

«Утверждаю»
Директор ОИЯИ


B.A. Матвеев
«28» декабря 2018 г.

«Согласовано»
Руководитель проекта
«Комплекс NICA»

 В.Д. Кекелидзе

«28» декабря 2018 г.

«Согласовано»
Директор проекта
«Комплекс NICA»

 Р. Ледницкий  Б.Н. Гикал

«28» декабря 2018 г. «28» декабря 2018 г.

«Согласовано»
Главный инженер
ОИЯИ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ ОБЪЕКТА «КОМПЛЕКС NICA»

Раздел. ТЕХНИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ (ПАСПОРТ) объекта «Комплекс NICA»

Подготовлен в развитие следующих документов:

- «Обоснование и дорожная карта мегапроекта «Комплекс NICA» от 15 сентября 2011 г. (направлено в Минобрнауки РФ 19 сентября 2011 г., письмо №010-28/1134);
- «Основные положения технического проекта Базовой конфигурации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA» (Приложение №1 к Соглашению между Правительством Российской Федерации и международной межправительственной научно-исследовательской организацией Объединенным институтом ядерных исследований о создании и эксплуатации комплекса сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA).

28 декабря 2018 г.

Под общей редакцией директора Лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ) ОИЯИ В.Д. Кекелидзе и заместителя директора ЛФВЭ ОИЯИ Ю.К. Потребникова. Ответственные за подразделы документа указаны в таблице

Раздел	Редакторы разделов		Подпись
Цели и задачи Комплекса NICA	Сорин А.С. руководитель темы 1065	sorin@theor.jinr.ru тел. 21-65940	
Научная программа	Теряев О.В., руководителя блока теоретических исследований	teryaev@jinr.ru Тел. 21-62166	
Ускорительный комплекс	Мешков И.Н., научный руководитель проекта ускорительного комплекса	meshkov@jinr.ru тел. 21-65193	
	Трубников Г.В., руководитель проекта Нуклotron-NICA	trubnikov@jinr.ru	
	Г.Г. Ходжибагиан, руководитель проектов магнитно-криостатных систем	hamlet@jinr.ru тел. 21-64686	
	Коваленко А.Д. – ответственный за системы управления поляризованными пучками	kovalen@dubna.ru тел. 21-62224	
	Бутенко А.В., зам. руководителя проекта Нуклotron-NICA	butenko@jinr.ru тел. 21-63722	
	Сидорин А.О., зам. руководителя проекта Нуклotron-NICA	sidorin@jinr.ru тел. 21-63910	
	Сыресин Е.М., главный инженер ускорительного комплекса NICA	esyresin@jinr.ru 21-65321	
Установка MPD	Головатюк В.М., зам. руководителя проекта MPD	golovatyuk@jinr.ru тел. 21-66551	
Установка BM@N	Капишин М.Н., руководитель проекта BM@N	kapishin@jinr.ru Тел. 21-62861	
Установка SPD	Ценов Р., руководитель	tsenov@jinr.ru	

	группы подготовки проекта установки SPD	Тел. 21-63904	
Иновационный блок	Сыресин Е.М.,главный инженер ускорительного комплекса NICA	esyresin@jinr.ru Тел. 21-65321	
Компьютерный блок и компьютерные сети комплекса	Долбилов А.В., руководитель работ по созданию компьютерного блока комплекса NICA	dolbilov@jinr.ru Тел. 21-62470	
	Потребеников Ю.К., координатор работ по созданию компьютерного блока комплекса NICA	potreb@jinr.ru Тел. 21-63441	
Строительная, научно- исследовательская и инженерная инфраструктура комплекса	Агапов Н.Н., главный инженер ЛФВЭ, руководитель работ по созданию криогенного блока комплекса NICA	agapov@lhe.jinr.ru Тел. 21-65859	
	Дударев А.В., зам. главного инженера ОИЯИ	dudarev@jinr.ru Тел. 21-63241	
	Семин Н.В., зам. главного инженера ЛФВЭ	semin@jinr.ru Тел. 21-65807	
	Трубников А.В., помощник директора ЛФВЭ	alekstru@jinr.ru Тел. 21-63055	

ОБЩИЕ ДАННЫЕ

Заказчик – Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ).

Проект «Комплекс NICA» (далее Комплекс) реализуется Лабораторией физики высоких энергий (ЛФВЭ) при поддержке служб ОИЯИ, подрядными организациями и международными коллаборациями.

Район строительства Комплекса – площадка ЛФВЭ ОИЯИ, г.Дубна.

Расположение зданий и сооружений комплекса на площадке ЛФВЭ показано на схеме (рис. 1), их описание и назначение приведено в таблице 1.

Генеральные проектные организации строительного комплекса: ОАО «Комета»; ОАО «Арена», ОАО «Гипрокислород» и др., рабочее проектирование основных технологических систем – ЛФВЭ.

Заказы на специализированное оборудование выполняются на технологических участках ЛФВЭ, в ЦОЭП ЛФВЭ и в сторонних организациях, включая зарубежные предприятия.

Строительные, проектные, а также частично монтажные работы ведутся сторонними организациями под контролем ОКС ОИЯИ.

Общая площадь для расстановки оборудования, создания опытных и технологических участков, экспериментальных зон, вычислительных мощностей и размещения персонала составляет 84 330 м².

В том числе:

- здание №17 (Коллайдера и двух экспериментальных павильонов)	- 30 800 м ² ;
- здание №1 (Нуклонона)	- 23 900 м ² ;
- здание №205 (зона испытаний и экспериментов на выведенных пучках)	- 8 900 м ² ;
- производственные и офисные помещения	- 26 530 м ² .

Общая потребляемая мощность по электропитанию:

- на этапе строительства Комплекса	- 16,120 МВт;
- после ввода в эксплуатацию Комплекса	- 34,734 МВт

Сооружение Комплекса осуществляется в три этапа:

- первый этап - «Стартовая конфигурация Комплекса NICA», определяется запуском в эксплуатацию Бустера и началом эксперимента на выведенных пучках;

- второй этап - «*Базовая конфигурация Комплекса NICA*», » будет реализован с окончанием основных строительно-монтажных работ, запуском Коллайдера и первой экспериментальной установки на Коллайдере;
- третий этап - «*Полная конфигурация Комплекса NICA*», характеризуется достижением проектных параметров ускорительного комплекса и запуском в эксплуатацию второй установки на Коллайдере.

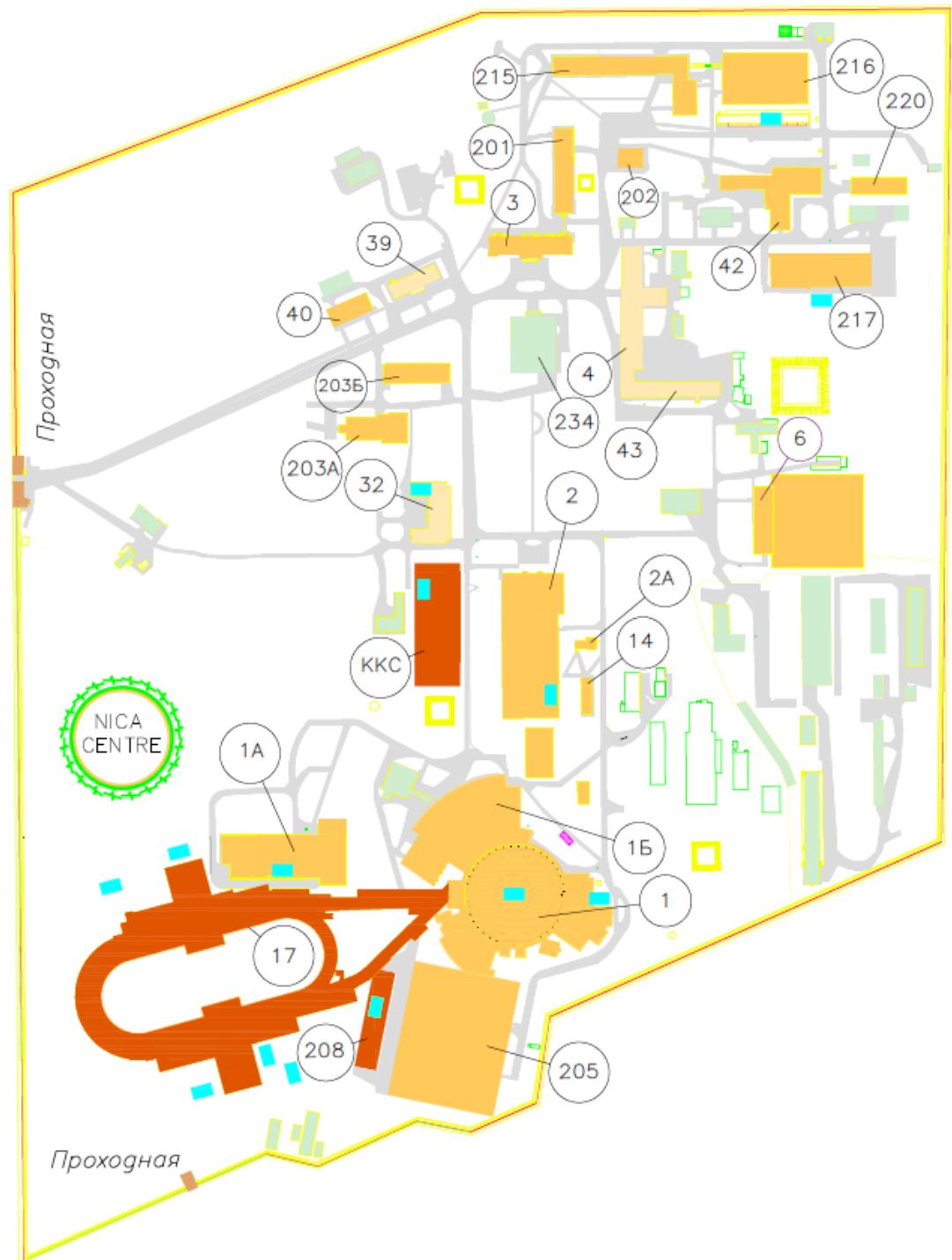


Рис. 1. Схема расположения зданий и сооружений (корпусов) на площадке ЛФВЭ, используемых при создании и эксплуатации Комплекса NICA. Красным цветом обозначены вновь возводимые, зеленым – проектируемые, желтым – реконструируемые строительные объекты, голубым - трансформаторные подстанции.

Таблица 1.

Номера корпусов ЛФВЭ и их назначение в проекте Комплекс NICA»

Здания	Статус объекта OO - основной BO – вспомогат.	Назначение	Установки и технологические участки			
				Имеется	Строится	Реконструкция
K. 1	OO	Ускорительный комплекс	Нуклotron, инжекционный комплекс, кольцо Бустера, пульт управления	●		●
K. 1A	OO	Энергетический корпус, пульты управления MPD и SPD	Источники питания ускорительного комплекса, пульты управления детекторами MPD и SPD	●		●
K. 1Б	OO	Криогенный комплекс	Пульт управления, Компрессорная	●		●
K. 2	OO	Пульт управления ускорительным комплексом	Пульт управления	●		●
K. 2A		Маслохранилище	В составе криогенного комплекса	●		
K. 3	BO	Офисный корпус		●		●
K. 4	BO	Экспресс-мастерские	Участки мехобработки, сварки, сборки, покраски	●		●
K. 6	BO	Главная понизительная станция		●		●
K. 14	OO	On-line кластер	Сбор и передача данных экспериментов	●		●
K. 17	OO	Ускорительный комплекс	Кольцо коллайдера, MPD, SPD, СЭО, Нуклotron, Бустер		●	
K. 32	BO	Экспресс-мастерские	Участок сборки и изготовления криостатов	●		●
K. 39	BO	Административное		●		
K. 40	OO	Сборка и проверка детекторов для MPD и TPC	Участок сборки и проверки детекторов для MPD и TPC	●		●
K. 42	OO	Сборка и испытание детекторов для MPD	Участок сборки и испытания высоковольтного оборудования комплекса NICA. Участок сборки ECAL MPD. Участок сборки TOF и RPC	●		●
K. 201	OO	Разработка электронных элементов детекторов	Участки разработки прототипа комплексного кластера	●		
K. 202	BO	Разработка и тестирование детекторов	Участок разработки и тестирования элементов детекторных систем MPD&SPD	●		
K. 203A	OO	Испытание магнитов	Участок испытания магнитов	●		●
K. 203Б	OO	Разработка и испытания источников для ускорительного комплекса	Участок испытания источников	●		●
K. 205	OO	Комплекс физических установок для прикладных исследований	Комплекс установок для прикладных исследований HIPER NIS, BM&N	●		●
K. 208	OO	Электропитание экспериментальных установок	Источники электропитания экспериментальных установок		●	
K. 215	BO	Офисный центр	Конференс комплекс. Участки разработки прототипа комплексного кластера	●		●
K. 216	OO	Off-line кластер NICA	Участок разработки кремниевых детекторов	●		●
K. 217	OO	Сборка и испытание сверхпроводящих магнитов, сборка TPC	Участок сборки и испытания сверхпроводящих магнитов. Участок сборки TPC	●		
K. 220	OO	Сборка и испытание элементов детекторных систем	Участок по производству струй и микрострипов детекторов, участок сборки ECAL MPD	●		●
KKC		Криогенно-компрессорная станция	Криогенно-компрессорная станция		●	
NICA Centre	OO	Офисный центр, конференс-центр, центр сбора и обработки данных экспериментов	Компьютерный кластер для моделирования, обработки и хранения экспериментальных данных		●	
K. 234	BO	Столовая	Пищеблок, буфет	●		●

Содержание

Введение – цели и задачи Комплекса NICA

1. Научная программа исследований
 2. Ускорительный блок
 3. Установка MPD
 4. Установка BM@N
 5. Установка SPD
 6. Инновационный блок
 7. Компьютерный блок и компьютерные сети комплекса NICA
 8. Строительная, научно-исследовательская и инженерная инфраструктура комплекса NICA
 - 8.1. Строительная инфраструктура комплекса
 - 8.2. Криогенная инфраструктура
 - 8.3. Инфраструктура энергообеспечивающих и энергосберегающих инженерных систем
 - 8.4. Высокотехнологичная линия сборки и испытаний СП магнитов
 9. График создания объектов комплекса NICA и оценка их стоимости
 - 9.1. График создания основных объектов комплекса NICA
- Приложение №1. Оценка стоимости материальных затрат на создание основных объектов комплекса NICA

Введение – цели и задачи Комплекса NICA

Целью проекта «Комплекс NICA» (далее – комплекс NICA или Комплекс) является создание на территории Российской Федерации экспериментальной базы мирового уровня для проведения фундаментальных исследований по ряду наиболее значимых вопросов современной физики высоких энергий и выполнения актуальных прикладных исследовательских работ, обеспечение участия в этих исследованиях ученых из научных организаций стран-участниц, а также стран, присоединившихся к проекту.

В составе Комплекса создаются, развиваются и эксплуатируются следующие основные объекты:

Ускорительный блок, включающий

- сверхпроводящий синхротрон Нуклotron и каналы вывода и перевода пучков;
- инжекционный комплекс (источники ионов и поляризованных частиц, линейные ускорители);
- сверхпроводящий синхротрон – Бустер комплекса NICA (в дальнейшем – Бустер);
- сверхпроводящий коллайдер тяжелых ионов и поляризованных частиц комплекса NICA (в дальнейшем – Коллайдер).

Экспериментальные установки, в том числе

- MPD (MultiPurpose Detector - Многоцелевой детектор) – для проведения исследований плотной барионной материи на встречных пучках Коллайдера;
- BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron - Барионная материя на Нуклotronе) – для проведения физических исследований по изучению плотной барионной материи на выведенных пучках Нуклотрона;
- SPD (Spin Physics Detector - Детектор спиновой физики) – для изучения спиновой структуры нуклона на встречных поляризованных пучках Коллайдера.

Инновационный блок, включающий

- экспериментальные зоны, каналы и установки для проведения инновационных и прикладных исследований, развития микроэлектроники, решения ряда медико-биологических и материаловедческих задач.

