

## **Том IV**

### **РАЗДЕЛ 7. КРИОГЕННАЯ СИСТЕМА**

#### **Аннотация**

Криогенная система ускорительного комплекса NICA создается на основе существующего оборудования для криогенного обеспечения Нуклотрона. В данном разделе Технического Проекта приведены принципиальная технологическая схема криогенной системы, описание ее отдельных узлов, план размещения оборудования и план развития и реконструкции криогенной гелиевой системы ЛФВЭ для нужд ускорительного комплекса NICA.

Криогенная система ускорительного комплекса NICA создается как результат модернизации существующего оборудования для криогенного обеспечения Нуклотрона. Цель модернизации – повышение вдвое холодопроизводительности на температурном уровне 4,5К от существующего значения 4000 Вт до 8000 Вт. Эта холодопроизводительность обеспечит процессы криостатирования и охлаждения до рабочей температуры всех составных частей комплекса – Нуклотрона, бустера и коллайдера. Все оборудование криогенной системы NICA располагается на существующих производственных площадях. Основные параметры криогенной системы комплекса NICA приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры криогенной системы ускорительного комплекса NICA

Температура криостатирования, К	4,5
Холодопроизводительность при 4,5К, Вт	8000
Удельные затраты энергии на получение холода при 4,5К, Вт/Вт	300
Установленная мощность электродвигателей, МВт	5,04
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /час	240
Суммарная производительность компрессоров, Нм <sup>3</sup> /час	20400
Количество гелия, требуемое для заполнения системы, Нм <sup>3</sup>	12000

Принципиальная технологическая схема криогенной системы ускорительного комплекса NICA показана на чертеже № 2489.00.000. Вновь вводимые ускорительные кольца (бустер и коллайдер) будут охлаждаться двумя рефрижераторами 4 и 5 с избыточным обратным потоком, так называемыми сателлитами. Они находятся в непосредственной близости от криостатируемых колец и работают за счет жидкого гелия, получаемого от центральной криогенной станции. С центральным ожижителем гелия и компрессорным цехом они соединяются тремя магистральными трубопроводами: сжатого гелия 1, обратного гелия 2 и жидкого гелия 3, имеющего вакуумную суперизоляция и теплозащитный экран. Такая схема позволит в каждом из находящихся на значительном удалении сателлитных рефрижераторов обойтись минимумом оборудования. Эти рефрижераторы, состоящие по существу только из теплообменников и сборника жидкого гелия, обладают высокой надежностью и не требуют обслуживания. Все менее надежные и требующие постоянного внимания персонала машины будут сосредоточены в одном месте – на центральной криогенной станции. Важно отметить, что при таком построении схемы, несмотря на отсутствие в сателлитных рефрижераторах турбодетандеров и других сложных машин, сохраняется высокая энергетическая эффективность системы.

В дополнение к существующей системе хранения гелия планируется приобрести выпускаемый фирмой Gardner Cryogenics автотранспортный контейнер на 40 м<sup>3</sup> жидкого гелия (6). Это позволит решить сразу несколько задач:

- увеличить вместимость существующего оборудования для хранения гелия более, чем в четыре раза;
- наладить экономичную доставку гелия от производителя своим транспортом;
- для сглаживания внештатных ситуаций, которые могут возникать на ускорительном комплексе, иметь дополнительный источник холода.

Кроме того, будет сохранена существующая система хранения газообразного гелия, состоящая из 10-ти ресиверов по 20 м<sup>3</sup> с давлением до 30 кг/см<sup>2</sup>. Суммарная вместимость этого хранилища составляет 6000 Нм<sup>3</sup>. Доставка сжатого гелия с Оренбургского гелиевого завода производится железнодорожным транспортом, причем вместимость одного железнодорожного спецагрегата составляет также 6000 Нм<sup>3</sup>. Для перекачки гелия из спецагрегата в хранилище будут и в дальнейшем использованы имеющиеся соединительные трубопроводы.

Буферный объем гелия для поддержания некоторого избыточного давления на всасывании компрессоров будет, как и в настоящее время, обеспечиваться системой из трех маслозаполненных газгольдеров с суммарным объемом 60 м<sup>3</sup>. Эти газгольдеры находятся в отдельном, специально построенном для них здании. Для запуска крупных винтовых компрессоров дополнительно используются два уже имеющихся демпферных ресивера (18) по 100 м<sup>3</sup> каждый.

Чтобы удвоить холодопроизводительность криогенной системы, в дополнение в двум криогенным гелиевым рефрижераторам КГУ-1600/4,5 (9) и сепараторам (8) планируется приобрести ожижитель гелия ОГ-800 производительностью 800 л/час (7).

