

Секция 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ, ХОЛОДИЛЬНЫХ И КРИОГЕННЫХ УСТАНОВОК

УДК 621.59

СИСТЕМА КРИОГЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

Митрофанова Ю. А., Константинов А. В., Швидкий Д. С.

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, ул. Ак. Балдина, 4

e-mail: akonstantinov@jinr.ru

Базовой установкой ЛФВЭ ОИЯИ является ускоритель Нуклотрон. Нуклотрон – первый в Европе сверхпроводящий ускоритель. Этот ускоритель, предназначенный для получения пучков релятивистских ядер с энергией до 4,5 ГэВ/нуклон, был введен в эксплуатацию в 1993 г.

Использование сверхпроводимости связано с необходимостью охлаждать ускоритель до низких температур (4,5 К), получаемых при помощи жидкого гелия. Для Нуклотрона был создан крупнейший в России криогенный гелиевый комплекс холодопроизводительностью 4000 Вт при температуре 4,5 К.

Периметр ускорителя составляет 252 м, «холодная» масса – 80 тонн. В основу криогенного комплекса Нуклотрона входят два гелиевых рефрижератора КГУ-1600/4,5 холодопроизводительностью 2000 Вт при 4,5 К каждый. Каждая из установок обеспечивает подачу охлаждающего гелия к соответствующему полукольцу Нуклотрона.

Система хранения газообразного гелия состоит из 10-ти ресиверов по 20 м³ каждый, суммарный объем хранилища – 6000 м³.

Для обеспечения избыточного давления на линии всасывания компрессоров (3 кПа) использовался маслonaполненный газгольдер объемом 20 м³. Также, для циркуляции газообразного гелия в системе предусмотрено компрессорное оборудование различных типов и модификаций.

В качестве основных компрессоров использовались два винтовых компрессорных агрегата «Каскад-80/25». Компрессор выполнен в двух-

ступенчатом варианте, производительностью 5040 нм³/ч и давлением нагнетания 25 кгс/см².

Поршневые компрессоры меньшей производительности используются для ступенчатого регулирования расхода газа в системе, резервирования и заправки испарившегося гелия в ресиверы.

Основные технические характеристики компрессоров криогенной системы Нуклотрона:

Суммарная производительность:	17220 нм ³ /час
Установленная мощность электродвигателей:	4,2 МВт
Расход охлаждающей воды:	200 м ³ /час

В планы дальнейшего развития базовых установок ЛФВЭ входит создание ускорительного комплекса NICA (the Nuclotron based Ion Collider fAcility). Помимо Нуклотрона, в него войдет два новых СП ускорителя: Бустер и Коллайдер. Комплекс создаётся с целью изучения свойств плотной барионной материи. Для проведения экспериментов на коллайдере создаются два детектора: MPD (многофункциональный детектор) и SPD (детектор для экспериментов по спиновой физике), а также установка BM@N (исследование барионной материи на Нуклотроне) для проведения исследований на выведенных пучках Нуклотрона.

Криогенная система ускорительного комплекса NICA создается как результат модернизации существующего оборудования криогенного обеспечения Нуклотрона. Основные цели модернизации:

- Повышение холодопроизводительности на температурном уровне 4.5 К с 4000 Вт до 10000 Вт;
 - создание новой системы распределения жидкого гелия;
 - обеспечение кратчайшего времени охлаждения трех колец ускорителей с протяженностью около 1 км и «холодной» массой 290 тонн.
- Эти цели будут достигнуты посредством ввода в эксплуатацию:
- ожижителя гелия производительностью 1000 л/ч;
 - новой системы криостатирования, основанной на сателлитных рефрижераторах;
 - гелиевых винтовых компрессоров нового дизайна.

Система криогенного обеспечения вновь вводимых СП колец (Бустер и Коллайдер) состоит из центрального ожижителя гелия ОГ-1000 производительностью 1000 л/ч и трех сателлитных рефрижераторов РСГ-2000/4,5 холодопроизводительностью 2000 Вт при 4,5 К каждый. Один рефрижератор используется для охлаждения и криостатирования Бустера, два других – для охлаждения коллайдера. Рефрижераторы работают, используя жидкий гелий от центрального ожижителя.

Для комплекса NICA используется существующая система хранения газообразного гелия, состоящая из 10-ти ресиверов. В дополнение к этой системе разработан и изготовлен транспортный контейнер-цистерна для хранения 40 м³ жидкого гелия. Это позволило решить несколько задач: увеличить вместимость оборудования для хранения гелия более чем в 4 раза и иметь дополнительный источник холода для сглаживания нештатных ситуаций, которые могут возникать на ускорительном комплексе.

В октябре 2021 г. введен в эксплуатацию газгольдер изохорного типа объемом 1000 м³. По сравнению с 20 м³ маслонаполненным газгольдером эксплуатировавшимся ранее, новый газгольдер позволил обеспечить одновременную работу двух установок «Каскад-80/25» и минимизировать потери гелия в случае возникновения нештатных ситуаций, например, при аварийных отключениях электропитания.

В криогенной системе ускорительного комплекса NICA также будет задействован ряд компрессоров различных типов и модификаций. В качестве основных будут использоваться два существующих винтовых компрессорных агрегата «Каскад-80/25» и два вновь смонтированных агрегата «Каскад-110/30» производительностью 6600 нм³/ч.

Основные технические характеристики компрессоров криогенной системы комплекса NICA:

Суммарная производительность:	28920 нм ³ /час
Установленная мощность электродвигателей:	7,2 МВт
Расход охлаждающей воды:	390 м ³ /час

В январе-апреле 2022 г. был проведен первый сеанс совместной работы ускорителей Бустер и Нуклотрон; с сентября 2022 г. по февраль 2023 г. – самый длительный сеанс совместной работы ускорителей для эксперимента BM@N. Охлаждение обоих ускорителей было обеспечено модернизированным криогенным комплексом ЛФВЭ.

Итоги работы криогенного комплекса ЛФВЭ в ходе последнего пусконаладочного сеанса работы ускорителей Бустер-Нуклотрон:

- Впервые реализована штатная схема охлаждения ускорителей: Нуклотрон – двумя рефрижераторами КГУ-1600/4,5, Бустер – сателлитным рефрижератором РСГ-2000/4,5;
- Впервые осуществлена одновременная работа двух компрессорных агрегатов «Каскад-80/25»;
- Бустер охлажден от 300 К до рабочей температуры 4,5 К за расчетное время - 8 суток;
- Время охлаждения Нуклотрона до 4,5 К составило 7 суток;

- Введенный в эксплуатацию 1000 м³ гелиевый газгольдер показал свою эффективность как в случае одновременной работы двух винтовых компрессорных агрегатов «Каскад-80/25», так и в случае возникновения нештатных ситуаций при аварийном отключении электропитания.

Следующий этап создания комплекса NICA начнется с технологического сеанса на кольце Коллайдера. В конце 2024 г. ускоритель будет охлажден до 4,5 К, проведены испытания его магнитно-криостатной системы и заведен рабочий ток в магниты.

После завершения технологического сеанса, пучок ускоренных заряженных частиц должен быть инжектирован в кольцо Коллайдера, для чего все три сверхпроводящих ускорителя должны быть охлаждены до 4,5 К. В настоящее время ведутся пусконаладочные работы компрессорных агрегатов «Каскад-110/30», сателлитных рефрижераторов РСГ-2000/4,5, обеспечивающих криостатирование коллайдера, блоков маслоочистки и осушки гелия МО-800. Кроме того, ведется монтаж сети трубопроводов, как теплых, так и криогенных.