Компьютерно-информационный блок, включающий

- распределенный информационно-вычислительный комплекс для моделирования, обработки, анализа и хранения накопленных данных с сетевой инфраструктурой и набором информационных сервисов.

Проводимые на создаваемом комплексе NICA фундаментальные исследования требуют организации и функционирования международных колабораций, включающих научных работников, инженеров и специалистов из стран-участниц проекта. Инновационные и прикладные работы также привлекут в ОИЯИ коллективы специалистов из различных стран, нацеленные на решение широкого спектра задач. Предварительные оценки числа специалистов, находящихся с рабочими визитами в Институте в течении года уже на этапе запуска базовой конфигурации Комплекса, составит не менее 1000, а в дальнейшем, в ходе развития Комплекса, это число должно возрасти в 3 – 5 раз. Все участники проекта должны быть обеспечены офисами и соответствующей инфраструктурой (компьютинг, залы для совещаний и семинаров, буфеты и т.п.).

Для решения поставленных задач требуется создание соответствующей строительной, научно исследовательской и инженерной инфраструктуры, включающей:

- здание №1 (бывшее здание Синхрофазотрона) Нуклотрона, Бустера, инжекционного комплекса с источниками частиц и двумя линейными ускорителями, каналов транспортировки частиц в Бустер и в Нуклотрон;
- здание №17 Коллайдера с тоннелями каналов транспортировки пучков из Нуклотрона, экспериментальные павильоны детекторов MPD и SPD, павильон системы электронного охлаждения пучков Коллайдера и другие сооружения, возводимые или реконструируемые для функционирования всего комплекса;
- экспериментальный павильон (здание №205) для проведения исследований на выведенных пучках частиц и для размещения специальных зон тестирования создаваемой аппаратуры;
- криогенный блок с новым зданием криогенно-компрессорной станции;
- инфраструктуру энергообеспечивающих и энергосберегающих инженерных систем;
- высокотехнологичную линию сборки и испытаний сверхпроводящих (СП) магнитов типа «Нуклотрон»;
- центр инновационных разработок – Центр NICA;
- распределенный компьютерный комплекс с высокоскоростными технологическими и локальными вычислительными сетями;
- каналы транспортировки пучков в специализированные зоны проведения инновационных и прикладных исследований на линейных ускорителях и выведенных пучках Нуклотрона.

Схема расположения основных ускорителей и экспериментальных установок Комплекса приведена на рис. 2.

Настоящий документ содержит описание программы исследований с использованием возможностей Комплекса, краткое описание основных объектов Комплекса с указанием их базовых технических параметров и этапов создания, а также ссылки на документы, содержащие детальное техническое описание этих объектов.

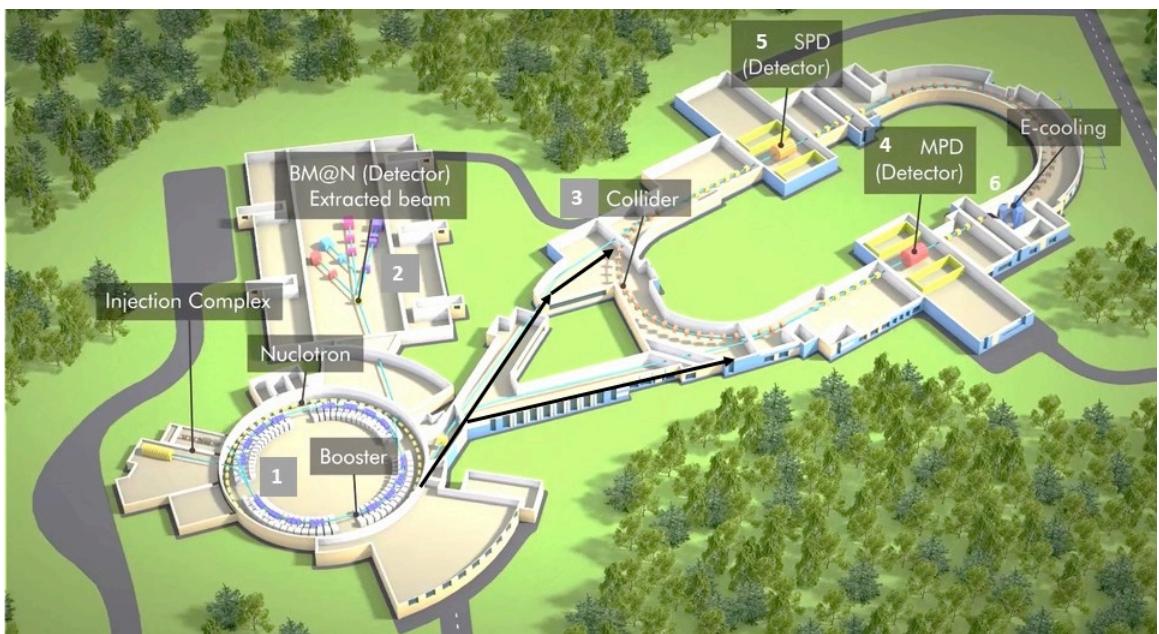


Рис. 2. Схема расположения основных ускорителей и экспериментальных установок Комплекса NICA

1. Научная программа исследований

Исследования на комплексе NICA охватывают широкий круг явлений в области структуры сильновзаимодействующей материи, проявляющихся в реакциях с участием тяжелых ионов, поляризованных адронов и легких ядер. Основными направлениями программы исследований являются:

■ *Поиск и экспериментальное исследование фазовых переходов и критических явлений в сильновзаимодействующей ядерной материи при экстремальных барионных плотностях.* Такая материя существовала только на ранних этапах возникновения Вселенной. При более низких температурах она может появиться также в ядрах/недрах нейтронных звезд. Вычисления в решеточной квантовой хромодинамике предсказывают фазовые переходы деконфайнмента и восстановления киральной симметрии при достаточно высокой плотности энергии, ведущие к образованию кварк-глюонной материи. В настоящее время решеточные методы не распространяются на область высоких барионных плотностей, характерных для столкновений тяжелых ионов на Комплексе. Возможность достижения максимальной барионной плотности в ускорительных экспериментах при энергиях Комплекса подтверждается как модельными теоретическими расчетами, так и данными экспериментов в ЦЕРН. При этом энергетический диапазон Комплекса достаточно широк (см. фазовую диаграмму на рис. 1.1) для изучения как чисто адронной фазы, так и кварк-глюонной фазы. Отложенные по осям температура и нормированная на “обычную” барионная плотность являются основными косвенно наблюдаемыми характеристиками, указывающими на проявление статистических закономерностей в соударениях тяжелых ионов. Граница между адронной и кварк-глюонной фазами может проявляться в различных экспериментах, астрофизических и космологических явлениях.

Существенным является не только обнаружение фазового перехода, но и прояснение его характера. Последний может включать как кроссовер, так и фазовый переход первого рода, ведущий к появлению критической точки (CEP - Critical End Point - на рис.1.1). Ни фазовый переход первого рода, ни критическая точка не наблюдались экспериментально. Поэтому их поиск является одной из главных задач научной программы.

В связи с ограниченностью теоретических результатов, связанной, в частности, с тем, что решеточные вычисления при конечной барионной плотности находятся в стадии становления, эксперименты будут начаты с исследования диагностических наблюдаемых, изучавшихся ранее на ускорителях RHIC и SPS. Наблюдаемые будут включать выходы и спектры частиц, пособытийные флуктуации множественности и поперечного импульса и различные комбинированные распределения. Измерения будут проводиться при различных энергиях и типах сталкивающихся частиц. Будут исследоваться фемтоскопические корреляции, направленный, эллиптический и

высшие потоки для различных адронов, лептонов и фотонов, зарядовые и спиновые асимметрии.

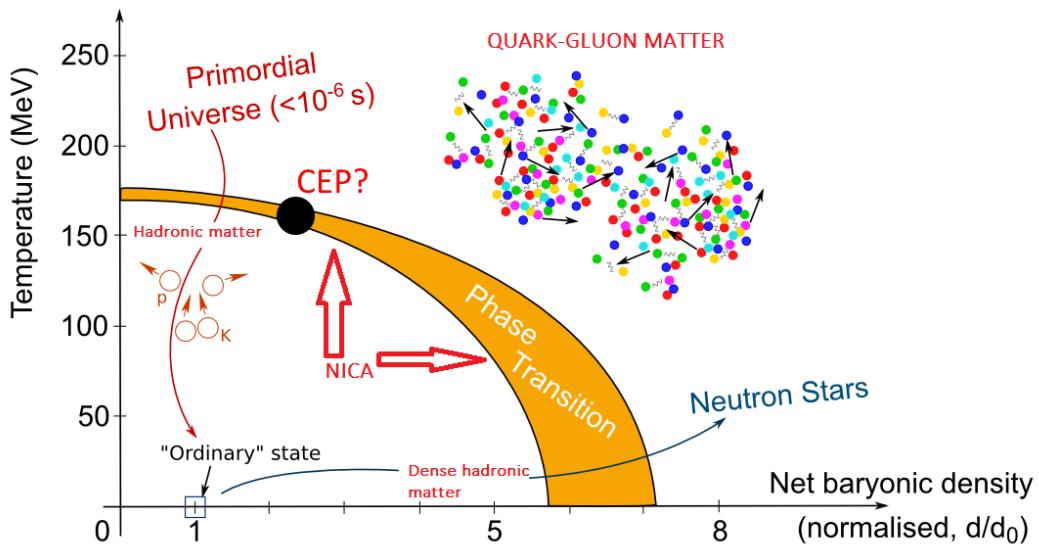


Рис. 1.1. Фазовая диаграмма барионной материи

■ *Экспериментальное исследование спиновой структуры нуклона и легких ядер.*

Современное описание спиновой структуры адронов осуществляется посредством набора функций распределения, зависящих как от спина, так и от поперечного импульса, причем особую роль играют корреляции между различными поперечными характеристиками. Программа Комплекса включает исследование полного набора зависящих от поперечного импульса функций ведущего степенного поведения (твиста) с помощью различных жестких пробников — дилептонов (в процессе Матвеева-Мурадяна-Тавхелидзе-Дрелла-Яна), кваркониев, прямых фотонов, адронов с большим поперечным импульсом. Будут также исследоваться проинтегрированные по поперечному импульсу партонные распределения и кварк-глюонные корреляторы. Особая роль будет отведена распределениям тензорно поляризованных дейtronов, поскольку наличие соответствующих пучков является уникальной особенностью Комплекса.

■ *Исследование поляризационных эффектов в столкновениях тяжелых ионов и малонуклонных системах.* Поляризация гиперонов является чувствительным пробником динамики адронной и кварк-глюонной среды, включая такие ее тонкие характеристики как завихренность и гидродинамическая спиральность. Разработанные в ОИЯИ теоретические методы предсказывают достижение ее максимальных значений в области энергий Комплекса, что подтверждается данными RHIC. Программа включает исследование поляризации гиперонов, образованных в различных кинематических областях, в зависимости от типа ядер, энергии и центральности. Планируется детальное сравнение поляризационных эффектов в

реакциях с адронами, легкими и тяжелыми ядрами. Будет также систематически исследоваться тензорная поляризация векторных мезонов и дилептонов.

■ *Исследование динамики реакций и изучение модификации свойств адронов в ядерной материи.* Теоретические исследования указывают на возможность частичного восстановления киральной симметрии, ведущие к модификациям адронных спектральных функций в плотной среде. Наиболее чувствительными пробниками этой модификации для векторных мезонов являются дилептоны, характеристики которых, включая угловые распределения (тензорную поляризацию), чувствительны к состоянию среды в момент взаимодействия и не искажаются сильными взаимодействиями на более поздних стадиях процесса. В настоящее время отсутствуют данные по дилептонам с инвариантной массой в области нескольких ГэВ. Программа Комплекса устранит этот недостаток, что особенно важно вследствие максимальной плотности адронов, достигаемой в этой области.

■ *Исследование структуры ядер на малых межнуклонных расстояниях, рождения странных гиперонов около порога и поиск гиперядер во взаимодействиях выведенных пучков Нуклотрона с фиксированными мишениями.* Флуктуации на малых расстояниях, связанные также с концепциями флюктона и кумулятивных процессов, разработанными в ОИЯИ, могут изучаться в обратной кинематике, при рассеянии ядерных пучков на водородной мишени, что дает возможность детектировать все частицы в конечном состоянии. Рассеяние поляризованных дейtronов может использоваться для прямой проверки тензорной природы флуктуаций. Усиление выхода странности в соударениях тяжелых ионов по сравнению с элементарными процессами является чувствительным пробником фазовых переходов. Наиболее ярко это явление проявляется в образовании гиперядер, которое предполагается изучать как в коллайдерной моде в условиях максимальной барионной плотности, так и на фиксированных мишнях.

■ *Разработка теоретических моделей исследуемых процессов и теоретическое сопровождение экспериментов.* Теоретические исследования будут сочетать детальное моделирование процессов в конкретных условиях экспериментов на Комплексе с поисковыми разработками, включающими разработку новых теоретических методов, в частности, непертурбативной и решеточной квантовой хромодинамики.

Программа научных исследований отражена в «Белой книге» проекта NICA http://theor0.jinr.ru/twiki/pub/NICA/WebHome/WhitePaper_10.01.pdf и опубликована в виде отдельного тома Европейского физического журнала: D. Blashe et. al. Exploring strongly interacting matter at high densities - NICA White Paper. EPJ A. V 52, N8, 2016. 267 p.

2. Ускорительный блок

2.1. Общие характеристики ускорительного блока

Ускорительный блок (или ускорительный комплекс NICA) проекта «Комплекс NICA» (рис. 2.1) обеспечивает ускоренными пучками заряженных частиц экспериментальные установки комплекса NICA для выполнения программы исследований в области релятивистской ядерной физики, физики спина частиц, радиобиологии и прикладных исследований. Ускорительный комплекс NICA уникален по составу и структуре используемых пучков ионов, гибкости при осуществлении исследовательских программ, светимости при исследовании взаимодействий частиц в достижимом на комплексе диапазоне их энергий.

Ускорительный комплекс NICA состоит из двух инжекционных цепочек лёгких ($A/Z = 1 \div 3$) и тяжёлых ($A/Z = 1 \div 6$) ионов, СП синхротронов Бустера и Нуклотрона, двух накопительных СП колец Коллайдера и каналов транспортировки пучков между этими элементами.

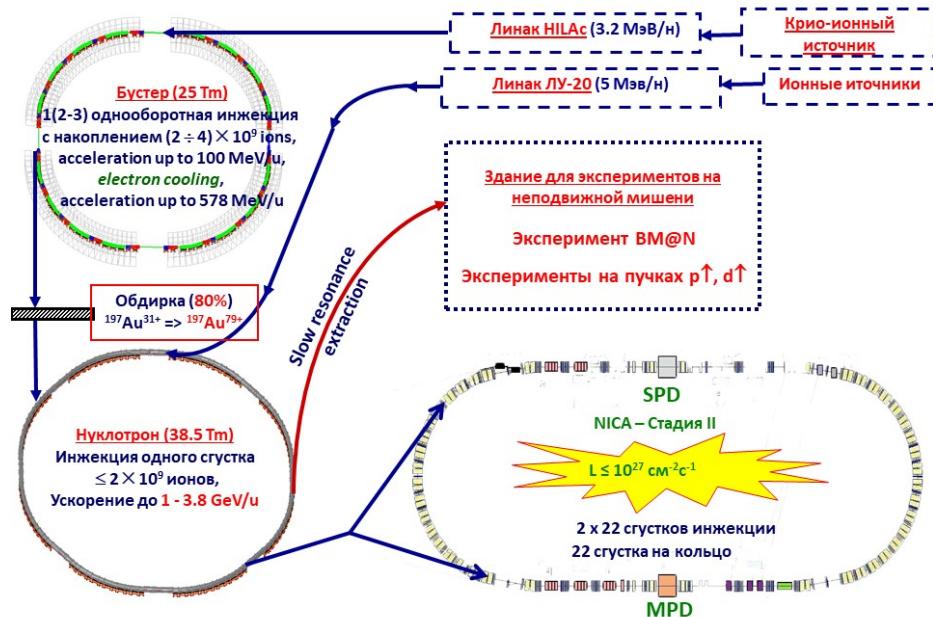


Рис. 2.1. Схема ускорительного комплекса NICA

Инжекционная цепочка легких ионов создает, ускоряет и транспортирует ионы в Нуклотрон; инжекционная цепочка тяжелых ионов так же обеспечивает ими Бустер, из которого они после ускорения транспортируются в Нуклотрон. Нуклотрон обеспечивает пучками ионов широкого спектра (от протонов до золота) установки для прикладных исследований, эксперимент BM@N и Коллайдер через системы

медленного и быстрого вывода пучков и соответствующие каналы транспортировки частиц.

