

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

P9-85-593

И.А.Шелаев, В.С.Алфеев, Н.Н.Агапов, А.М.Балдин,
В.А.Белушкин, Л.Г.Ефимов, В.И.Лобанов,
Л.Г.Макаров, Е.А.Матюшевский, И.Ф.Колпаков,
В.В.Крылов, С.А.Смирнов, А.К.Суханова, Ю.А.Шишов

КРИОГЕННАЯ СИСТЕМА
СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СИНХРОТРОНА СПИН

Доклад, представленный на конференцию
по криогенной технике, США, Бостон,
12-18 августа 1985 года

1985

ВВЕДЕНИЕ

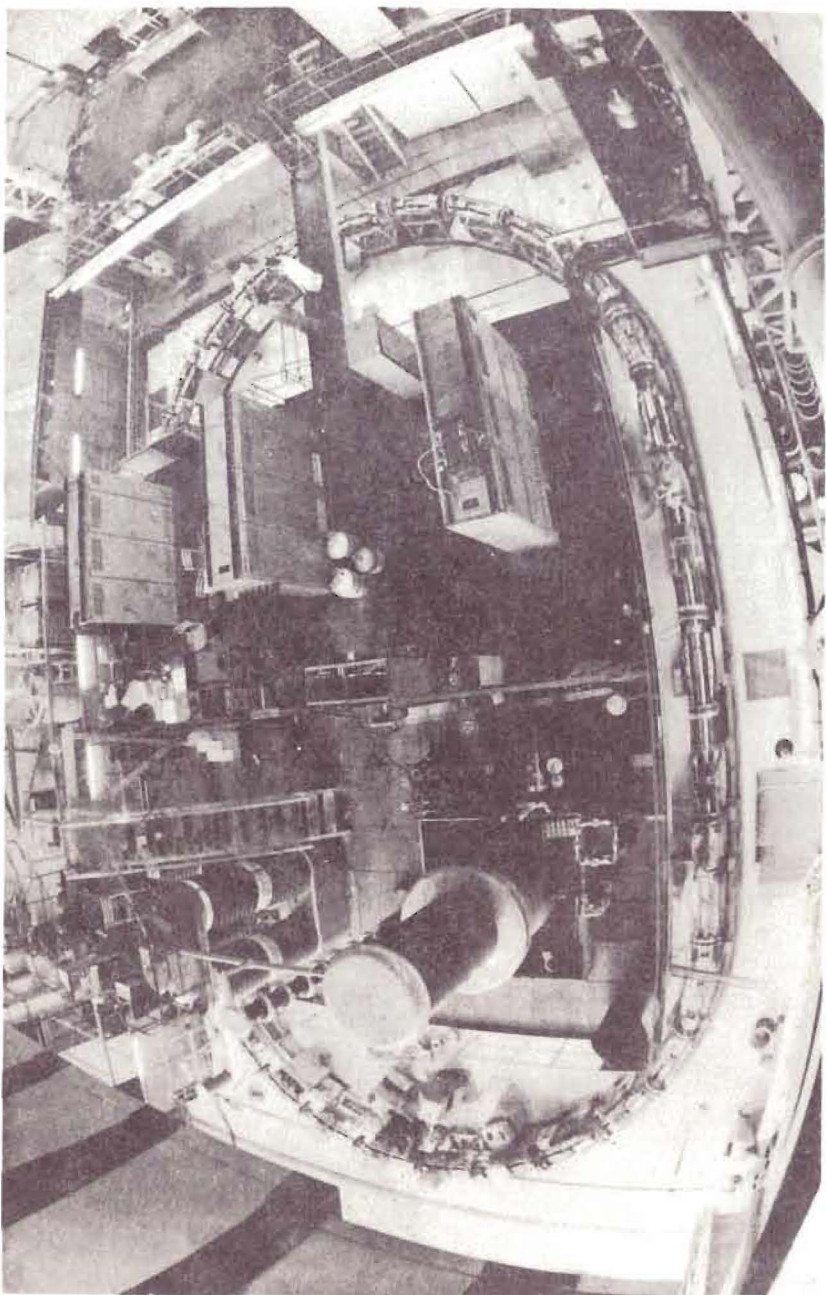
В ЛФЭ ОИЯИ завершается сооружение 1,5 ГэВ СП-синхротрона, или сокращенно установки СПИН^{1/1}. В этом ускорителе используются СП-магниты типа Дубна с полем до 2,3 Т. Такие магниты обладают минимальной материалоемкостью, наиболее простой технологией изготовления и обеспечивают высокое качество магнитного поля и его повторяемость в серии магнитов. Все это выгодно отличает СП-магниты Дубны как от обычных теплых магнитов, так и СП-магнитов с полем 5 Т и выше.

В этой работе приведено краткое описание криогенной системы синхротрона СПИН, включающей криостат ускорителя, гелиевый рефрижератор, соединяющие их трубопроводы и систему управления и контроля, а также сообщается о состоянии работ на ускорителе.