В криогенной системе ускорительного комплекса NICA будет задействован ряд компрессоров различных типов и модификаций. Основой системы компримирования служит винтовой компрессорный агрегат «Каскад - 80/25» разработки казанского ОАО «НИИТУРБОКОМПРЕССОР». Для ступенчатого регулирования расхода сжатого гелия и резервирования используются поршневые компрессора относительно меньшей производительности: 305НП-20/30 и 2ГМ4-12/31. Закачка испарившегося гелия в ресиверы осуществляется небольшими поршневыми компрессорами 1ВУВ-45/150, способными работать при более высоком, чем основные компрессора, давлении на нагнетании.

Основные технические характеристики применяемых компрессоров даны в табл.2. Суммарная производительность компрессоров криогенной системы NICA, установленная мощность и расход охлаждающей воды составят соответственно 20400 Нм<sup>3</sup>/час, 5,04 МВт и 240 м<sup>3</sup>/час.

Таблица 2. Основные технические характеристики компрессоров криогенной системы ускорительного комплекса NICA

Характеристики	«Каскад-80/25»	305НП-20/30	2ГМ4-12/31	1ВУВ-45/150
Количество, шт	3	3	2	4
Тип	винтовой	поршневой	поршневой	поршневой
Производительность (при условии всасывания), м <sup>3</sup> /час	5040	1200	840	45
Давление нагнетания, МПа	2,5	3,0	3,1	15,0
Установленная мощность электродвигателей, кВт	2 X 630	200	160	22
Напряжение питания электродвигателей, В	6000	380	380	380
Число ступеней сжатия	2	3	3	3
Число оборотов компрессора, об/мин	2970	500	740	620
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /час	60	15	7.2	1,5

Винтовой компрессорный агрегат «Каскад-80/25» был разработан применительно к системе криогенного обеспечения УНК, создававшегося в свое время в ИФВЭ. Это машина второго поколения отечественных винтовых компрессоров, используемых в крупных криогенных установках для компримирования гелия. В отличие от предыдущих модификаций «Каскад-80/25» выполнен в двухступенчатом варианте с одним маслоотделителем и общей маслосистемой компрессоров первой и второй ступени.

Агрегат «Каскад-80/25» поставляется из четырех основных блоков: первой ступени, второй ступени, блока маслоохладителей и блока управления. Первая ступень содержит два параллельно работающих компрессора, приводящимся в действие одним электродвигателем мощностью 0,63 МВт.

Вторая ступень состоит из одного винтового компрессора с золотниковым регулятором производительности, вертикального маслоотделителя и электродвигателя с теми же параметрами, что и на первой ступени. В блок маслоохладителей входят четыре прямоточных теплообменника с водяным охлаждением. Система автоматики осуществляет постоянный контроль основных параметров, защиту от аварийных режимов и автоматическое поддержание номинального давления нагнетания компрессоров первой ступени (промежуточного давления).

Испытания Межведомственной комиссией и доводка головного образца агрегата проходили в Дубне. Машина хорошо зарекомендовала себя как в ходе этих испытаний, так и во время интенсивной последующей эксплуатации в составе криогенной системы Нуклотрона. Изотермический к.п.д. находится в пределах 0,52-0,55, уровни звуковой мощности, замеренный в точках на расстоянии 1 м составляют не более 81-102 дБ. В результате, винтовой компрессорный агрегат «Каскад-80/25» был рекомендован для серийного производства и применения в крупных криогенных гелиевых системах.

Криостатирование Нуклотрона осуществляется двумя гелиевыми рефрижераторами (9). Этот рефрижератор, называемый КГУ-1600/4,5, специально спроектирован в ОАО «НПО ГЕЛИЙМАШ» по заказу и с участием специалистов ОИЯИ для обеспечения жидким гелием испытательных стендов и ускорителей с применением сверхпроводящих магнитов. В результате ряда модернизаций холодопроизводительность каждой из этих установок повышена с проектной величины 1600 Вт до 2000 Вт при 4,5К.

КГУ-1600/4,5 состоит из пяти основных блоков, заключенных в собственные вакуумные теплоизолирующие кожухи и соединенных с другими посредством теплоизолированных трубопроводов. Первый блок представляет собой состоящую из двух- и трехпоточных теплообменников гирлянду, из соответствующих мест которой по расположенному в центре вакуумному кожуху отходят три пары трубопроводов входа и выхода гелия турбодетандеров предварительного охлаждения. Турбодетандерный блок конструктивно размещен в верхней части первого блока.