Основной установкой комплекса, обеспечивающей проведение экспериментов на установках MPD и SPD, является Коллайдер. Он представляет собой два расположенных друг над другом накопительных кольца с двумя точками столкновения пучков (IP — interaction point). Столкновения пучков производятся под нулевым углом.

2.2. Инжекционная цепочка легких ионов

Инжекционная цепочка легких ионов предназначена для инжекции в Нуклонрон пучков различных ионов — от протонов до Mg, поляризованных пучков протонов с энергией до 12 МэВ и дейtronов с энергией до 6 МэВ/н. Цепочка состоит из следующих основных элементов:

- набор источников ионов: лазерный источник, дуаплазмotron, источник поляризованных частиц (таблица 2.1);
- высокочастотный резонансный линейный ускоритель ЛУ-20;
- каналы транспортировки пучков между элементами цепочки.

В зависимости от выполняемого эксперимента может использоваться один из трех источников ионов: лазерный источник, дуаплазмotron, источник поляризованных частиц. Параметры источников приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Параметры источников легких ионов.

Источник	Лазерный	Дуаплазмotron	SPI^{*)}
Частицы	Легкие ионы до Mg ¹⁰⁺	H ⁺ , D ⁺	↑H ⁺ , ↑D ⁺
Частиц за импульс	~ 10 ¹¹	~ 5·10 ¹²	5·10 ¹¹
Частота повторения импульсов, Гц	0,5	1	1
			0,2

^{*)} SPI – источник поляризованных ионов (Source of Polarized Ions).

Модернизированный ускоритель ЛУ-20 (таблица 2.2) обеспечивает ускорение ионов с отношением массового числа к зарядовому $1 \leq A/Z \leq 3$.

В дальнейшем на этапе реализации Полной конфигурации комплекса NICA планируется замена ЛУ-20 на современный ускоритель с повышением энергии ионов до 7 МэВ/н.

2.3. Инжекционная цепочка тяжелых ионов

Инжекционная цепочка тяжелых ионов предназначена для инжекции в Бустер пучков ионов вплоть до золота с энергией до 3,24 МэВ/н. Она состоит из следующих основных элементов:

- источника тяжелых многозарядных ионов КРИОН-6Т;

- высокочастотного резонансного линейного ускорителя;
- каналов транспортировки пучков между элементами цепочки.

Таблица 2.2.

Параметры ЛУ-20.

Основные параметры	Значение
Ускоряющая структура	ПОКФ* + Альварец
A/Z ускоряемых ионов	1 ÷ 3
Энергия на выходе, МэВ/н	5
Ток пучка на выходе, мА	5 ÷ 10
Выходной эмиттанс (эффективный), $\pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$	40
Аксептанс, $\pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$	220
Энергия инжекции ионов с $A/Z = 1 \div 3$, кэВ/н	150
Эффективность захвата, %	50
Рабочая частота, МГц	145
Длина, м	22

* ПОКФ – пространственно-однородная квадрупольная фокусировка

Криогенный источник многозарядных тяжелых ионов (КРИОН) имеет фокусирующую структуру электронно-струнного типа (таблица 2.3). Оригинальная разработка ЛФВЭ ОИЯИ.

Таблица 2.3

Параметры источника тяжелых ионов

Основные параметры	Значение
Частицы в основном режиме	Au^{31+}
Частиц за импульс	$\sim 2,5 \cdot 10^9$
Рабочая частота повторения циклов, Гц	3 за 5 с
Максимальная частота повторения циклов, Гц	10

Ускоритель тяжелых ионов HILAc (Heavy Ion Linear Accelerator) (таблица 2.4), ускоряет ионы с отношением массового числа к зарядовому $1 \leq A/Z \leq 6$.

Таблица 2.4

Параметры HILAc

Основные параметры	Значение
Диапазон A/Z ускоряемых ионов	1 ÷ 6
Энергия на выходе ($A/Z = 6$), МэВ/н	3,24
Ток пучка на выходе, мА	10
Тип структуры (количество секций)	RFQ (1) + IH DTL (2)

На выходе источника присутствуют ионы пяти соседних зарядовых состояний. Окончательная сепарация целевого зарядового состояния производится в канале транспортировки из HILAc в Бустер.

2.4. Бустер

СП синхротрон Бустер является основным инжектором тяжелых ионов в Нуклон. Его основными задачами являются:

- накопление ионов при энергии инжекции (до $2 \cdot 10^9$ ионов $^{197}\text{Au}^{31+}$);
- эффективное ускорение не полностью ободранных ионов благодаря достижению ультравысокого вакуума в пучковой камере;
- формирование требуемого фазового объёма пучка с использованием системы электронного охлаждения;
- ускорение тяжёлых ионов до энергии, требуемой для их эффективной обтирки;
- быстрый (однооборотный) вывод ускоренного пучка для его инжекции в Нуклон.

Пучок из Бустера в Нуклон переводится по специальному каналу транспортировки заряженных частиц. Тяжелые ионы перед инжекцией в Нуклон полностью обдираются на мишени, установленной в канале, и сепарируются по зарядности. Ионы нецелевой зарядности направляются в предусмотренный поглотитель.

Бустер с периметром 210,96 м и структурой из четырёх суперпериодов (таблица 2.5) размещается внутри ярма магнита Синхрофазотрона (рис. 2.2). Максимальное поле дипольных магнитов Бустера составляет 1,8 Тл (магнитная жесткость 25,2 Тл.м), что соответствует энергии 578 МэВ/н ионов $^{197}\text{Au}^{31+}$.

Магнитная структура Бустера состоит из 4-х суперпериодов, в каждый из которых входят 5 регулярных периодов и один период, не содержащий дипольных магнитов. Регулярный период включает в себя фокусирующую и дефокусирующую квадрупольные линзы, 2 дипольных магнита и 4 малых свободных промежутка, предназначенных для размещения мультипольных корректоров, коллиматоров гало пучка частиц, циркулирующих в Бустере, и диагностического оборудования. Перечисленные элементы магнитной системы относятся к структурным элементам Бустера и объединяются в магнитно-криостатную систему (далее – МКС) (таблица 2.6).

Таблица 2.5

Основные параметры Бустера

Параметр	Значение
Ускоряемые частицы	ионы, $p \uparrow$, $d \uparrow$
Максимальная энергия ускоренных ионов $^{197}\text{Au}^{31+}$, МэВ/н	578
Интенсивность пучка Аи, ионов/цикл	$2,5 \cdot 10^9$
Продолжительность цикла при работе с Коллайдером, с	4,02
Периметр, м	210,96
Энергия инжекции, МэВ/н	3,24
Магнитная жесткость, Тл·м	25,2
Поле дипольных магнитов, Тл	1,8
Темп нарастания поля, Тл/с	1,2
Частота ускоряющего напряжения, кГц	$587 \div 2525$
Инжекция в Бустер	однооборотная, многооборотная
Вывод пучка	однооборотный
Давление остаточного газа в пучковой камере, Торр	10^{-11}

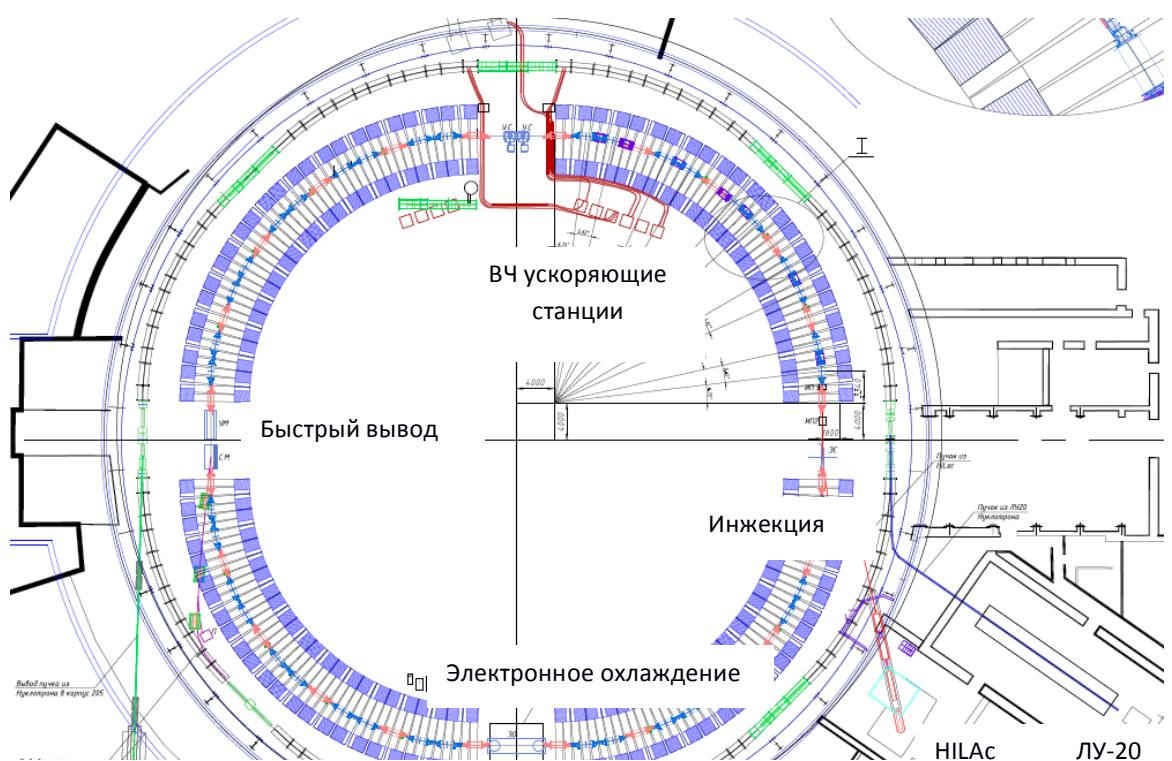


Рис. 2.2. План расположения МКС и других элементов Бустера

Таблица 2.6
Параметры структуры Бустера

Параметр	Значение
Число суперпериодов	4
Количество периодов в суперпериоде	6
Число длинных прямолинейных секций	4
Длина прямолинейной секции, м	7
Длины коротких прямолинейных промежутков, м	0,7/0,85/0,95
Энергия инжекции МэВ/н	3,24
Бетатронные числа	4,8/4,85
Максимальное значение β -функций, м	13,3
Максимум дисперсионной функции, м	4
Лоренц-фактор, соответствующий критической энергии, γ_{tr}	4,487
Хроматичность	-5,1/-5,5
Горизонтальный аксептанс, $\pi \text{ мм} \cdot \text{мрад}$	150
Вертикальный аксептанс, $\pi \text{ мм} \cdot \text{мрад}$	58

Дипольные магниты Бустера изогнуты, радиус кривизны по центральной (осевой) линии составляет 14,09 м.

В длинных прямолинейных секциях располагаются встроенные элементы, к которым относятся устройства ввода и вывода пучков, ускоряющие станции ускоряющей высокочастотной системы и система электронного охлаждения пучков (рис 2.1).

Длительность рабочего цикла Бустера составляет 4,02 с (рис. 2.3) – так называемый «стандартный цикл». При необходимости возможна технологическая пауза между циклами длительностью до 1 с.

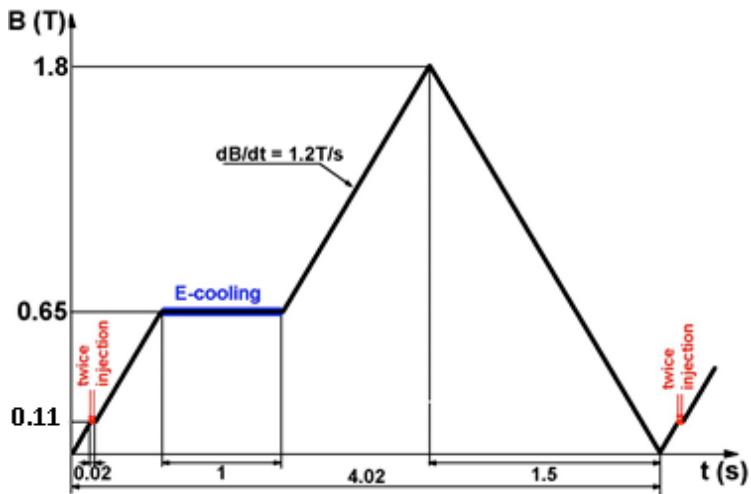


Рис.2.3. Диаграмма рабочего цикла Бустера при ускорении тяжёлых ионов

На I-м этапе рабочего цикла длительностью 0,45 с инжектированный пучок адиабатически захватывается в сепараторную ускоряющую ВЧ-напряжения и ускоряется с 3,24 МэВ/н до 65 МэВ/н на 5-й кратности ускоряющего напряжения. Частота ускоряющего напряжения меняется от 587 кГц до 2525 кГц. На стадии магнитного поля ВЧ-напряжение адиабатически выключается и производится охлаждение пучка в течение ~ 1 с. На II-м этапе длительностью 1,2 с ионы адиабатически захватываются и ускоряются до 578 МэВ/н на 1-й кратности ускоряющего ВЧ-напряжения, частота которого меняется от 505 кГц до 1117 кГц.

Для инжекции в Бустер разработано несколько методов инжекции, что позволит в случае необходимости увеличивать интенсивность пучка. В качестве основного метода принята однократная однооборотная инжекция. Дополнительными методами являются однократная многооборотная и многократная однооборотная инжекции. Проектная частота повторения стадий многократной однооборотной инжекции составляет 10 Гц.

2.5. Ионный СП синхротрон Нуклотрон

Сверхпроводящий синхротрон Нуклотрон с магнитной жесткостью 38,5 Тл·м является основным ускорителем комплекса NICA (таблица 2.7) и работает в одном из трех режимов:

1. ускорение тяжелых ионов для накопления в Коллайдере;
2. ускорение поляризованных пучков протонов или дейtronов для накопления в Коллайдере;
3. ускорение различных типов ионов для проведения экспериментов на внутренней мишени и фиксированных мишенях в экспериментальном зале.

Таблица 2.7.
Основные параметры Нуклotronа

Параметр	Значения
Ускоряемые частицы	$p \uparrow, d \uparrow$, ядра до Au
Максимальная энергия ускоренных ионов $^{197}\text{Au}^{79+}$, ГэВ/н	3,81
Интенсивность выведенного пучка $^{197}\text{Au}^{79+}$, частиц/цикл	$1 \cdot 10^9$
Длительность медленного вывода, с	до 10
Энергия инжекции, МэВ/н	5 ($p \uparrow, d \uparrow$), 578 (ядра золота)
Периметр, м	251,52
Магнитная жесткость, Тл·м	38,5
Поле дипольных магнитов, Тл	0,03 \div 1,8 ($p \uparrow, d \uparrow$) 0,46 \div 1,8 (ядра)
Число периодов	8
Бетатронное число	7,4
Продолжительность цикла при работе с Коллайдером, с	4,02
Темп нарастания магнитного поля, Тл/с	1,0
Тип инжекции	однооборотная
Вывод пучка	однооборотный или медленный вывод
Давление остаточного газа в пучковой камере, Торр	10^{-9}

В режиме 1 Нуклotron работает как элемент инжекционной цепочки Коллайдера и ускоряет *одиночный сгусток полностью ободраных тяжелых ионов* (Au^{79+}) от 0,57 до $1 \div 3,8$ ГэВ/н. Интенсивность сгустка составляет $1 \div 1,5 \cdot 10^9$ ионов. Потери частиц в процессе ускорения не превышают 10%. Темп роста магнитного поля не более 1 Тл/с.

