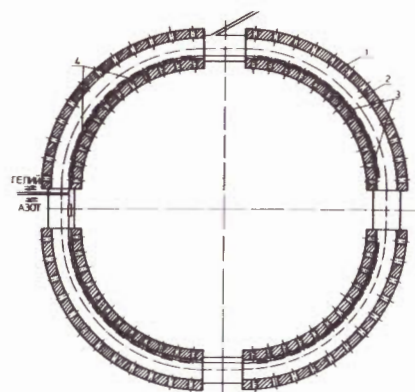


Рис.3. Размещение секций СКО в вакуумной камере синхрофазотрона.

1 - магнитопровод электромагнита синхрофазотрона, 2 - вакуумная камера, 3 - секции криогенной откачки, 4 - переходные трубопроводы.

шевронами приводит к изменению показателя магнитного поля  $n$  на величину около 1% только в непосредственной близости около секции и, следовательно, корректировать такое изменение нет необходимости.

С целью исключения кругового тока вдоль камеры секции СКО будут установлены в виде разомкнутого кольца /см. рис.3/, состоящего из двух веток, каждая на 2 квадранта.

### 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СКО-1

11 секций СКО-1 с расчетной скоростью откачки  $1,3 \cdot 10^5$  л/с установлено в вакуумной камере II квадранта синхрофазотрона по ходу пучка. Технологическая схема СКО-1 представлена на рис.4. Система секций в камере представляет собой 2 жесткие сборки /С1÷С6 и С7÷С11/, соединенные гибкими металлорукавами, компенсирующими температурную усадку I сборки.

Охлаждение криопанелей гелием осуществлялось по временной схеме от сосудов Дьюара емкостью 500 л. Жидкий гелий из сосуда Дьюара по сифону поступал на систему секций. Отбирая тепло, жидкий гелий испарялся и нагревался до температуры не выше 25 К. Далее холодный гелий из системы секций поступал на теплообменник, где нагревался до комнатной температуры и через вентили управления подавался в газгольдер ожижительной установки.

Жидкий азот в трубки охлаждения радиационных экранов подавался по сифону из танка емкостью  $8 \text{ м}^3$ . Расход азота поддерживался на заданном уровне с помощью системы стабилизации давления в танке.

### 4. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ

Значительные температурные усадкиборок секций обусловили необходимость вести охлаждение криопанелей и радиационных экранов одновременно, чтобы относительная усадка частей, охлаждаемых гелием и азотом, не превышала, по возможности, 20 мкм. В качестве датчиков температуры использовались угольные резисторы ТВО-0,125 с номиналом  $1 \text{ кОм}/10^\circ$ . Датчики предварительно были прокальброваны с использованием образцового термометра. Полученные при калибровке наборы экспериментальных точек для каждого датчика были аппроксимированы полиномами вида

$$T = \sum_{k=0}^6 a_k (R_T/R_0)^k; R_T - \text{сопротивление датчика при температуре } T; R_0 = 1 \text{ кОм}; a_k - \text{коэффициент пропорциональности.}$$

Для измерения перемещений гелиевых структур относительно азотных использовались переменные резисторы, установленные таким образом, что линейное перемещение преобразовывалось в соответствующее изменение сопротивления с практически линейной зависимостью сопротивления от перемещения.

Сопротивления всех датчиков измерялись по величине падения напряжения на них при пропускании заданного тока. 9 датчиков температуры, 4 датчика перемещения и эталонное сопротивление для измерения тока были включены последовательно, и через них непрерывно пропускался ток 10 мкА от стабилизированного источника постоянного тока.

Система контроля решала задачу проведения измерений температуры в интервале  $/4,2 \div 300/\text{К}$  с относительной погрешностью  $\pm 0,1\%$  и перемещения - с относительной погрешностью  $\pm 2\%$ . Поскольку все датчики, расположенные в вакуумной камере, в разной степени подвергались воздействию переменного магнитного поля синхрофазотрона, а измерительная аппаратура размещена на расстоянии 150 м от группы датчиков, потребовалось проведение ряда мероприятий по уменьшению помех различной природы /разнопотенциальные земли в местах расположения датчиков и измерительной аппаратуры, помехи от мощных электроагрегатов вблизи каналов транспортировки сигналов, помехи от сети питания, наводка от переменного магнитного поля синхрофазотрона/. К числу таких мероприятий относятся: передача аналоговых сигналов от датчиков к измерительной аппаратуре по скрученным парам в общем непрерывном экране, заземленном в месте расположения аппаратуры; синхронизация измерений с циклической работой ускорительного комплекса таким образом, чтобы измерения проводились в промежутках между циклами синхрофазотрона. Условие электрической непрерывности экрана, необходимое для защиты канала передачи от помех, потребовало введения в коммутатор дополнительного элемента для коммутации экрана. Был использован разработанный в Лаборатории высоких энергий релейный коммутатор /12/ на  $16 \times 3$  каналов, предназначенный для прецизионных измерений.