КРИОГЕННАЯ СИСТЕМА

Общий вид ускорителя СПИН показан на рисунке.

Гелиевый криостат типа кипящей ванны выполнен общим для всего ускорителя и повторяет периодичность СП-магнитной системы. К криостату ускорителя периметром 54 м на восточном прямолинейном промежутке присоединен 7,5 м криостат "холодной" части канала инжекции пучка, а на западном - регулярный измерительный период. Таким образом, общая длина гелиевого криостата равна 64 м, а его объем 4 м³. Криостат регулярного периода имеет длину 1,5 м и представляет собой цилиндр диаметром 0,28 м, изготовленный из 2 мм листовой нержавеющей стали. Для удобства монтажа и ремонта размещенного в криостате оборудования последний разрезан по образующим в медианной плоскости. На конце каждого регулярного периода криостат снабжен сильфоном того же диаметра. В центре периода криостат поддерживается опорой в виде цилиндрического лабиринта, внутренний цилиндр которого изготовлен из стеклотекстолитовой трубы внешним диаметром 0,145 м и стенкой толщиной 4 мм. Остальные два цилиндра изготовлены из нержавеющей стали. На теплом конце опора оборудована кустировочным устройством, позволяющим корректировать пространственное положение криостата в рабочих условиях. Внутри криостата периода на дюралюминиевой балке установлены два СП-поворотных магнита и две квадрупольные линзы. Уплотнение отдельных частей криостата выполнено сварными швами многократного пользования. Теплоизоляция гелиевой ванны осуществляется 50 слоями 12 мкм перфорированной и гофрированной суперизоляции и теплым вакуумным кожухом, общим для всего ускорителя. На среднем цилиндре опор предусмотрена возможность установки теплового экрана с жидким азотом, однако для уменьшения объема работ первый пуск ускорителя будет проведен без экрана. Аналогично криостату регулярных периодов изготовлены криостаты прямолинейных промежутков.



Общий вид сверхпроводящего синхротрона С П И Н.

8 двухполюсных 3 кА охлаждаемых тоководов размещены попарно на концах прямолинейных промежутков ускорителя. Эти тоководы позволяют раздельно питать Ф и Д линзы регулярных периодов, Ф и Д линзы прямолинейных промежутков и разделить все поворотные магниты на две группы для снижения напряжения при аварийной эвакуации запасенной энергии. Каждый токовод изготовлен из двух коаксиальных толстостенных медных труб, на поверхности которых нарезаны винтовые каналы для прохода охлаждающего газообразного гелия. Внутреннее отверстие токовода используется для ввода наконечника переливного сифона или для вывода из криостата части измерительных кабелей. Другая их часть выводится из криостата через герметичные многополосные разъемы. Для питания СП-магнитов канала инъекции криостат ускорителя в этом районе оборудован восемью парами коаксиальных тоководов на ток 300 А. Контроль за температурой в криостате осуществляется 24 резисторными датчиками температуры и 4 уровнемерами жидкого гелия.

Для защиты криостата от избыточного давления в аварийных режимах последний оборудован 4 полноподъемными клапанами и 4 разрывными мембранами с проходным сечением диаметром 50 мм, срабатывающим при повышении давления в криостате до 1,7 и 2,0 атм. Такими же мембранами оборудованы теплые патрубки вакуумной камеры, соединяющие ее с магнито-разрядными насосами. Теплый кожух снабжен двумя сбрасываемыми фланцами диаметром 0,25 м.

Как показывают расчеты и эксперименты с тремя прототипными периодами ^{2/}, ожидаемый теплоприток гелиевого криостата ускорителя СПИН будет порядка 400 Вт при работе без азотного экрана.

Криогенная гелиевая установка КГУ-1600/4,5^{3/}, с помощью которой будет поддерживаться рабочая температура в криостате, размещена на расстоянии 60 м от ускорителя. Установка имеет проектную холодопроизводительность 1750 Вт при одновременном получении 45 л/ч жидкого гелия. Установка потребляет 3600 нм³/ч гелия, сжимаемого тремя компрессорами до давления 2,65 МПа. Удельный расход энергии в установке составляет 280 Вт/Вт. Такая высокая эффективность достигается применением каскада из трех последовательно включенных турбодетандеров, обеспечивающих охлаждение до 15 К, и поршневого парожидкостного детандера с давлением и температурой соответственно 2,5 МПа и 5,4 К. Установка имеет блок осушки, работающий при температуре окружающей среды, и низкотемпературную очистку от примесей.

Установка КГУ-1600/4,5 соединяется с криостатом ускорителя тремя трубопроводами: прямого потока жидкого гелия, обратного потока холодного газа и обратного потока теплого газа, прошедшего через охлаждаемые тоководы.