В режиме 2 Нуклotron ускоряет поляризованные частицы от энергии 5 МэВ/н до энергии, соответствующей его максимальной магнитной жесткости. Интенсивность сгустка составляет несколько единиц 10^{10} частиц.

В режиме 3 Нуклotron работает аналогично двум предыдущим с выводом пучка на экспериментальную установку BM@N и/или зоны радиобиологических и прикладных исследований. Средний поток ускоренных ионов при медленном выводе составляет до 10^7 частиц в секунду.

Максимальное поле дипольных магнитов Нуклотрона, соответствующее режиму его стабильной долговременной работы, составляет 1,8 Тл (магнитная жесткость 38,5 Тл·м). Это соответствует кинетической энергии протонов 10,7 ГэВ, 5,3 ГэВ/н дейtronов и легких ионов (с отношением зарядового числа к массовому

$Z/A = 1/2$), 3,6 ГэВ/н для ионов с $Z/A = 1/3$ (например, Xe с $A = 124$, $Z = 42$) и 3,8 ГэВ/н для ядер золота.

МКС Нуклotronа периметром 252,52 м состоит из 8 суперпериодов, включающих в себя поворотные участки и длинную прямолинейную секцию. В длинных прямолинейных секциях располагаются встроенные элементы, к которым относятся:

- две системы ввода пучков (для инжекции легких ионов из ЛУ-20 и тяжелых ионов из Бустера);
- система медленного вывода пучка в экспериментальный зал;
- система быстрого (однооборотного) вывода пучка для перевода в Коллайдер;
- две ускоряющие высокочастотные станции,
- станция внутренних мишеней, используемая для измерения степени поляризации пучков.

2.6. Коллайдер

Коллайдер комплекса NICA обеспечивает проведение экспериментов в режиме сталкивающихся пучков. Основные параметры Коллайдера приведены в таблице 2.8.

Для обеспечения максимально возможной энергии в Коллайдере (соответствующей его максимальной магнитной жесткости) предусмотрено медленное доускорение частиц пучка, выведенных из Нуклотрона и накопленных на энергии вывода (оптимизируется в зависимости от параметров пучка, выведенного из Нуклотрона).

Таблица 2.8.
Основные параметры Коллайдера

Параметр	Значение
Ускоряемые частицы	$p\uparrow, d\uparrow, Au^{79+}$
Полная энергия $\sqrt{s_{NN}}$ в точке столкновения двух нуклонов, ГэВ	4 - 11
Энергия ускоренных ионов $^{197}Au^{31+}$ в каждом из колец, ГэВ/н	1 - 4,5
Периметр, м	503,04
Энергия инжекции, ГэВ/н	1 - 3,8
Максимальная магнитная жесткость, Тл·м	44,5
Поле дипольных магнитов, Тл	1,8
Скорость нарастания магнитного поля, Тл/с	0,1
Тип инжекции	Однооборотная, многократная
Вывод (сброс) пучка	однооборотный
Давление остаточного газа в пучковой камере, Торр	10^{-11}

Кольца Коллайдера имеют форму стадиона (“рейстрака”) с периметром 503,04 м и располагаются одно над другим на расстоянии 0,32 м. Основу магнитной системы составляют двуххапертурные дипольные и квадрупольные магниты, квадрупольные магниты финальной (перед точками встречи) фокусировки пучков, дипольные магниты системы вертикального сведения/разведения пучков. Также кольца коллайдера включают в себя 136 корректирующих магнитов.

Для накопления пучков и обеспечения длительного времени жизни пучков частиц в Коллайдере (“времени жизни светимости”) используются системы электронного (в интервале энергий от 1 до 4,5 ГэВ/н) и стохастического (в интервале энергий от 3 до 4,5 ГэВ/н) охлаждения частиц.

В прямолинейных секциях Коллайдера располагаются следующие устройства:

- детекторы MPD и SPD;
- элементы системы инжекции (септум и ударный магнит) пучков;
- устройства аварийного сброса пучков;
- элементы высокочастотной ускоряющей системы;
- система электронного охлаждения пучков;
- устройства системы стохастического охлаждения пучков (пикап-станции и кикеры);
- устройства системы обратных связей;
- системы управления поляризацией протонов и дейtronов, а также и поляриметрии.

Стратегия получения проектной светимости иллюстрируется в таблице 2.9 на примере ионов Au⁷⁹⁺.

Таблица 2.9

Параметры Коллайдера в режиме столкновений ядер золота (Au⁷⁹⁺).

Параметр	Значение		
Количество сгустков	22		
Среднеквадратичная длина сгустка, м	0,6		
β -функция в точке встречи, м	0,6		
Энергия Au ⁷⁹⁺ , ГэВ/н	1	3,3	4,5
Количество ионов в сгустке	$0,2 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^9$
Среднеквадратичный разброс по импульсу, $\Delta p/p$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Среднеквадратичный эмиттанс, $\pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$	1,10/1,10	1,10/0,9	1,10/0,8
Время роста размера пучка из-за внутрипучкового рассеяния, с	160	530	1700
Светимость-I, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$0,6 \cdot 10^{25}$	$1,0 \cdot 10^{27}$	$1,0 \cdot 10^{27}$

Для обеспечения накопления пучка и формирования коротких сгустков частиц используются три высокочастотные (ВЧ-) системы:

ВЧ-1 – система, формирующая периодическое импульсное (“барьерное”) напряжение с амплитудой до 5 кВ, используемая для накопления требуемой интенсивности пучка;

ВЧ-2 - система, формирующая гармоническое напряжение на 22-й гармонике частоты обращения с амплитудой до 100 кВ. Она используется для формирования требуемого числа сгустков и предварительной группировки пучка;

ВЧ-3 - система, формирующая гармоническое напряжение на 66-й гармонике частоты обращения с амплитудой до 1 МВ, сжимающая сгустки частиц до проектной длины (0,6 м).

2.7. Этапы создания ускорительного блока комплекса NICA

Следующие основные работы по созданию ускорительного блока Комплекса будут завершены в результате выполнения этапа «*Стартовая конфигурация Комплекса NICA*»:

- смонтированы и наложены обе инжекционные цепочки;
- смонтирован и наложен Бустер и получены ускоренные в нем пучки тяжелых ионов вплоть до золота;
- смонтированы и наложены каналы транспортировки Бустер-Нуклотрон и Нуклотрон – BM@N.

На этом же этапе обеспечивается проведение эксперимента BM@N с использованием первой инжекционной цепочки для ускорения в ЛУ-20 тяжелых ионов (вплоть до криптона) и их транспортировки в Нуклотрон.

На этапе «*Базовая конфигурация Комплекса NICA*» вводится в эксплуатацию Коллайдер и обеспечивается работа на нем экспериментальной установки MPD. На этом этапе

- будет смонтирован и введён в действие канал транспортировки частиц из Нуклотрона в Коллайдер;
- будет смонтирована и введена в действие магнито-криотатная СП фокусирующая система Коллайдера и достигнуты рабочие значение магнитных полей и давления остаточного газа в его вакуумных камерах;
- системы инжекции и аварийного сброса пучков;
- станции ВЧ-1 (по одной на каждое кольцо), обеспечивающие накопление ионов, ускоренных и доставленных из Нуклотрона;
- по две станции ВЧ-2 на кольцо, производящие группировку ионов в сгустки и синхронизацию столкновений сгустков двух колец;

- система обратной связи, компенсирующая когерентные колебания ионных пучков;
- два канала (по одному на кольцо) системы стохастического охлаждения ионов.

Будут достигнуты следующие условия:

- столкновение пучков ионов одинакового сорта со следующим набором ионов: углерод, аргон, криpton, ксенон, золото;
- полная энергия двух сталкивающихся ионов в диапазоне 4 - 11 ГэВ на нуклон;
- максимальная светимость в зависимости от энергии составит от $1 \cdot 10^{24}$ до $1 \cdot 10^{25} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

На этапе «*Полная конфигурация Комплекса NICA*» будут установлены на Коллайдере и введены в действие

- по две дополнительные станции ВЧ-2 на кольцо, позволяющие более эффективно производить группировку ионов в сгустки и синхронизацию столкновений сгустков двух колец;
- по 8 станций ВЧ-3 на кольцо, позволяющих формировать короткие сгустки ионов;
- смонтирована и введена в действие система электронного охлаждения ионов;
- завершено введение в действие дополнительных каналов системы электронного охлаждения ионов.

В результате будут достигнуты следующие характеристики Коллайдера:

- проектная светимость до $1 \cdot 10^{27} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ (Табл. 2.9);
- режим асимметричных встречных пучков (лёгких ионов с тяжёлыми);
- режим поляризованных встречных пучков (протонов и дейtronов), обеспечивающий проведение исследований в области физики спина в режиме встречных пучков; Коллайдер оборудуется устройствами управления движением поляризованных частиц с сохранением или контролируемым изменением направления поляризации, а также устройствами диагностики степени поляризации.

Описание технических спецификаций ускорительного комплекса приведено в следующих документах:

1. Концептуальный проект комплекса NICA, Дубна, 2010 и 2013:

- E. Ahmanova, A. Eliseev, Yu. Filatov, T. Katayama, A. Kuznetsov, H. Khodzhibagyan, S. Kostromin, O. Kozlov, O. Kunchenko, V. Lebedev, V. Mikhailov, I. Meshkov, V. Monchinsky, E. Muravieva, S. Nagaitsev, A. Philippov, R. Pivin, A. Sidorin, A. Smirnov, N. Topilin, G. Trubnikov,

- Yu. Tumanova, S. Yakovenko, P. Zenkevich, **Concept of NICA Collider** (Ed. I. Meshkov), Dubna: JINR, 2010. – 60 p. ISBN 978-5-9530-0239-4
- Коцептуальный проект ускорительного комплекса NICA, под общей редакцией И.Н.Мешкова, Г.В.Трубникова, ОИЯИ, Дубна, 2013.
2. Сводный том технического проекта ускорительного комплекса NICA размещен по адресу: <http://nucloweb.jinr.ru/nica/CDR.html>. Детальное описание технических характеристик ускорительного комплекса NICA приведено в публикациях:
- V. Kekelidze, R. Lednicky, V. Matveev, I. Meshkov, A. Sorin, G. Trubnikov , NICA project at JINR, Physics of Particles and Nuclei Letters, v. 9, 2012.
 - V.D.Kekelidze, A.D.Kovalenko, R.Lednicky, V.A.Matveev, I.N.Meshkov, A.S.Sorin, G.V.Trubnikov , Project NICA at JINR, Nuclear Physics A, v. 904–905, 2013
 - Технический проект ускорительного комплекса NICA, под общей редакцией И.Н.Мешкова, Г.В.Трубникова, тт. I – IV, Дубна, 2015.
 - Н.Н. Агапов, В.Д. Кекелидзе, А.Д. Коваленко, Р. Ледницки, В.А. Матвеев, И.Н. Мешков, В.А. Никитин, Ю.К. Потребенников, А.С. Сорин, Г.В. Трубников, Релятивистская ядерная физика в ОИЯИ: от синхрофазотрона к коллайдеру NICA, Успехи физических наук, Т. 186, № 4, 2016, стр. 405.

3. Установка MPD

3.1. Назначение установки MPD

Установка MPD предназначена для проведения экспериментов на встречных пучках Коллайдера NICA по детальному исследованию фазовой диаграммы КХД в области высоких плотностей и температур, включая поиск новых состояний адронной материи и фазовые переходы. С этой целью планируется изучать:

- выход странных частиц, барионов и антибарионов;
- пособытую флуктуацию множественного рождения частиц, поперечного импульса, отношения выходов частиц;
- анизотропные и коллективные потоки;
- импульсные корреляции (фемтоскопия);
- рождение лептонных пар и мягких фотонов;
- поляризационные явления.

Для проведения указанных исследований детекторы установки должны обеспечить эффективную идентификацию продуктов соударения ядер и измерение их параметров при высоких загрузках в широком диапазоне фазового пространства.

3.2. Общий дизайн установки

Установка должна включать:

- систему измерения импульса частиц в диапазоне $p = 0,1 - 2 \text{ ГэВ}$;
- систему идентификации частиц для разделения протонов, π -мезонов, К-мезонов и электронов в диапазоне импульсов $0,1 - 3 \text{ ГэВ/с}$;
- систему восстановления первичной вершины взаимодействия с точностью $100-200 \text{ мкм}$ и вторичных вершин распада с точностью $10-20 \text{ мкм}$;
- возможность регистрации гамма-квантов в диапазоне энергий $50 - 2000 \text{ МэВ}$;

Максимальный размер установки вдоль пучка определен расположением магнитных линз накопительных колец Коллайдера, и не может превышать 9 метров с тем, чтобы иметь возможность хорошей фокусировки пучков в область встречи. Диаметр центрального детектора является результатом компромисса между необходимостью достаточной времязадержкой базы и длиной трека для точного определения типа частиц и их импульса, с одной стороны, и жестким требованием к однородности магнитного поля и разумной стоимостью магнитной системы, с другой. Длина трека не должна быть меньше 1 метра по радиусу и количество точек на треке не должно быть меньше 50 для получения требуемого импульсного разрешения 3% в диапазоне импульсов частиц до 2 ГэВ/с. При таком импульсном разрешении и измерении времени пролета на базе 1,5 метра с точностью до 100 пс удастся разделить 90 % пионов и каонов, образованных при столкновении ионов золота с энергией в системе цента масс 11 ГэВ/нуклон.

Установка должна перекрывать близкую к 4π геометрию. Для точного измерения импульса частиц трековая система должна работать в однородном магнитном поле с индукцией $0,2 - 0,5 \text{ Тл}$. Очевидно, что для получения такого поля в

указанном объеме предпочтительно использовать сверхпроводящий магнит соленоидального типа с корректирующими обмотками в торцах.

Установка MPD, отвечающая таким требованиям представлена на рис. 3.1. Детектор должен состоять из цилиндрической и двух торцевых частей. Все они расположены в магнитном поле. Цилиндрическая часть состоит из различных типов детекторов, расположенных вокруг области столкновения пучков, которые включают трековую систему, времяпролетную систему и электромагнитный калориметр.

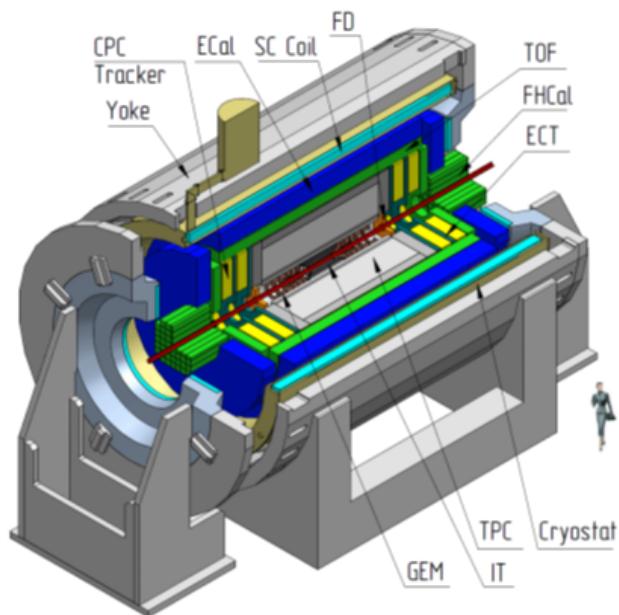


Рис. 3.1 Схема установки MPD, полный вариант.

Для питания магнита и корректирующих обмоток необходима электрическая энергия около 300 кВт. Для питания всего детектора планируется обеспечить электрическую мощность в 1,0 МВт.

3.3. Назначение и описание детекторов установки

В качестве основной трековой системы оптимальной является время-проекционная дрейфовая камера (TPC). Ее должна дополнять внутренняя трековая система на основе кремниевых полупроводниковых детекторов (IT), окружающих область соударения пучков. Оба детектора обеспечат точное восстановление треков частиц и их импульсов, а также определение вершин распада частиц. Внутренний детектор должен иметь как минимум 5 слоев, окружающих область взаимодействия пучков для восстановления вторичных вершин короткоживущих частиц типа тяжелых гиперонов.

