

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

9-88-344

**А.А.Смирнов, Г.Г.Ходжибагян**

**КОНЦЕПЦИЯ СВЕРХПРОВОДИТЕЙ  
МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НУКЛОТРОНА**

Доклад на 12-й Международной конференции  
по криогенной технике /Саутгемптон, июль 1988 г./

**1988**

## ВВЕДЕНИЕ

В работе приводятся основные решения, определившие конструкцию и технологию создания сверхпроводящей (СП) магнитной системы нуклотрона /1/ - ускорителя релятивистских ядер, сооружаемого в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Периметр будущего ускорителя с энергией 6 ГэВ/нукл.-250 м, число дипольных магнитов длиной 1,45 м - 96, число квадрупольных магнитов длиной 0,42 м - 64. Максимальная интенсивность  $\sim 10^9$  част./цикл для  $U^{82+}$ , частота повторения циклов ускорения -  $0,25 + 0,5$  цикл /с.

## МАГНИТНО-КРИСТАТНЫЙ БЛОК

Основным элементом магнитной системы нуклотрона является магнит типа "Дубна"<sup>2,3/</sup>. Это импульсный СП-магнит с "холодным" железным ярмом, в зазоре которого размещена седлообразная обмотка из трубчатого сверхпроводника. Магнитное поле, формируемое железом, имеет в апертуре максимальное значение около 2 Тл. Магнит такого типа отличается экономичностью, простотой в изготовлении, высокой надежностью. Для ускорителя из таких магнитов надобность в гелиевом сосуде криостата отпадает. Это облегчает доступ к магнитам и резко снижает требования к конструкции вакуумной камеры ускорителя, окруженной изоляционным вакуумным пространством криостата.

Кабель обмотки представляет собой мельхиоровую трубку, вокруг которой спирально навиты проволоки из мелкодисперсного NbTi сверхпроводника. Трубка кабеля допускает высокое значение давления гелия, возникающее при переходе магнита из сверхпроводящего состояния в нормальное или при аварийном нарушении изоляционного вакуума, а также необходимое для ускорения процесса охлаждения магнитов.

Высокая электрическая прочность, малая индуктивность обмоток и хорошие условия их криостатирования позволяют обеспечить высокую частоту повторения циклов ускорения в нуклотроне, который планируется использовать в качестве бустера для последующей ускорительной ступени при дальнейшем развитии ускорительного комплекса Лаборатории.

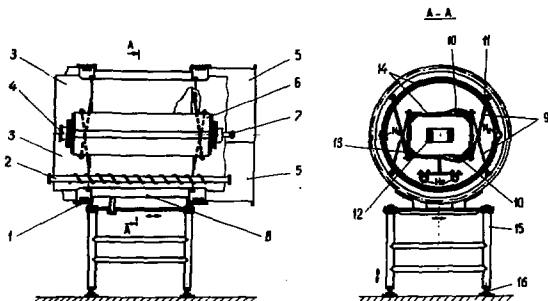


Рис. 1. Схема магнитно-криостатного блока.

I - сиффон; 2 - гелиевые коллекторы; 3 - тепловой экран; 4 - вакуумная камера; 5 - муфта; 6 - ядро; 7 - трубопровод с жидким азотом; 8 - вакуумный кожух; 9 - тяга; 10 - СП-кабель электрической связи магнитов; 11 - тепловой мост; 12 - обмотка; 13 - трубка для охлаждения ядра; 14 - суперизоляция; 15 - подставка; 16 - домкрат.

Магнит закреплен в криостате (см. рис. 1) на восьми тягах 9 таким образом, что после его охлаждения от комнатной температуры до гелиевой положение в пространстве оптической оси магнита не изменяется. К обоим торцам вакуумного кожуха 8 с помощью накладных фланцев присоединены гибкие сиффонные элементы I. Накладной фланец позволяет поворачивать блок вокруг оси. Гибкие элементы позволяют перемещать соседние блоки друг относительно друга на необходимую для встыковки магнитов величину. Блок устанавливается на подставку 15, имеющую приспособление для встыковки. Вакуумные кожухи блоков соединяются между собой с помощью разъемных муфт 5, обеспечивающих доступ к соединениям электрических и криогенных коммуникаций, аппаратуре для диагностики пучка и др., расположенным в малых промежутках между магнитами.

#### ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

Магнитная система создается из одинаковых магнитно-криостатных

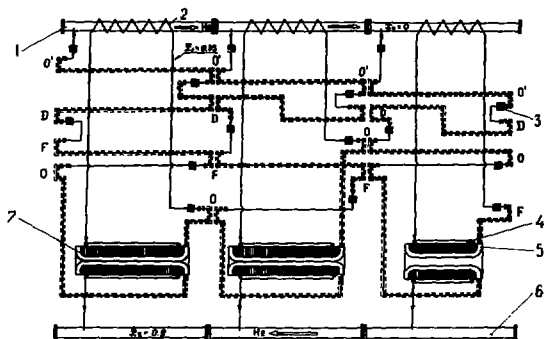


Рис. 2. Схема электрических и гелиевых коммуникаций магнитно-криостатных блоков.

1 - питающий коллектор; 2 - трубка для охлаждения коллектора; 3 - металлокерамическая электроизоляционная трубка; 4 - трубка для охлаждения железного яра; 5 - обмотка квадруполья; 6 - отводящий коллектор; 7 - обмотка диполя.

O, F, D - СП-кабель электрической связи соответственно отклоняющих, фокусирующих и дефокусирующих магнитов; O' - обратный кабель дипольных магнитов;  $\bar{X}_1, \bar{X}_2$  - среднее значение массового паросодержания в потоке гелия на выходе из каналов соответственно обмотки и трубки для охлаждения яра;  $X_0$  - массовое паросодержание в питающем коллекторе.

блоков трех типов соответственно для дипольных, фокусирующих и дефокусирующих магнитов. Каждый блок перед установкой на кольцо ускорителя проходит комплексную проверку (гидравлическое сопротивление, электрическая прочность, магнитные измерения и др.) на специальных стендах. При сборке магнитной системы с помощью разборных вакуумных соединений отключаются (см. рис. 1) гелиевые коллекторы 2, трубопроводы с жидким азотом 7, вакуумная камера 4 и разъемные муфты 5 вакуумного кожуха соседних блоков. Все магниты ускорителя соединяются по группам в три электрические цепи: O, O' - отклоняющие магниты, F - фо-

кусирующие и  $D$  - дефокусирующие магниты. В каждом блоке помимо электроцепи собственного магнита имеются транзитные кабели электрической связи магнитов других групп (см. рис. 2). Для электрического соединения соседних блоков в каждом промежутке между магнитами выполняются четыре электрических спая трубчатых СП-кабелей. При этом все гелиевые каналы блока соединены с гелиевыми коллекторами этого блока и проверены на герметичность на стенде. Такая технология соединения блоков позволит с высокой степенью вероятности исключить гелиевые течи в вакуумное пространство, окружающее магниты.

В период наладки ускорителя может потребоваться неоднократная сборка - разборка отдельных элементов магнитной системы с целью их ремонта или замены. Для сокращения затрат времени, необходимых на каждый ремонт (а следовательно, и на весь период запуска ускорителя), магнитная система разбита на две цепочки блоков. Цепочка составляет половину кольца ускорителя и имеет отдельный изоляционный вакуум. Это позволяет уменьшить массу, отогреваемую и охлаждаемую при ремонте. Расчеты показывают, что при наличии трех гелиевых рефрижераторов с холодопроизводительностью при 4,5 К по 1,6 кВт затрат времени на один ремонт составят около 100 часов.

#### КРИСТАТИРОВАНИЕ МАГНИТОВ

После экспериментальной проверки условий кристатирования на модельных магнитах<sup>3,4,5/</sup> в качестве хладагента был выбран парожидкостный поток гелия. Однофазный криоагент (жидкий гелий) в сравнении с двухфазным приводит к многократному увеличению охлаждающего потока через магнит, некоторому увеличению температуры кристатирования и понижает устойчивость СП-обмотки к тепловым нагрузкам от радиационных потерь. На выбор двухфазного гелия оказало влияние и то, что для магнитов нуклотрона основная тепловая нагрузка приходится не на обмотку, а на железное ядро. При массовом паросодержании на выходе из магнита  $\bar{x}_2 = 0,9$  (см. рис. 2) паросодержание на выходе из обмотки  $\bar{x}_1 = 0,35$ . Этот факт позволяет допустить значительный разброс в значениях гидравлического сопротивления и тепловой нагрузки охлаждающих каналов магнитов от их средних значений для всех магнитов ускорителя. Схема кристатирования магнитов нуклотрона приведена на рис. 3. Состыкованные между собой кристаты блоков образуют один, общий для каждой половины кольца ускорителя, кристат. Внутри вакуумного кожуха 1 кристата расположен тепловой экран 2, питающий 3 и отдающий 4 гелиевые коллекторы, к которым параллельно подключены магниты 5, 6. Жидкий гелий из рефрижератора поступает в питающий коллектор кристата половины кольца ускорителя и распределяется по охлаждающим кана-

лам отдельных блоков. В каждом блоке (см. рис. 2) парожидкостный поток гелия последовательно проходит охлаждающие каналы сверхпроводящих кабелей электрической связи соседних магнитов, обмотку магнита и после охлаждения питающего коллектора и железного ярма магнита поступает в отводящий коллектор. По мере прохождения каналов блока и снятия тепловой нагрузки массовое паросодержание гелия меняется от 0 на входе в блок до  $\sim 0,9$  (в среднем для всех блоков половины кольца) на выходе из блока. Температура потока гелия, поступающего в отводящий коллектор, контролируется термометром и характеризует условия охлаждения магнита.