С учетом особенностей криостатирования СП-магнитов ускорителя СПИН в протяженной кипящей ванне принята следующая схема. Жидкий ге-

лий из прямого потока подается в криостат в точку, диаметрально противоположную месту отвода пара. Образующийся пар поднимается в верхнее сечение криостата, свободное от магнитов и жидкости, и отводится в рефрижератор. При этом длина каждого из каналов, образованных верхней частью оболочки криостата и поверхностью жидкости, сокращается вдвое. Это существенно снижает эффект изменения уровня жидкости из-за гидравлического сопротивления канала^{/4/}.

Микропроцессорная система диагностики и управления^{/5/} установкой КГУ-1600/4,5 обеспечивает централизованный сбор и представление в удобном для оператора виде информации о давлении и температуре в различных точках, уровнях жидких криоагентов, оборотах турбодетандеров и др. Система также выполняет задачу стабилизации основных параметров установки путем воздействия на электроуправляемые вентили, клапаны и нагреватели. Наиболее существенная часть информации о состоянии криостата ускорителя представляется как на дисплее пульта ускорителя, так и на пульте рефрижератора.

СОСТОЯНИЕ РАБОТ

Все системы ускорителя, кроме гелиевого криостата, сейчас смонтированы и налаживаются. Проведена инжекция в синхротрон пучка протонов с энергией 0,512 МэВ от импульсного электростатического ускорителя. При этом все СП-магниты имели комнатную температуру и возбуждались импульсным током трапецеидальной формы длительностью 0,15 с по вершине и амплитудой порядка 1,4% максимальной. При включении ускоряющего ВЧ-напряжения наблюдалась устойчивая циркуляция пучка в течение 0,1 с без применения корректирующих магнитов. Время жизни пучка определялось рассеянием протонов столь низкой энергии на атомах остаточного газа вакуумной камеры, статическое давление в которой составляет $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Смонтированы все три гелиевых линии между рефрижератором и ускорителем и проведено их опробование при рабочей температуре. Начаты работы по герметизации гелиевого криостата ускорителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-83-582, Дубна, 1983.
2. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-82-383, Дубна, 1982.
3. Пронько В.Г., Краковский Б.Д. ОИЯИ, Р18-12147, с.347, Дубна, 1979.
4. Агапов Н.Н., Суханова А.К. ОИЯИ, 8-83-702, Дубна, 1983.
5. Агапов Н.Н. и др. ОИЯИ, 8-85-III, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 августа 1984 года.

Шелаев И.А. и др.

Р9-85-593

Криогенная система сверхпроводящего синхротрона СПИН

Сооружаемый в ОИЯИ 1,5 ГэВ ускоритель СПИН представляет собой жесткофокусирующий синхротрон с СП-магнитной системой с разделенными функциями. Магнитная система содержит два суперпериода, в каждом из которых имеется 12 регулярных FODO-периодов и один согласованный прямолинейный промежуток. "Холодная" часть канала инжекции пучка в ускоритель также выполнена с использованием СП-магнитов. Таким образом, вся магнитная система содержит 52 СП-диполя и 64 квадруполя общим весом 3 т. Все СП-магниты размещены в общем криостате типа кипящей ванны. Внешняя стенка ванны объемом 4 м^3 изготовлена из 2,0 мм листовой нержавеющей стали, а внутренняя, толщиной 0,5 мм, образована стенками вакуумной камеры. Криостат, повторяя периодичность магнитной системы, поддерживается 42 тепловыми опорами в виде цилиндрического лабиринта. Для теплоизоляции криостата общей длиной 65 м используется только 50-слойная суперизоляция и вакуумный кожух, поэтому ожидаемый теплоприток криостата составит примерно 400 Вт. Криостат соединен гелиевым трубопроводом длиной 70 м с рефрижератором мощностью 1600 Вт. Кратко сообщается о состоянии работ на ускорителе.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод авторов

Shelaev I.A. et al.

Р9-85-593

A Cryogenic System of the Superconducting Synchrotron SPIN

The 1.5 GeV accelerator SPIN being constructed at JINR is a strong focusing synchrotron with an SC separated function magnet system. The magnet system comprises two supercells. Each of them has 12 regular FODO cells and a matched straight section. A cold part of the beam injection channel is also equipped with SC magnets, so the magnet system of the accelerator contains 52 SC dipoles and 64 quadrupoles with a 3t total weight. All the SC magnet are placed in a common helium cryostat of the boiling bath type. The external wall of the 4 м^3 bath is made of a 2.0 mm sheet stainless steel, and the internal one is formed by the 0.5 mm vacuum chamber walls. The cryostat repeating periodicity of the magnet system is held by 42 supports made in the form of a cylindrical labyrinth. For thermal insulation of the 65 m total length cryostat only a 50-layer superinsulation and a vacuum case are used, so the expected cryostat heat load is approximately 400 W. The cryostat is connected with a 1600 W refrigerator by means of a 70 m helium pipe. The status of the accelerator is briefly communicated.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985