Для идентификации частиц в дополнение к ТПС нужна прецизионная времяпролетная система (TOF), которая должна обеспечить идентификацию заряженных частиц с импульсами до 2 ГэВ/с в широкой области псевдобыстро. Для TOF системы понадобиться быстрый передний детектор (FD), который обеспечивает

стартовый сигнал для времяяпролетной системы и временное разрешение не хуже 30 пс.

Для идентификации электронов и фотонов, а также измерения их энергии необходим электромагнитный калориметр (EMC). Высокая гранулярность калориметра наряду с хорошим энергетическим и времененным разрешением существенно улучшит возможности идентификации частиц в детекторе MPD. Оптимальная по конструкции и цене конструкции калориметра основывается на многослойной сборке поглотитель-детектор типа “шашлык”.

Для расширения фазового пространства регистрации частиц в передней области (область псевдобыстрот $|\eta| > 2$, где трековая эффективность ТРС уменьшается, должны быть предусмотрены торцевые трековые системы (ECT) на основе пропорциональных трубок типа строу, пропорциональных камер с катодным считыванием или детекторов на базе GEM структур. Трековые системы (ECT) должны быть расположены на обоих торцах MPD непосредственно за считающими камерами ТРС. Для идентификации частиц в диапазоне углов $|\eta| > 1,2$ предполагается также использовать времяяпролетную систему и электромагнитные калориметры, подобные по типу таким системам в цилиндрической части MPD.

Для регистрации частиц, вылетающих под очень малыми углами $1,2 < |\eta| < 2$, используются быстрые передние детекторы (FD) и адронные калориметры (FHCAL). Перечисленные детекторы используются в триггере, для определения центральности соударения и восстановления точки взаимодействия ядер в пучке.

Таким образом, в рассматриваемой структуре MPD можно выделить три области с характерным методом и точностью измерения: центральная часть $|\eta| < 1,2$, передняя область $1,2 < |\eta| < 2$, в которой импульс частиц измеряется довольно грубо ($dp/P \sim 4 - 10\%$) и область $2 < |\eta| < 3$, где измеряются интегральные параметры события.

Для оптимизации времени конструирования и запуска установки целесообразно создавать ее поэтапно. На первом этапе («Базовая конфигурация Комплекса NICA») создаются следующие подсистемы: ТРС, цилиндрическая часть TOF, FD, FHCAL и цилиндрическая часть ECal. В этой конфигурации установка может эффективно идентифицировать вторичные частицы и измерять их импульс в диапазоне псевдобыстрот $|\eta| < 1,2$.

Внутренняя трековая система ITS, передняя трековая система, включающая Straw и CPC, а также торцевые TOF и ECal включаются на следующем этапе - «Полная конфигурация Комплекса NICA».

3.4. Система сбора информации установки MPD

Основной функцией системы сбора и обработки данных (DAQ) является прием данных от электроники детекторов установки, их первичная обработка, построение события и запись событий в промежуточное дисковое хранилище.

Основные параметры системы DAQ:

- пропускная способность каналов приема данных от электроники детекторов около 4 Тб/с;
- пропускная способность входных каналов процессоров первого уровня около 1,6 Тб/с;
- пропускная способность технологической сети DAQ – 1,6 Тб/с;
- количество вычислительных узлов - 50 (1600 вычислительных ядер);
- емкость промежуточного дискового хранилища на 24 часа определяется максимальной скоростью набора информации (7 кГц) и составляет около 600 Тб;

Электроника считывания данных установки MPD подключается к сетевому оборудованию, которое будет установлено на специальной подвижной платформе. Подвижная платформа подключается к вычислительному кластеру DAQ по оптическим линиям связи. Ядро технологической сети, обеспечивающее непрерывную работу и мониторинг всей установки MPD, будет располагаться в корпусе 1А. Потребляемая мощность устанавливаемого оборудования составит 100 кВт.

3.5. Пульт управления детектором MPD

Для контроля и управления работой детектора MPD необходимо иметь пульт (зал) управления детектором и серверную, обеспечивающую функционирование системы сбора данных и мониторинга MPD.

Зал управления имеет площадь не менее 150 квадратных метров, оснащен рабочими местами необходимым компьютерным оборудованием и информационными мониторами, связанными с системой сбора информации и локальным компьютерным кластером установки.

Для обеспечения бесперебойной работы пульта управления детектором необходимо 30 кВт мощности с обеспечением бесперебойного электропитания всех элементов.

3.6. Тестовая зона и тестовый канал MPD

Для проведения R&D и тестирования полномасштабных прототипов подсистем детектора MPD создается тестовый канал MPD. Тестовый канал использует прямые пучки протонов, дейtronов и ядер углерода, ускоренных в Нуклоне до энергий в диапазоне 1 - 3 ГэВ/н. Для изучения отклика исследуемого детектора при различных условиях прохождения через него заряженных частиц тестовый канал должен включать триггерную систему на базе сцинтилляционных счетчиков, собственную трековую систему на основе пропорциональных камер с двумерным восстановлением точки входа частицы в камеру. Для реконструкции трека необходимо иметь как минимум три камеры с шестью регистрирующими

плоскостями каждая. Считывание информации должно осуществляться системой DAQ, которая является прототипом системы считывания данных MPD. Для позиционирования исследуемого детектора должна быть предусмотрена высокопрецизионная система перемещения в 3 плоскостях с точностью не хуже 10 мкм. Диапазон перемещения по осям X и Y 50 и 20 см соответственно. Для временных измерений с точностью 20 - 30 пс нужна современная система синхронизации на базе White Rabbit. Для температурной стабилизации все оборудование на пучке располагается в закрытых чистых домиках, установленных на канале ускорителя Нуклон в экспериментальном зале корпуса 215. Комната управлением установкой находится в экспериментальном домике, отделенном биологической защитой от каналов с выведенными пучками.

3.7. Технологические участки сборки подсистем MPD

3.7.1. Производственные участки изготовления TPC.

Участок изготовления считающих элементов на основе пропорциональных камер с пэдовым считыванием располагается в корпусе 40 ЛФВЭ. Общая площадь производственных помещений - около 460 м². Корпус оборудован общей системой кондиционирования. Рабочие зоны на участках оборудованы НЕР-фильтрами, обеспечивающими 5-6 класс чистоты.

3.7.2. Участок сборки и тестирования TPC

Для сборки TPC необходимы специальные условия. Участок создается в корпусе 217 и состоит из 2-х комнат (48 м² каждая) и зала (192 м²), в котором смонтирована чистая комната площадью 80 м². Класс чистоты – 7.

Предусмотрено также создание участков подготовки флоат-стекла, покраски стекол токопроводящей краской, монтажа и сборки модулей, контроля собранных детекторов и газоснабжения тестового стенда, чистой комнаты для сборки детекторов, газохранилища и компрессорной на общей площади 200 м², а также складских помещений на площади не менее 30 м².

3.7.3. Производственные участки сборки времяпролетной системы MPD

В качестве основных элементов времяпролетной системы (TOF) были выбраны многозazorные резистивные плоские камеры (МРПК). Для создания системы необходимо производственное помещение площадью около 300 м². Все участки снабжены кондиционерами для поддержания постоянной температуры и влажности.

3.7.4. Участок сборки ECal

Участок сборки секторов Электромагнитного калориметра должен иметь площадь не менее 600 м² и снабжен мостовым краном грузоподъемностью 10 т. Для сборки и тестирования модулей (базовых элементов калориметра) необходимо иметь производственные площади около 250 м² и потребляемую мощность около 100 кВт.

3.7.5. Технологические участки сборки и тестирования широкоаппертурных кремниевых детекторов для ITS

Участок изготовления элементов широкоаппертурных трековых систем создается в корпусе 216 ЛФВЭ. Общая площадь производственных помещений - около 173 м². Помещения оборудованы отдельными системами кондиционирования и фильтрации воздуха с НЕРА-фильтрами. Необходимая электрическая мощность составляет 180 кВт.

3.7.6. Другие производственные зоны

Для сборки установки и ее размещения в точке встречи пучков Коллайдера необходимо помещение площадью не менее 2000 м² и высотой не менее 18 м, включающее зону сборки и зону для использования установки в рабочем режиме. Помещение должно быть оборудовано промышленными кранами, криогенными линиями, системами электропитания, охлаждения, водоснабжения, пожарообнаружения и пожаротушения, системой перемещения установки между зонами.

Сборка детектора осуществляется в приямке павильона MPD здания коллайдерного комплекса, через который проходят пучки Коллайдера. В начале процедуры сборки устанавливается ложемент, перемещающаяся от места сборки до позиции установки на пучке. На этом ложементе собираются секции магнита (без обоих полюсов) и монтируются все внутренние детекторы. Торцевые крышки собираются на рельсовых направляющих в сервисной зоне.

Сводный том технического описания установки MPD размещен по адресу:
<http://mpd.jinr.ru/doc/mpd-tdr>.

4. Установка BM@N

4.1. Назначение установки BM@N

Целью эксперимента BM@N является изучение взаимодействий релятивистских пучков тяжелых ионов с фиксированными мишенями. Физическая программа по исследованию столкновений тяжелых ионов на установке BM@N включает следующие направления: исследование динамики реакций и изучение уравнения состояния ядерной материи, изучение модификации свойств адронов в ядерной материи, рождение (мульти)-странных гиперонов около порога и поиск гиперядер.

Для интерпретации экспериментальных данных в процессах столкновения тяжелых ионов и для обеспечения нормировки измеренных спектров, полученных во взаимодействии ядер, планируется также изучение элементарных реакций ($p + p$, $p + n(d)$).

4.2. Основные характеристики установки

Ускоритель Нуклон обесует эксперимент пучками частиц от протонов до ионов золота с кинетической энергией в диапазоне от 1 до 6 ГэВ на нуклон. Максимальная кинетическая энергия для ионов с отношением заряда к относительной атомной массе (Z/A) равным $1/2$ составляет 6 ГэВ на нуклон. Максимальная кинетическая энергия для тяжелых ионов с отношением $Z/A \sim 1/3$ составляет 4,5 ГэВ на нуклон. Планируемая интенсивность пучка ионов золота, ускоренных и накопленных в Бустере и Нуклоне и выведенных на установку BM@N, составит 10^7 ионов в секунду. Выведенный пучок ионов золота ожидается в 2020 году.

Основные элементы установки (см. рис. 4.1) описаны ниже.

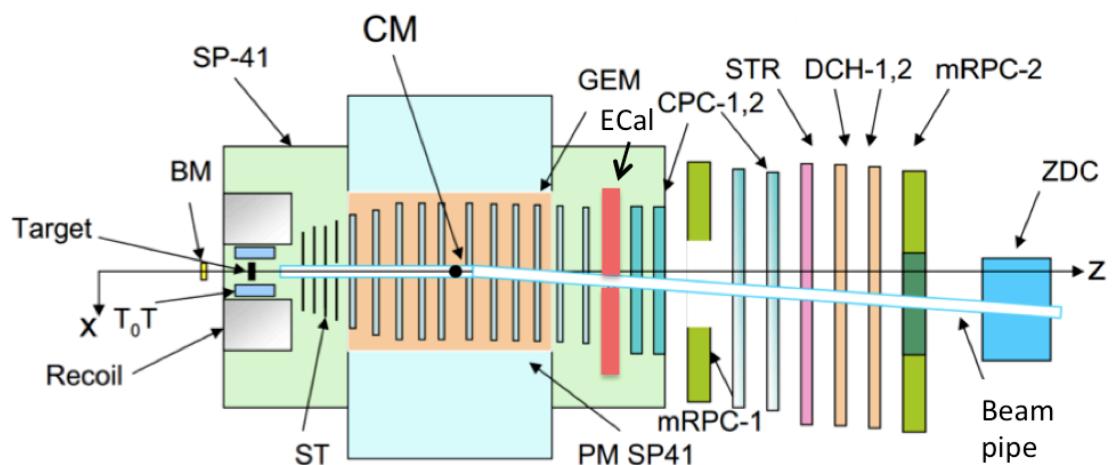


Рис. 4.1. Схематический вид установки BM@N.

Анализирующий магнит (PM CP41), в котором располагается центральная трековая система установки. Для достижения необходимых параметров в экспериментах на установке апертура магнита составляет $200 \times 100 \text{ см}^2$, а магнитное поле достигает максимального значения 1 Тл.

Центральная трековая система. Служит для измерения параметров треков в ядро-ядерных столкновениях. Центральная трековая система в базовой конфигурации состоит из высокоточных передних кремниевых микростриповых детекторов (ST) и детекторов заряженных частиц на основе газовых электронных умножителей большой площади (GEM). В Стартовой конфигурации эта система должна обеспечить реконструкцию треков заряженных частиц с разрешением по импульсу 3% и половину полной апертуры установки, что позволит надежно выделять и исследовать спады гиперонов. В Полной конфигурации центральная трековая система будет дополнена системой кремниевых микростриповых трековых детекторов большой апертуры для улучшения импульсного разрешения не менее чем в 2 раза при вдвое большей апертуре, что обеспечит решение поставленных в эксперименте задач по исследованию гиперонов, странных мезонов и гиперядер.

Внешняя трековая система, которая обеспечивает связь между треками, измеренными в центральной трековой системе, и сигналами во времяпролетных детекторах. В Стартовой конфигурации внешняя трековая система включает большие дрейфовые камеры (DCH-1,2) с пространственным разрешением порядка 200 мкм. Для регистрации взаимодействий тяжелых ядер в Базовой и Полной конфигурации будут использоваться катодно-стриповье камеры (CPC-1,2), способные разделять треки в много-частичных событиях взаимодействий тяжелых ядер вплоть до золота.

Времяпролетная система, которая служит для разделения адронов (π , K, p), а также легких ядер с импульсом до нескольких ГэВ/с в многочастичных событиях. Времяпролетная система состоит из стартового детектора (T0), установленного рядом с мишенью (T), и двух плоскостей многоканальных временных детекторов, расположенных на расстоянии 400 (mRPC-1) и 700 (mRPC-2) сантиметров от мишени для надежной идентификации заряженных частиц с импульсом до 3 ГэВ/с и 5 ГэВ/с, соответственно.

Детектор адронов и ядерных фрагментов под малыми углами к пучку (ZDC), который служит для измерения центральности ядро-ядерных взаимодействий с точностью порядка 10%.

Электромагнитный калориметр (ECal) предназначен для изучения процессов с образованием состояний, распадающихся на γ , e^\pm . Он представляет из себя двухплечевой детектор, который располагается между центральными и внешними

трековыми детекторами и временно сдвигается ближе к пучку во время набора экспериментальных данных.

Для регистрации реакций различных топологий используется система триггера (запуска) установки, которая может включать два или более уровней принятия решений для записи событий.

Для синхронизации считывания различных детекторов, формирования и записи единого события ядро-ядерного взаимодействия и мониторинга работы установки используется система приема данных. Эта система состоит из электроники считывания, системы синхронизации, компьютерного кластера и компьютерной технологической сети установки.

На установке применяется единая система контроля параметров установки и их записи в базу данных.

Экспериментальная зона установки включает анализирующий магнит, корректирующие магниты, пучковую трубу до мишени и вдоль всей установки от мишени, а также элементы силового питания и инфраструктуры.

Технические параметры установки BM@N указаны в таблице 1.