Очистка гелия от примесей  $O_2$  и  $N_2$  при температуре жидкого азота осуществляется в двух переключающихся блоках с размещенными в них угольными адсорберами. Во время работы одного блока второй находится в процессе регенерации. Она производится путем прогрева горячим газом и последующим вакуумированием. Адсорбер очистки от примесей  $Ne$  и  $H_2$  установлен внутри четвертого блока – блока сжижения. Возможностей его регенерации в ходе работы не предусматривается: она осуществляется на теплой установке перед каждым длительным сеансом эксплуатации. Блок сжижения, кроме того, включает сборник жидкого гелия объемом около 1000 литров, теплообменники и низкотемпературную арматуру управления рефрижератором и распределения жидкого гелия по потребителям. К блоку сжижения примыкает блок парожидкостного турбодетандера.

Устройствами, производящими холод в КГУ-1600/4,5, служат четыре турбодетандера, включенные в цикл установки при температурах на входе соответственно 150, 50, 22 и 5,2 К. Эти машины, производимые в ОАО «НПО ГЕЛИЙМАШ», являются

высокоскоростными малоразмерными турбинами, не имеющими аналогов в мировой практике. Проточная часть турбомашин с радиально-осевым рабочим колесом имеет специальную профилировку, обеспечивающую высокую эффективность расширения рабочего тела.

Конструктивно турбодетандеры выполнены по однотипной схеме. Рабочее колесо турбодетандера консольно закреплено на вертикально расположенном валу, опирающемся на радиальный газостатический и радиально-осевой гидростатический масляный подшипники. Газовый подшипник расположен непосредственно у рабочего колеса и хорошо предохраняет низкотемпературную проточную часть от попадания паров масла. Высокая виброустойчивость ротора в основном обеспечивается специальным гидростатическим подшипником, в котором в рабочем режиме происходит интенсивное образование эмульсии масла, благодаря чему существенно снижается момент сопротивления вращению ротора. Гидростатический подшипник воспринимает все радиальные и осевые нагрузки со стороны турбины. Мощность, развиваемая турбиной, расходуется на трение в подшипниках и нагрев масла, циркуляция и охлаждение которого осуществляется герметичной системой.

Рабочее колесо и направляющий аппарат, а также система подвески ротора и нагрузочное устройство выполнены в едином блоке – модуле. Тем самым существенно упрощена технология изготовления конструкции, а ремонт осуществляется простой заменой модуля без нарушения герметизации вакуумного кожуха и приостановки технологического процесса рефрижератора.

Полученный на установках КГУ-1600/4,5 положительный опыт дает основание разместить заказ на новый гелиевый ожижитель ОГ-800 и другое криогенное оборудование преимущественно в ОАО «НПО ГЕЛИЙМАШ», которое уже поставило три подобных ожижителя в Оренбургское ЗАО «КРИОР», являющееся головным производителем жидкого гелия для России и Евросоюза. При этом удастся максимально использовать развитые на этих предприятиях технологии очистки газов, теплоизоляции, изготовления теплообменной аппаратуры и других машин и аппаратов.

Финансовые и временные затраты по реализации системы криогенного обеспечения ускорительного комплекса NICA иллюстрирует табл. 3. Общий объем затрат оценивается величиной 16 млн. долларов США. По всем позициям таблицы проведены консультации с разработчиками или изготовителями, по некоторым позициям имеются коммерческие предложения.

План размещения оборудования системы криогенного обеспечения ускорительного комплекса NICA приводится на чертеже №2490.00.000.

Таблица 3. План развития и реконструкции криогенной гелиевой системы ЛФВЭ для нужд ускорительного комплекса NICA

		2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	Модернизация двух установок КГУ-1600/4,5	480					
2	Дополнительный гелиевый ожижитель (800 л/ч)				3000	500	
3	Замена существующих поршневых компрессоров		260	260			
4	Поставка и пуск трех винтовых компрессорных агрегатов «Каскад – 80/25»			1430	1430	1430	
5	Замена ресиверов хранения газообразного гелия		45	90	315		
6	Транспортный контейнер жидкого гелия (40 м <sup>3</sup> )		850				
7	Емкости для жидкого азота, насосы и криогенные соединительные линии		660	660			
8	Сателлитные гелиевые рефрижераторы для бустера и коллайдера					620	
9	Транспортный сосуды Дьюара для жидкого галлия 12 шт по 250 л			60	60		
10	Система контроля и автоматизации		80		220		
11	Трубопроводы жидкого гелия, арматура и вакуумное оборудование для откачки изоляции				180	270	400
12	Оборудование осушки и очистки от масла			900	900	900	
	Итого по году	480	1895	3400	6105	3720	400