В качестве измерительного прибора использовался 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь /АЦП/ интегрирующего типа с шестью диапазонами измерения напряжения от 0,03 до 5 В. Этот АЦП имеет изолированный от земли симметричный аналоговый вход и три диапазона времени интегрирования: 20 мс; 0,1 с и 1,0 с. Нами использовался режим работы АЦП с амплитудным диапазоном 0,05 В и временем интегрирования 20 мс. Выбранный диапазон вре-



Среднее потребление жидкого гелия составляло /45±50/ л/ч, жидкого азота - 40 л/ч.

СКО-1 была использована в сеансе ускорения ядер магния на синхрофазотроне. Суммарное время работы первой очереди СКО в этом сеансе составило ~4 суток. Использование СКО-1 позволило уменьшить количество остаточного газа в вакуумной камере синхрофазотрона на 20%, что, в свою очередь, привело к снижению потерь ускоряемых ядер магния в 5±6 раз.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как эффект улучшения вакуума при включении СКО-1, так и расходы гелия и азота в основном соответствуют расчетным значениям. Успешно проведенные испытания подтвердили правильность основных технических решений, которые могут быть использованы для создания СКО по всему кольцу синхрофазотрона.

Авторы благодарят академика А.М.Балдина за постоянное внимание к работе. Авторы с признательностью отмечают творческий труд бригады монтажников при сборке секций в камере, а также активное участие коллективов вакуумной группы, группы электромагнита, опытно-экспериментального производства и персонала ожигательных установок криогенного отдела в монтаже и проведении испытаний первой очереди СКО. Авторы благодарят В.И.Дацкова и Г.П.Цвиневу за подготовку температурных датчиков к экспериментам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баландиков Н.И. и др. ОИЯИ, Р8-80-172, Дубна, 1980.
2. Донец Е.Д., Овсянников В.П. ОИЯИ, Р7 10438, Дубна, 1977.
3. Вадеев В.П. и др. ОИЯИ, Р7-9108, Дубна, 1977.
4. Безногих Ю.Д. и др. АЭ, 1983, т.54, вып.3, с.202-203.
5. Alonso J., Dietrich D., Gould H. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1979, vol.26, No.3, p.3686-3687.
6. Дмитриев И.С., Саксаганский Г.Л., Шукейло И.А. Препринт НИИЭФА, Б-0407, Л., 1978.
7. Dawson J.P., Naugood J.D. Cryogenics, 1965, vol.5, No.2, p.57-67.
8. Саксаганский Г.Л. Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах. Атомиздат, М., 1980.
9. Бровко О.И. и др. ОИЯИ, 9-80-317, Дубна, 1980.
10. Дацков В.И. ОИЯИ, 9-80-213, Дубна, 1980.
11. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, 10-81-200, Дубна, 1981.
12. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, Б1-9-83-672, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 апреля 1984 года.

Василишин Б.В. и др.

9-84-281

Испытания I очереди системы криогенной откачки вакуумной камеры синхрофазотрона ЛВЭ

Приводится описание структуры, технологической схемы и системы контроля I очереди системы криогенной откачки вакуумной камеры синхрофазотрона /СКО-1/. Целью создания системы криогенной откачки вакуумной камеры синхрофазотрона является обеспечение условий для расширения диапазона ускоряемых ядер до аргона. 11 секций криогенной откачки СКО-1 были установлены в вакуумной камере II квадранта синхрофазотрона по ходу пучка. При включении СКО-1 давление в центре II квадранта уменьшилось с  $2 \cdot 10^{-6}$  до  $2,2 \cdot 10^{-7}$  Торр в условиях, когда участок камеры, где установлены секции, не был изолирован от остального объема камеры. СКО-1 использована в первом сеансе ускорения ядер магния от лазерного ионного источника на синхрофазотроне.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Vasilishin B.V. et al.

9-84-281

Test of the First Part of Cryogenic Pumping System of the Synchrophasotron Vacuum Chamber

Description of structure, technological chart and measuring system of the first part of cryogenic pumping system of vacuum chamber of the synchrophasotron (CPS-1) is given. The purpose of the cryogenic pumping system creation is the provision of conditions for extension of the range of accelerated nuclei up to argon. 11 sections of cryogenic pumping of the CPS-1 have been installed in the second quadrant's part of the vacuum chamber of the synchrophasotron along the beam. When the CPS-1 was in operation the pressure in the centre of the second quadrant decreased from  $2 \cdot 10^{-6}$  Torr to  $2.2 \cdot 10^{-7}$  Torr, while the part of vacuum chamber with sections was not separated from the rest volume of the chamber. The CPS-1 was employed in the first turn of acceleration of magnesium nuclei obtained from the laser ion source on the synchrophasotron.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984