Конфигурация установки		Стартовая (2016-2018 г.)	Базовая (2020 г.)	Полная (2022 г. и позже)
Типы ионов пучка		d(\uparrow), C, Ar, Kr	p - Au	p - Au
Кинетическая энергия пучка (ГэВ/нуклон)	Z/A ~ 1/2	2,3 – 4,6	1 - 6	1 - 6
	Z/A ~ 1/3		1 – 4,5	1 - 4,5
Интенсивность пучков (Гц)		$2 \cdot 10^5$	до 10^6	до $5 \cdot 10^6$
Частота приема данных (Гц)		5к	10к	50к
Конфигурация центральной трековой системы		3 плоскости передних кремниевых детекторов + 6 плоскостей детекторов GEM (1/2 площади)	3 плоскости передних кремниевых детекторов + 7 полных плоскостей детекторов GEM	3 плоскости передних кремниевых детекторов + 4 плоскости кремниевых детекторов большой апerture + 7 плоскостей детекторов GEM
Импульсное разрешение (%) в интервале импульсов 0.5-4 ГэВ/с		3	2.5	1.5
Область импульсов идентифицируемых частиц $\pi/k/p$ (ГэВ/с)		0.5-2.5	0.5-3	0.5-3.5
Реконструкция гиперонов		Λ	Λ, Ξ^-	$\Lambda, \Xi^-, {}^3\Lambda\text{He}$

Зал управления экспериментом находится в 205 корпусе в непосредственной близости от установки вне биологической защиты. Вакуумный ионопровод внутри

экспериментальной зоны BM@N поддерживает вакуум не менее 10^{-3} Тор, имеет минимальное количество вещества от мишени до внешних трековых детекторов. Форма ионопровода следует траектории пучка в магнитном поле анализирующего магнита. Корректирующие магниты и профилометры пучка предназначены для настройки пучка на мишень эксперимента.

На первом этапе («*Стартовая конфигурация Комплекса NICA*») в структуру установки включаются центральная трековая система (детекторы ST и GEM), перекрывающая половину апертуры установки, большие дрейфовые камеры внешней трековой системы, времяпролетная система, детекторы ZDC, ECal, триггерная система и система сбора данных, обеспечивающая работу установки в этой конфигурации. В этой конфигурации экспериментальная зона установки BM@N по периметру окружена биологической защитой из бетонных блоков.

На этапе «*Базовая конфигурация Комплекса NICA*» центральная трековая система будет дополнена таким количеством детекторов ST и GEM, чтобы перекрыть максимально возможную апертуру установки, а также элементами системы кремниевых микростриповых трековых детекторов большой апертуры, внешняя трековая система - катодно-стриповыми камерами CPC-1,2. В этой конфигурации биологическая защита установки включает дополнительное бетонное потолочное перекрытие.

На этапе «*Полная конфигурация Комплекса NICA*» проектная конфигурация кремниевых микростриповых трековых детекторов большой апертуры будет включена в состав центральной трековой системы; будет существенно расширена и модернизирована система сбора данных установки для приема петабайтных объемов экспериментальных данных.

Установка BM&N расположена в корпусе 205 площадки ЛФВЭ (см. рис. 2). Общая площадь, занимаемая установкой - 562 м^2 ; площадь производственных и вспомогательных помещений - 140 м^2 .

Энергопотребление детекторов установки - 165 кВт.

Сводный том технического описания установки BM@N размещен по адресу: http://bmnshift.jinr.ru/wiki/doku.php?id=bmn_tdr_reports.

5. Установка SPD

5.1. Назначение установки SPD

Установка SPD предназначена для изучения спиновой структуры нуклонов и других поляризационных и спиновых эффектов. Столкновения поляризованных (продольно и поперечно) протонов и дейtronов с высокой светимостью (до 10^{32} см^{-2} сек $^{-1}$) на Коллайдере NICA дают возможность для исследований большого разнообразия спиновых и поляризационно-зависимых эффектов в адрон-адронных столкновениях, в том числе:

- реакции с рождением Дрелл-Яновских лептонных пар;
- процессов с рождением прямых фотонов;
- извлечения неизученных (плохо известных) партонных функций распределения из реакций с рождением J/ψ ;
- спиновых эффектов в реакциях с рождением барионов, мезонов и фотонов;
- спин-зависимых эффектов в эксклюзивных реакциях;
- дифракционных процессов;
- сечений, спиральных амплитуд и двойных спиновых асимметрий в упругих реакциях;
- спектроскопии кваркония.

5.2. Основные характеристики установки

Вышеперечисленные физические задачи требуют измерения, кроме сечений различных реакций, асимметрий и отношений сечений. Для этого необходимо детектирование заряженных и нейтральных частиц с высокой эффективностью (более 99%) для минимизации систематических неопределенностей и влияния фона (особенно для асимметрий), а также измерение импульсов этих частиц с относительной точностью не менее 3 – 5%. Для максимального значения импульсов сталкивающихся протонов и/или дейtronов, которое равно 13,5 ГэВ/с, диапазон измеряемых импульсов вторичных частиц – 0,05 - 10 ГэВ/с, по быстроте – до 2,7, с угловым акцептансом, близким к 4π .

Исходя из конструктивных особенностей экспериментального зала и Коллайдера установка SPD может иметь длину до 9,2 м и диаметр до 6,8 м. Общий вид установки SPD показан на рис. 5.1.

Установка SPD состоит из трех частей: двух торцевых и центральной. Такая конструкция обеспечивает удобный доступ к ее элементам, позволяет сравнительно легко совершенствовать и изменять установку под будущие задачи.

Каждая часть установки имеет индивидуальную магнитную систему: торцы – соленоидальные катушки, центральная часть – тороидальный магнит. Такой вид магнитной системы выбран для того, чтобы минимизировать влияние магнитного

поля на пучки Коллайдера вблизи точки столкновения. В этом случае не будет его влияния на спины сталкивающихся протонов (дейtronов) и реконструкция прямых треков заряженных частиц в вершинном детекторе будет наиболее точной.

Вершинный детектор (VD) создается на основе самых современных на момент выбора кремниевых детекторов. Требуемое пространственное разрешение по треку должно быть не хуже 50 мкм.

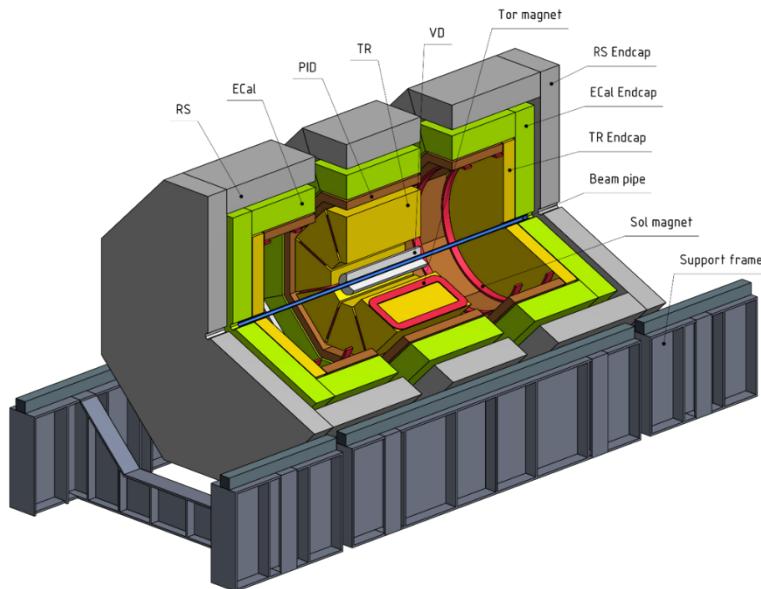


Рис. 5.1. Общий вид установки SPD

Трекер (TR) планируется выполнить на основе структур трубок диаметром 10 мм, которые будут уложены в перекрывающиеся слои для получения максимальной эффективности измерения треков заряженных частиц. Необходимое разрешение трекера около 100 мкм. Эффективность регистрации треков заряженных частиц – близкая к 100%.

Основные требования для системы идентификации частиц (PID) состоят в надежном разделении π/K и p/K в диапазоне импульсов до 10 ГэВ. Детекторы должны работать при загрузках до нескольких $\text{kГц}/\text{см}^2$. На основе опыта экспериментов ALICE, HARP, STAR, PHENIX в этой системе могут быть использованы стеклянные многослойные резистивные камеры (mRPC). Для идентификации высокогенеретических частиц (с импульсом выше 5 ГэВ/с) потребуются детекторы других типов, например аэрогельные Черенковские счетчики.

Электромагнитный калориметр (ECal) предназначен для измерения энергии и идентификации фотонов и электронов (позитронов) в диапазоне энергий 50 МэВ до

10 ГэВ, с энергетическим разрешением не хуже 10% / \sqrt{E} , с поперечным размером модуля около 5 см, разрешением по времени не хуже 0,5 нс. Он должен работать в магнитном поле и с долговременной стабильностью основных параметров порядка $\pm 5\%$. Прототипом модуля такого калориметра может быть модуль калориметра KOPIO, который состоит из чередующихся слоев свинца и сцинтиллятора небольшой толщины, например, из 220 слоев сцинтиллятора (1,5 мм) и свинца (0,3 мм). Такие модули упаковываются по 4 в “башню”, которая имеет поперечный размер 11×11 см².

Мюонная система (RS) установки SPD предназначена для:

- идентификации мюонов в диапазоне импульсов 0,5-10 ГэВ/с с эффективностью не менее 95%;
- измерения энергии адрона (грубая адронная калориметрия) с разрешением около 100%/ \sqrt{E} ;
- идентификации нейтронов с эффективностью не менее 90%.

Идентификация мюонов осуществляется посредством распознавания отклика системы на мюоны и совместного анализа треков, восстановленных в координатных детекторах установки. Мини-дрейфовые трубы и слои металла (железа) используются в качестве основных компонентов этой системы. Слои железо + мини-дрейфовые трубы различных размеров для барреля и торцевых частей установки должны составлять 4 – 4,5 ядерных длин взаимодействия. При этом мюон оставляет сигнал почти во всех слоях системы, а адрон – только в первых 2 - 3 слоях. Данная система создается по аналогии с такой же системой эксперимента PANDA.

Необходимые технические элементы и подсистемы для установки приведены ниже:

- магнитные системы с источниками питания и криогенная подсистема;
- вершинный детектор с высоковольтным и низковольтным питанием, подсистемой охлаждения силиконовых детекторов и электроники;
- трекер с высоковольтным и низковольтным питанием и газовая системой;
- система идентификации частиц с высоковольтным и низковольтным питанием и газовой системой;
- электромагнитный калориметр с высоковольтным и низковольтным питанием, газовой системой, системой термостабилизации, системой лазерной калибровки/мониторирования состояния модулей;
- мюонная система с высоковольтным и низковольтным питанием и газовой системой;
- станция мечения с высоковольтным и низковольтным питанием;
- система локальной поляриметрии с высоковольтным и низковольтным питанием;

- система сбора данных с низковольтным питанием и системой охлаждения; эта система обеспечивает синхронизацию считывания данных с различных детекторов, формирования и записи единого события в случае взаимодействия и мониторинга работы установки; в ее состав входят электроника считывания, система синхронизации, компьютерный кластер и компьютерная технологическая сеть установки; для последней реализуется специальный режимом «общения» с внешними компьютерными сетями;
- компьютерный кластер, на котором будет работать система сбора данных, система on-line мониторирования работы всех систем установки, и система их медленного контроля.

Установка SPD расположена в зале SPD площадки ЛФВЭ (см. рис. 2), который должен отвечать вышеуказанным требованиям.

Для сборки установки и ее размещения в точке встречи пучков Коллайдера необходимо помещение площадью не менее 2000 м^2 и высотой не менее 18 м, включающее зону сборки и зону для использования установки в рабочем режиме. Помещение должно быть оборудовано промышленными кранами, криогенными линиями, системами электропитания, охлаждения, водоснабжения, пожарообнаружения и пожаротушения, системой перемещения установки между зонами.

Вес установки – не более 2000 т.

Энергопотребление установки – 1,1 МВт.

5.3. Тестовая зона

Для испытаний прототипов детекторов установки SPD в пучках разных частиц необходимо создание тестовой зоны в корпусе 205 выведенных пучков Нуклotronа (рис. 5.2)

Низкоэнергетический канал (установка МАРУСЯ) должен обеспечивать пучки частиц с импульсом до 1 ГэВ, а высокоэнергетический – до 10 ГэВ. Оба спектрометрических канала расположены в зоне одного из фокусов выведенных пучков из Нуклотрона. В каждом из каналов предполагается пространственная регистрация, идентификация и мечение каждой прошедшей через испытуемый детектор частицы при условии сопряжения электронной системы регистрации (DAQ) установки и испытуемого детектора или элемента системы сбора данных.

Стартовая конфигурация тестовой зоны включает мишеннюю часть и низкоэнергетический канал на базе модернизированной установки МАРУСЯ, а в ее Полную конфигурацию добавляется и высокоэнергетический канал.

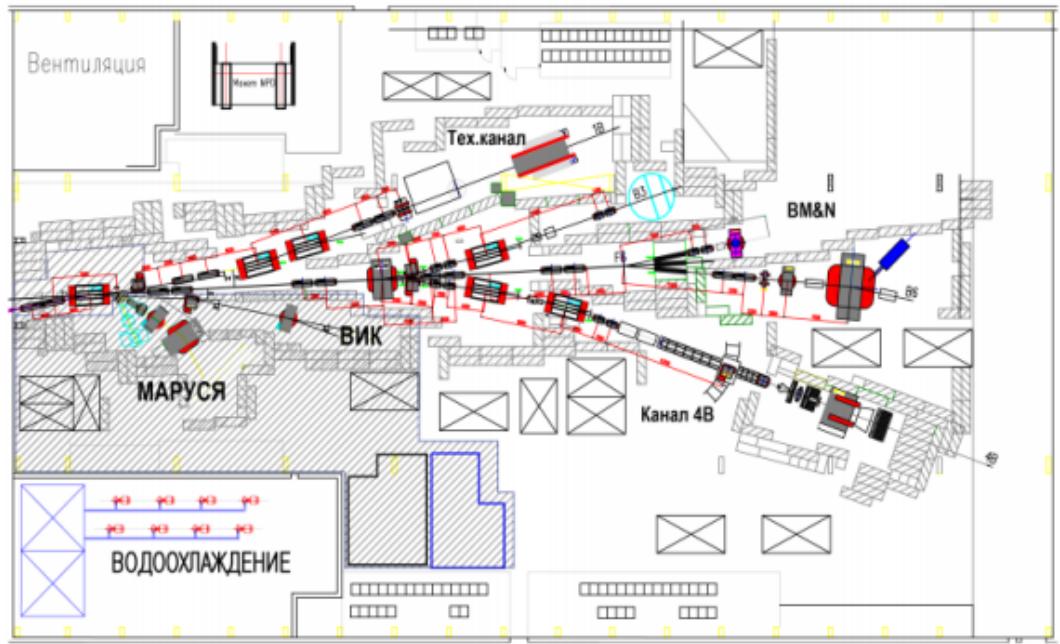


Рис. 5.2. Тестовая зона (заштрихованная часть на рисунке), состоящая из установки МАРУСЯ и высокоимпульсного канала частиц ВИК.

Установка SPD будет сдана в эксплуатацию на этапе «Полная конфигурация Комплекса NICA».

Сводный том технического задания на разработку установки SPD и тестовую зону размещен по адресу: <http://spd.jinr.ru/doku.php?id=documents>.

6. Инновационный блок

6.1. Инновационный блок проекта «Комплекс NICA»

Инновационный блок Комплекса включает экспериментальную зону для проведения прикладных исследований по трем направлениям, остро востребованных для развития современных технологий.

Первое направление - проведение исследований и испытаний перспективных изделий полупроводниковой микро- и наноэлектроники, твердотельной СВЧ-электроники и микромеханических систем на радиационную стойкость при воздействии тяжелых заряженных частиц. С этой целью в Измерительном павильоне первого корпуса ЛФВЭ создается Станция Облучения Длиннопробежными Ионами - Техническая (СОДИТ), предназначенная для испытаний изделий электронной компонентной базы и модулей радиоэлектронной аппаратуры на стойкость воздействию тяжелых заряженных частиц космического пространства к одиночным радиационным эффектам. Также в первом корпусе ЛФВЭ на выходе из линейного ускорителя HILAc создается Станция Облучения Короткопробежными Ионами-Техническая (СОКИТ). Эта станция предназначена для тестирования микросхем при облучении ионов с энергией 3.2 МэВ/н при декапсуляции их корпусов.