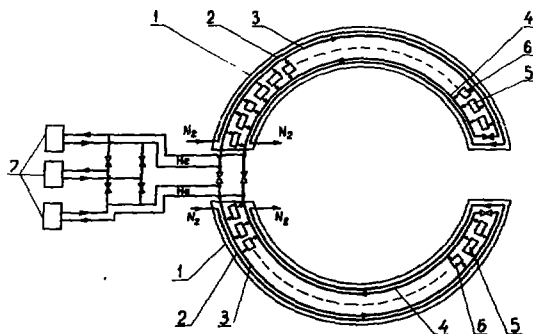


Рис. 3. Схема криостатирования магнитов нуклотрона.

- 1 - вакуумный кожух половины кольца ускорителя;
- 2 - тепловой экран; 3 - питающий коллектор;
- 4 - отводящий коллектор; 5 - дипольный магнит;
- 6 - квадрупольный магнит; 7 - рефлексметр.

Авторы благодарны Е.И.Дьячкову, А.И.Балдину, Л.Г.Макарову, **А.Г.Зельдовичу**, И.А.Шеллеву и Н.Н.Агапову за полезные советы и обсуждения положений данной работы, вошедших в проект "Нуклотрон".

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A.M.Baldin et al. Nuclotron status report. IEEE Trans.Nucl. Sci., vol. NS-30, N 4, 1983, p. 3247.
2. Superconductivity - Highway or hard way to Nuclotron. Cern Courier, vol. 23, N 4, 1983, p.133.
3. Н.Н.Агапов и др. Импульсный дипольный магнит из трубчатого сверхпроводника с циркуляционной системой криостатирования. Препринт ОИЯИ, Р8-12786, Дубна, 1979; ПТЭ, 1981, № 2, с. 196; Cryogenics, vol. 20, N 6, 1980, p. 345.
4. Е.И.Дьячков и др. Криостатирование импульсных сверхпроводящих магнитов с параллельным питанием обмоток двухфазным гелием. Сообщение ОИЯИ, 8-82-169, Дубна, 1982.
5. А.А.Смирнов и др. Импульсный сверхпроводящий дипольный магнит для нуклотрона. Препринт ОИЯИ 9-83-625, Дубна, 1983; Journal de Physique, Colloque C1, sur. N 1, Tome 45, janvier 1984, p. C1-279.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 мая 1988 года.

Смирнов А.А., Ходжибагиан Г.Г.

9-88-344

Концепция сверхпроводящей магнитной системы  
нуклотрона

Приводятся основные решения, определившие конструкцию и технологию магнитной системы нуклотрона. Основными элементами магнитной системы являются импульсные магниты с "холодным" железным яром и обмоткой из трубчатого сверхпроводника. Магнитное поле формируется железом, его величина в апертуре около 2 Тл. Магнит окружен азотным экраном и вакуумным кожухом, не имеет гелиевого сосуда. Все магниты параллельно подключены к питающему и отводящему гелиевым коллекторам. Криоагент - двухфазный гелий. Магнитная система ускорителя разбита на две цепочки. Цепочки собираются из магнитно-криостатных блоков, прошедших комплексную проверку на стендах.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод Л.Н.Барабаш

Smirnov A.A., Khodzhbagiyan H.G.

9-88-344

The Concept of a Superconducting Magnet System  
for the Nuclotron

The concept of a magnet system for the Nuclotron is based on the following. Pulsed magnets with a "cold" iron yoke and a hollow superconductor winding are used. The value of the iron-shaped magnetic field in the central bore is about 2 T. The magnet surrounded by a nitrogen shield and a vacuum shell has no helium vessel. All magnets are connected in series with supply and return helium headers. Two-phase helium is used as a coolant. The magnet system of the accelerator is divided into two strings. The strings are assembled of magnet-cryostat units. Each unit is tested on the test stands.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1988



### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3.4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1.2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 78. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

10 коп.

Редактор Т.Я.Жабицкая. Макет Н.А.Киселевой.

Подписано в печать 23.05.88.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч. изд. листов 0,64.

Тираж 205. Заказ 40580.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.