Второе направление связано с исследованиями в области космической радиобиологии и моделированием воздействия тяжелых заряженных частиц Галактического космического излучения на биологические объекты, в том числе на когнитивные функции мозга, и нарушения функций центральной нервной системы при длительных межпланетных космических полетах. Планируемые эксперименты также имеют целью изучение воздействия тяжелых заряженных высоких энергий (сотни МэВ/н) на биологические объекты на клеточном уровне, приводящие к генным и структурным мутациям. С этой целью в Измерительном павильоне создается Станция Облучения Длиннопробежными Ионами - Биологическая (СОДИБ).

Третье направление ориентировано на прикладные исследования в области релятивистской ядерной энергетике и утилизации ядерных отходов. Прежде всего эти исследования направлены на получение ядерно-физических данных при взаимодействии релятивистских пучков протонов, дейtronов и легких ионов с энергией 1-4,5 ГэВ/н для моделирования и проектирования активных субкритических урановых сборок и мишеней, для пред промышленных прототипов установок по утилизации радиоактивных отходов. Для исследований в области релятивистской ядерной энергетики в 205 корпусе создается специализированная станция.

Перечисленные выше прикладные исследования будут реализованы на выведенных пучках Нуклонона. Для обеспечения программы этих исследований

требуются выведенные ионные пучки с длительностью импульса 1-10 сек и высокой временной однородностью (рис. 6.1). С этой целью на Нуклotronе реализован резонансно-стохастический метод медленного вывода ионных пучков.

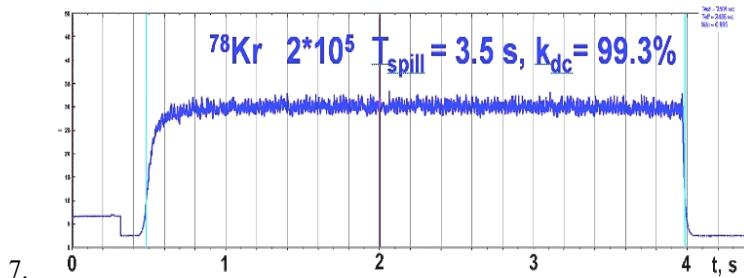


Рис. 6.1. Временная структура пучка ионов криптона $^{78}\text{Kr}^{+26}$ с интенсивностью $2 \cdot 10^5$ частиц за импульс.

6.2 Каналы транспортировки для прикладных исследований

Для транспортировки ионных пучков из Нуклотрона к трем перечисленным выше станциям, две из которых расположены в Измерительном павильоне, а одна в 205 корпусе, разработано два новых специализированных канала и модернизирован канал транспортировки в 205 корпусе (рис. 6.2). на основе существующего канала транспортировки из Нуклотрона в 205 корпус. Существующий канал транспортировки из Нуклотрона в 205 корпус будет значительно модернизирован. На всей длине от Нуклотрона до всех станций будет обеспечена транспортировка пучка в условиях форвакуума. В существующем канале транспортировки в 205 корпус будет заменена диагностика пучков. Диагностическое оборудование в канале транспортировки пучка для станции релятивистской ядерной энергетики должно обеспечивать измерение временной структуры выведенного пучка, его интенсивности, горизонтального и вертикального профиля пучка. Для облучения микросхем и проведения радиобиологических исследований будут созданы два новых канала транспортировки на энергию ионов 0,25-0,8 ГэВ/н.

Спецификой новых каналов транспортировки является необходимость равномерности облучения поверхностей мишней с поперечными размерами до $100 \times 100 \text{ мм}$ для радиобиологических исследований и $200 \times 200 \text{ мм}$ для облучения электронной аппаратуры, предназначенной для космических исследований. Для равномерного облучения мишней станций СОДИТ и СОДИБ предложено применять "сканирование" ионным пучком поверхности мишени в каждом цикле. Для этого пятно сфокусированного пучка в пределах каждого сброса смещается по поверхности мишени по выбранной траектории за счет небольших (порядка 20 мрад) отклонений пучка от основного направления. Эти отклонения создаются при помощи сканирующих дипольных магнитов с управляемым по величине поперечным магнитным полем. Сканирующие магниты расположены на таком расстоянии от мишени, чтобы обеспечить её заданное поле облучения.

Диагностическое оборудование во вновь создаваемых каналах должно обеспечивать измерение следующих параметров пучка, горизонтальный и вертикальный профили пучка, поток заряженных частиц, набранный интегральный поток заряженных частиц за время измерений, временная структура выведенного пучка.

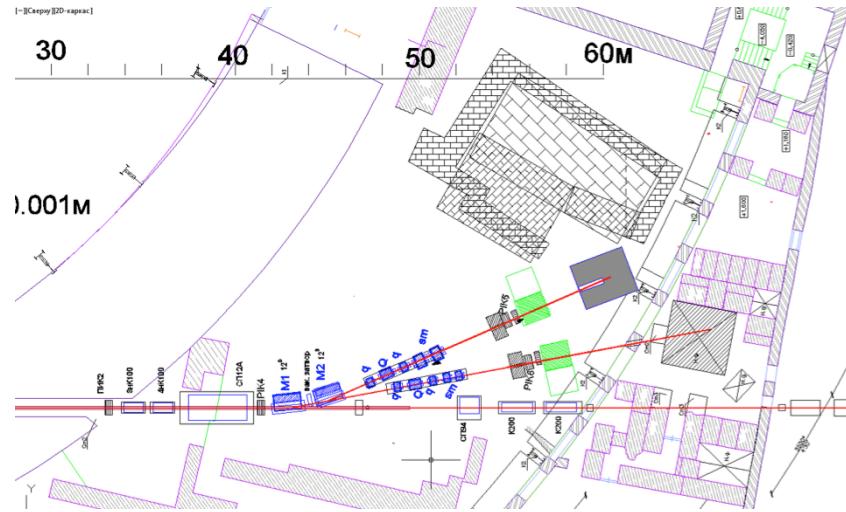


Рис.6.2 - Схема расположения трех каналов для прикладных исследований: 1 – канал транспортировки пучка и станция для облучения микросхем, 2 канал транспортировки пучка и станция радиобиологических исследований, 3-канал транспортировки пучка в 205 корпус для станции релятивистской ядерной энергетики.

6.3 Станция облучения радиоэлектронных систем СОДИТ

Современные радиоэлектронные системы в составе бортовых космических аппаратов и авиационных систем должны функционировать в жестких условиях эксплуатации, подвергаясь различным видам радиационных воздействий, в том числе воздействию ионов космического пространства. Во многих случаях отказы бортовых систем управления, навигации, телеметрии, связи и обработки информации в реальных условиях эксплуатации космического аппарата определяются радиационными эффектами в комплектующей электронной компонентной базе, изделиях микроэлектроники, полупроводниковой и твердотельной СВЧ-электроники.

Традиционные методы прогнозирования, оценки и контроля стойкости изделий микроэлектроники, полупроводниковой и твердотельной СВЧ-электроники к воздействию ионов базируются на проведении испытаний изделий на ускорителях таких ионов. Для получения достоверной информации по результатам испытаний необходимо провести ряд экспериментов для различных значений линейных потерь энергии (ЛПЭ) ионов в чувствительном объеме полупроводниковой структуры.

Диапазон изменений линейных потерь энергии ионов должен лежать в интервале от единиц МэВ·см²/мг до 65 МэВ·см²/мг. Максимальные значения ЛПЭ обеспечивается при облучении ионами с зарядом $Z \approx 80$ и энергиями ионов, заторможенными до величины около 10 МэВ/н, при которой возникает пик Брэгга. При этом ионы должны иметь начальную энергию 100-200 МэВ/н, чтобы длина пробега ионов в корпусе микросхемы была чуть больше его толщины, и ионы достигали чувствительных областей микросхем с энергией вблизи пика Брэгга. С этой целью на входе в СОДИТ будут сформированы пучки в инжекционном комплексе, состоящем из трех ускорителей: линейном ускорителе HILAc, Бустере и Нуклоне, полностью ободанных ядер C, Ar, Fe, Kr, Xe и Au с энергией 250-800 МэВ/н на выходе из Нуклонона. Специфика при проведении испытаний радиоэлектронной аппаратуры на данной установке возникает из-за высоких начальных энергий ионов 250-800 МэВ/н, выведенных из Нуклонона, которые необходимо затормозить до энергии 100-200 МэВ/н. Для этих целей используются ослабители (дегрейдеры), позволяющие плавно менять толщину ослабителя, так чтобы ионы прошли сквозь корпус и затормозились в чувствительном слое микросхемы. Параметры ионных пучков и требования к оборудованию СОДИТ приведены в таблице 6.1. В состав СОДИТ входит следующее оборудование: система диагностики высоко энергичных ионных пучков 100 - 800 МэВ/н, ослабитель энергии первичных ионов, система диагностики ионных пучков, замедливших до энергии 10 - 50 МэВ/н, система позиционирования образцов; система задания температуры; вакуумное оборудование, измерительное оборудование; средства связи для удаленного доступа.

Таблица 6.1

Параметры ионных пучков и требования к оборудованию СОДИТ

Параметры	Величина
Типы ионов	$p, {}^{12}\text{C}^{6+}$, ${}^{40}\text{Ar}^{18+}$, ${}^{56}\text{Fe}^{26+}$, ${}^{84}\text{Kr}^{36+}$, ${}^{131}\text{Xe}^{54+}$, ${}^{197}\text{Au}^{79+}$,
Энергия ионов, выведенных из Нуклонона, МэВ/н	250-800
Длина торможения в кремнии, мм	10
Энергия ионов после торможения в дегрейдере, МэВ/н	10-200
Энергия ионов в чувствительной области микросхемы МэВ/н	10-50
Поток ионов, ион/(см ² ×с)	$10^2 - 3 \cdot 10^5$
Длительность импульса выведенного пучка, с	2 - 20
Максимальный флюенс за сеанс ион/(см ²)	10^7

Продолжительность сеанса, мин	30 - 40
Эмиттанс пучка на входе в стенд, (2σ) $\epsilon_x/\epsilon_y \pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$	3/8
Диаметр пучка на мишени, мм (ширина на полувысоте)	10 - 40
Однородность потока при облучении размера 30×30 мм	$\pm 10\%$
Максимальная область облучения мишени, мм	200×200
Однородность потока при максимальной области облучения	$\pm 15\%$
Частота сканирования пучка при максимальной области облучения, Гц	1 - 2
ЛПЭ в Si, МэВ \times см 2 /мг (на поверхности чувствительной области микросхемы)	1 - 65
Давление в камере,	$10^{-2} - 10^{-3}$ Торр, 760 мм ртст
Температура мишени при облучении, $^{\circ}\text{C}$ (размер кристалла микросхемы 20×20 мм)	-65 $^{\circ}\text{C}$ -1+125 $^{\circ}\text{C}$

6.4 Станция облучения радиоэлектронных систем СОКИТ

Для тестирования радиоэлектронного оборудования ионами с энергией 3,2 МэВ/н, ускоряемыми в НИЛАс создается станция облучения декорпуслированных микросхем СОКИТ. Специфика этой станции связана с низкой энергией ионов, которые не могут пройти через корпус микросхемы с толщиной несколько мм, поэтому перед ее облучением происходит декапсуляция корпуса. Другая особенность связана с временной структурой тока пучка ионов, длительность импульса тока составляет 10 мкс, а частота повторения 10 Гц. При этом формируются три импульса тока, которые повторяются с частотой 0,25 Гц. Параметры ионных пучков приведены в таблице 6.2. В состав СОКИТ входит следующее оборудование: система диагностики низкоэнергетичных ионных пучков 0,3-3,2 МэВ/н, система позиционирования образцов; система задания температуры; вакуумное оборудование, измерительное оборудование; средства связи для удаленного доступа.

Таблица 6.2
Параметры ионных пучков и требования к оборудованию СОКИТ

Параметры	Величина
Типы ионов для специализированного сеанса облучения микросхем*	p, $^{12}\text{C}^{6+}$, $^{40}\text{Ar}^{16+}$, $^{56}\text{Fe}^{24+}$, $^{84}\text{Kr}^{26+}$, $^{131}\text{Xe}^{42+}$, Tm^{41+} , $^{197}\text{Au}^{51+}$,
Типы ионов для режима работы Коллайдера и сопутствующего сеанса облучения микросхем	p, $^{12}\text{C}^{4+}$, $^{40}\text{Ar}^{8+}$, $^{84}\text{Kr}^{14+}$, $^{131}\text{Xe}^{22+}$, $^{197}\text{Au}^{31+}$
Энергия ионов, выведенных из HILAc, МэВ/н	0,3, 2, 3,2
Энергетический разброс (полуширина на полувысоте)%	3
Средний поток ионов, ион/(см ² ×с)	$10^2 - 3 \cdot 10^5$
Длительность импульса выведенного пучка, мкс	10
Частота следования импульсов тока, Гц	10
Количество импульсов	3
Частота следования макроимпульсов тока, Гц	0,25
Максимальный флюенс за сеанс ион/(см ²)	10^7
Продолжительность сеанса, мин	30 - 40
Среднеквадратичный эмиттанс, $\pi \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$	10
Среднеквадратичный диаметр пучка на выходе из HILAc, мм	0,8
Однородность потока при облучении размера 30×30 мм	±10%
ЛПЭ в Si, МэВ×см ² /мг (на поверхности чувствительной области микросхемы) для специализированного сеанса облучения микросхем*	1 - 38*
ЛПЭ в Si, МэВ×см ² /мг для режима работы Коллайдера и сопутствующего сеанса облучения микросхем	1 - 15
Давление в камере, Торр	10^{-8}
Температура мишени при облучении, °С (размер кристалла микросхемы 20×20 мм)	-65°С-1+125°С

6.5 Станция облучения для радиобиологических исследований СОДИБ

Планируемые на установке СОДИБ эксперименты имеют целью исследования воздействия ионов с энергией 0,5-0,8 ГэВ/н на биологические объекты на клеточном и организменном уровнях. На клеточном уровне изучаются механизмы образования генных и структурных мутаций в клетках млекопитающих при воздействии на них

ионов высоких энергий. На организменном уровне исследуются морфологические изменения в результате такого воздействия в тканях и органах мышей и крыс, а также изменения поведенческих и когнитивных функций мелких лабораторных животных и низших приматов при облучении структур их мозга ионными пучками (моделируются нарушения функций центральной нервной системы космонавтов при длительных межпланетных космических полетах). Наиболее вероятные энергии галактических ядер лежат в области 0,5-0,8 ГэВ/н, вызывающие тяжелые кластерные повреждения на клеточном уровне и угнетающие функции центральной нервной системы при хроническом облучении даже небольшими дозами, поэтому для выполнения полномасштабной программы исследования воздействия ядер галактических космических лучей вне магнитосферы Земли на космонавтов в Измерительном павильоне будет создана специализированная станция СОДИБ для радиобиологических объектов. Для обеспечения на биологическом объекте дозы в 1 Гр могут быть использованы различные ионные пучки, выведенные из Нуклotronа с параметрами приведенными в таблице 6.3. В таблице 6.4 приведены параметры ионных пучков при облучении мозга низших приматов.

Таблица 6.3

Параметры ионных пучков, выведенных из Нуклотрона, для радиобиологических исследований

Ядро, энергия (МэВ)	ЛПЭ на входе (кэВ/мкм)	Пробег ядер в ткани, см	Поток ядер для создания дозы 1 Гр (ядер/см ²)
¹² C, 500 МэВ/н	9,7	39,7	$6,45 \cdot 10^7$
¹² C, 800 МэВ/н	8,2	80,6	$7,61 \cdot 10^7$
²⁰ Ne, 500 МэВ/н	27,2	23,6	$2,30 \cdot 10^7$
²⁰ Ne, 800 МэВ/н	23,1	46,8	$2,70 \cdot 10^7$
⁴⁰ Ar, 500 МэВ/н	92,2	13,9	$6,77 \cdot 10^6$
⁴⁰ Ar, 800 МэВ/н	78,3	28,2	$7,97 \cdot 10^6$
⁵⁶ Fe, 500 МэВ/н	182,5	9,9	$3,47 \cdot 10^6$
⁵⁶ Fe, 800 МэВ/н	155,0	20,0	$4,03 \cdot 10^6$
⁸⁴ Kr, 500 МэВ/н	358,7	7,6	$1,74 \cdot 10^6$
⁸⁴ Kr, 800 МэВ/н	305,1	15,3	$2,05 \cdot 10^6$

6.6 Станция для релятивистской ядерной энергетики

Идея использования пучков ускорителя для электроядерного способа получения энергии (Accelerator Driven Systems-ADS). предполагает формирование нейтронных потоков в процессе взаимодействия выведенного из ускорителя пучка и получение энергии на основе реакции деления природного и обедненного урана ²³⁸U,

тория ^{232}Th и других тяжелых элементов. Такую схему в литературе принято называть электроядерным способом получения энергии или ADS-системами.

Таблица 6.4
Параметры ионных пучков при облучении мозга низших приматов

Типы ионов	$^{12}\text{C}^{6+}$, $^{40}\text{Ar}^{18+56}$, ^{26+}Fe , $^{84}\text{Kr}^{36+}$
Энергия ионов, ГэВ/н	0,5 - 0,8
Интенсивность ионов	
Примесь ядер с нецелевыми Z не более %	5
Поле облучения, см	$\varnothing 10$
Неравномерность поля облучения по потоку ядер на мишени $10\text{cm} \times 10 \text{ см}^2$, %	± 5
Неравномерность поля облучения по глубине распределения 100 мм на мишени	5%
Максимальная поглощенная доза на облучаемый орган, Гр	3
Поглощенная доза на тело обезьяны – не более % от дозы на облучаемый орган	5
Время облучения объекта дозой 1 Гр	

Привлекательность возможностей создания ADS-систем обусловлена рядом преимуществ: решение проблем безопасности эксплуатации таких систем, возможность дожигания (трансмутации) радиоактивных отходов (минорных актинидов), более коротким, по сравнению с реакторами на быстрых нейтронах, циклом наработки делящихся материалов, и т.д. Обычно рассматриваемая концепция электроядерного производства энергии предполагает, что энергия сильноточного пучка протонов с энергией ~ 1 ГэВ и мишенной станции из тяжелых элементов (природный уран, торий) обеспечивает коэффициент умножения энергии 30-40.

Также обсуждаются возможности использования вместо протонов пучков легких ионов.

Ускоренные ионы низких энергий имеют короткие пробеги в мишени, что существенно сокращает вероятность ядерных неупругих взаимодействий и, соответственно, снижает эффект увеличения мощности системы.

На рис. 6.3 показана зависимость относительного вклада, обусловленного делениями урана, от энергии для протонов и нескольких легких ядер.

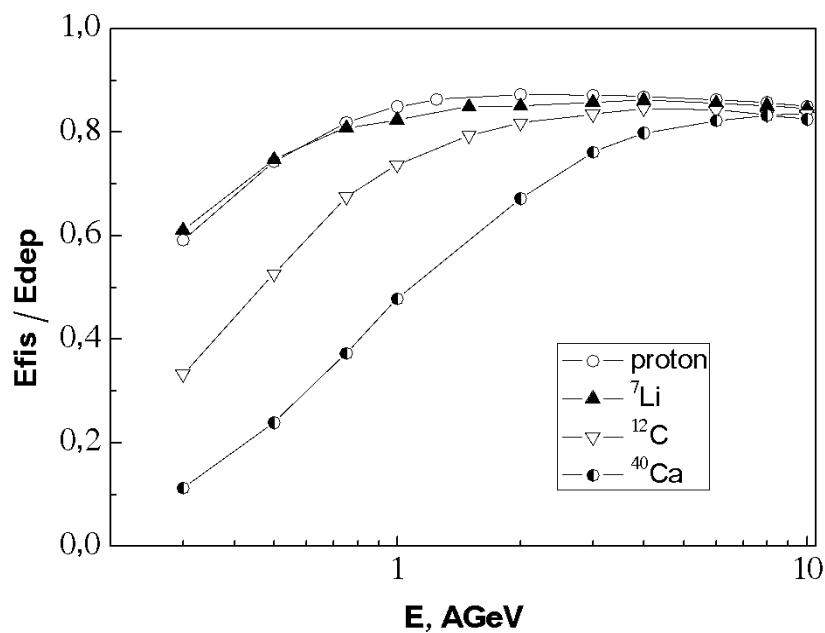


Рис.6.3. Относительный вклад энергии, выделившейся в мишени от реакций деления урана, в зависимости от кинетической энергии налетающих ионов.

Анализ результатов моделирования показывает, что пучок ^7Li с энергией 0,5 ГэВ/н эквивалентен пучку протонов с энергией 3 ГэВ. Для пучка протонов энерговыделение в мишени почти не зависит от типа мишени. Для легких ионов, однако, Be или C конвертер существенно повышает энерговыделение в мишени. Так, для 0,3 ГэВ/нукл ^7Li энерговыделение в 2 раза выше, чем для Be конвертера и в 1,4 раза выше, чем для C конвертера.

Для экспериментальной проверки использования легких ядер в системах ADS вместо пучков протонов планируется реконструировать специализированный канал (рис. 6.4) выведенного пучка из Нуклотрона. Предполагается выполнение следующих работ: реконструкция "Технического канала", изготовление требуемой радиобиологической защиты в месте расположения исследуемых мишеней, а также дальнейшее усовершенствование системы диагностики и мониторирования пучка на мишенях, а также специальных детекторов для измерения температурных полей нагрева, пространственного распределения нейтронных потоков внутри и снаружи исследуемых мишеней. Параметры ионных пучков для станции релятивистской ядерной энергетике приведены в таблице 6.5

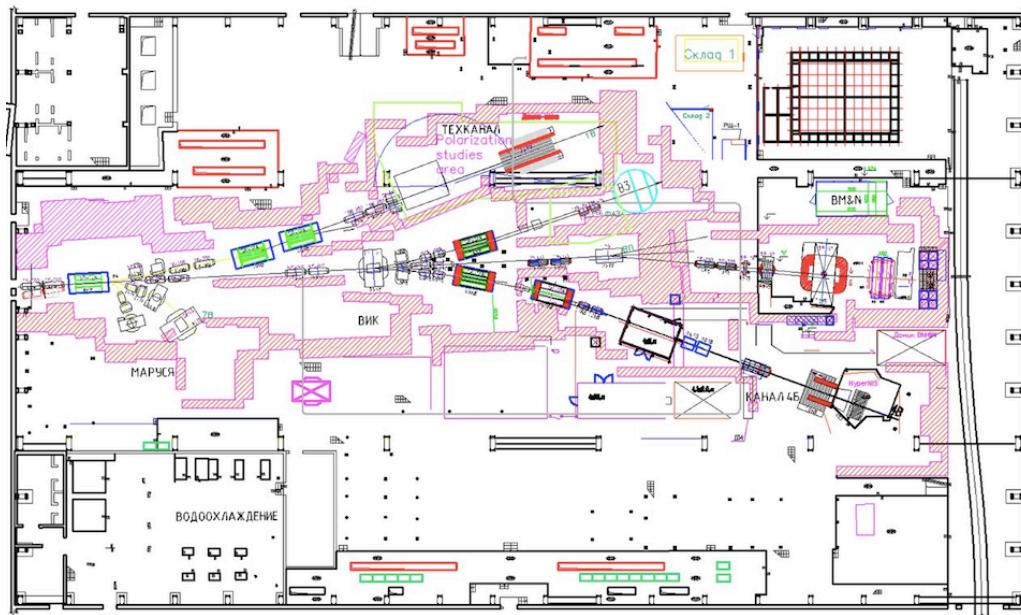


Рис.6.4 Схема технического канала для станции релятивистской ядерной энергетики.

Таблица 6.5

Параметры требуемых пучков при облучении ADS-мишеней

Типы ионов	$^{12}\text{C}^{6+}$, $^{40}\text{Ar}^{18+}$, $^7\text{Li}^{3+}$, $^1\text{P}^{1+}$, $^2\text{D}^{1+}$
Энергия ионов, ГэВ/н	0.3-4.0
Интенсивность ионов 1/сек	$^1\text{P}^{1+}$, $^2\text{D}^{1+}$ - 10^{10} $^{12}\text{C}^{6+}$, $^7\text{Li}^{3+}$ - 10^9
Примесь ядер с нецелевыми Z не более %	5
Поле облучения, мм	\emptyset 20-50
Временная структура выведенного пучка	Равномерная Импульсная <1мкс/цикл
Время одного облучения объекта	Накопленный интеграл $>10^{14}$

На этапе «Базовая конфигурация Комплекса NICA» будет подготовлен технический проект, изготовлено оборудование для всех прикладных каналов и станций, завершен монтаж оборудования и проведены пуско-наладочные работы.

7. Компьютерный блок и компьютерные сети комплекса NICA

7.1. Общее описание компьютерного блока

Компьютерный блок комплекса NICA создается как часть общей информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ. Он нацелен на аккумулирование, передачу и хранение физических данных, получаемых от основных узлов комплекса NICA - ускорителей, детекторов BM@N, MPD и SPD, вычислительной аппаратуры экспериментальных установок для инноваций и прикладных исследований, а также на их обработку, анализ, мониторинг и моделирование исследуемых процессов и используемых систем. В него также входит локальная сеть передачи данных и элементы ее взаимодействия как с технологическими сетями и компьютерами комплекса, так и с локальной компьютерной сетью ОИЯИ и сетями других организаций, вовлеченных в выполнение проекта «Комплекс NICA».

Вычислительный кластер комплекса NICA в ОИЯИ территориально и функционально распределен. Его основные технологические элементы расположены в четырех специализированных помещениях, три из которых расположены на площадке Лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ), одна - в Лаборатории информационных технологий (ЛИТ) на площадке ЛЯП. На площадке ЛФВЭ в корпусе 14 располагается on-line кластер, его прототип - в корпусе 201; off-line кластер ЛФВЭ располагается в здании 216, зал 115, off-line кластер центра NICA - в новом здании Центра NICA. На площадке ЛЯП автономный off-line кластер располагается в корпусе 134 (ЛИТ) в составе Многофункционального Информационно-Вычислительного Комплекса ОИЯИ (МИВК).

Вычислительные ресурсы кластера и сети базируются на современных и доступных технических решениях, масштабируемы, открыты для подключения различных компьютерных и сетевых элементов, расположенных как в ОИЯИ, так и за его пределами. В **Базовой конфигурации** комплекса этих ресурсов должно быть достаточно для работы в ОИЯИ с объемом данных в 3 - 10 петабайт в год в 2020-2021 годах, а в **Полной конфигурации** (начиная с 2022 года) - в 30 - 70 петабайт в год.

7.2. Распределенный компьютерный кластер NICA

7.2.1. Компьютерная сеть комплекса NICA

Одним из важнейших компонентов компьютерного блока комплекса NICA является компьютерная сеть, объединяющая кластеры и сервера внутри кластеров в общую вычислительную инфраструктуру комплекса, а так-же компьютерную сеть в физических корпусах №№ 1, 1А, 1Б, 2, 4, 14, 17, 32, 42, 201, 202, 203А, 203Б, 205, 215, 216, 217 . В on-line и off-line его компонентах используется 100 Гб/с локальная

сеть. Для сбалансированности нагрузки весь сегмент Ethernet компьютерного блока структурируется по скоростям доступа.

При организации сетевой компьютерной инфраструктуры on-line кластера обеспечивается пропускная способность до 320 Гбит/с, надежность и отказоустойчивость локальной сети. Все сетевые компьютерные элементы on-line кластера связываются интерфейсами со скоростями передачи данных по N x 100 Гбит/с и подключаются друг к другу по нескольким линиям.

На off-line кластере ЛФВЭ используются сервера Intel, сетевое оборудование Mellanox 100GbE, ОС CentOS 7.X.

Оборудование центрального телекоммуникационного узла - ядро системы коммутации и маршрутизации off-line кластера ЛИТ, реализуется на четырех многофункциональных коммутаторах семейства Cisco Nexus 9504 с подключением по *full-mesh* топологии для получения максимальной надежности и производительности.

Сетевая инфраструктура компьютерных кластеров комплекса NICA относится **Базовой** конфигурации. Ориентировочная стоимость ее создания — 4,0 М\$. Дополнительно 1,0 М\$ для **Полной** конфигурации необходим для создания компьютерной сети Центра NICA и оснащение его офисов и залов компьютерным и презентационным оборудованием.

7.2.2. Структура распределенного компьютерного комплекса NICA

Общая схема распределенного компьютерного кластера проекта «Комплекс NICA» приведена на рис. 7.1.

On-line кластер выполняет несколько основных и вспомогательных функций. Основными функциями являются: получение данных, поступивших от систем сбора данных физических установок комплекса NICA общим объемом в **Базовой конфигурации** до 500 ТВ/24 часа в 2020-2021 годах, а в **Полной конфигурации** (начиная с 2022 года) - до 1000 ТВ/24 часа; сортировка и упаковка "сырых" данных; экспресс-обработка данных (не более 5~10% от общего объема); временное хранение "упакованных" данных (не более 24 часов); передача данных для дальнейшего хранения и обработки на off-line кластеры с объемом данных от 500 ТБайт до 1000 ТБайт в сутки и скорость передачи данных до 100 Гб/с. В таблице 7.1 приведены данные по основным подсистемам комплекса NICA (размер событий, скорость передачи и общий объем данных в сутки), примененные для расчета основных характеристик вычислительного блока комплекса NICA.

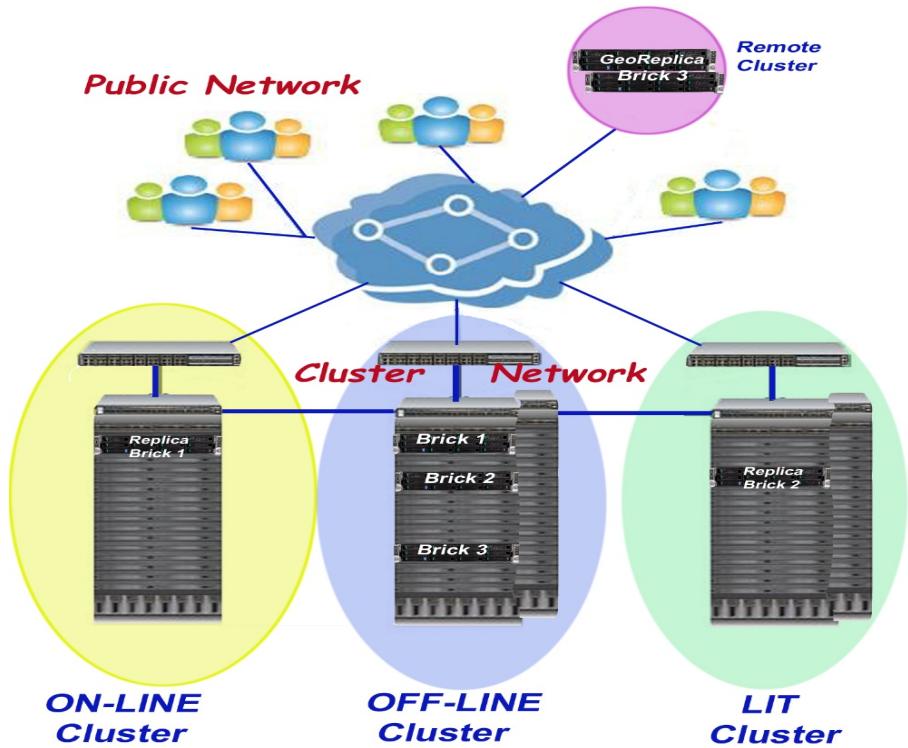


Рис. 7.1. Схема использования распределенных ресурсов в кластере NICA.

Таблица 7.1

Данные об основных подсистемах комплекса NICA

Подсистемы комплекса NICA	Темп приема технологических данных (ГБ/с)	Темп генерации событий (кГц)	Размер события (МБ)	Полный размер событий в секунду (ГБ/с)	Средняя скорость передачи данных (ГБ/с)	Объем данных в сутки (ТВ/24 часа)
Ускорители						
2019 - 2020	0,5				0,1	4
>2020	1,5				0,3	10
BM@N						
2019-2020		30	0,5	15	20	100
>2020		50	0,7	35	100	300
MPD						
2021-2022		0,1	1	0,1	10	200
>2022		6	2	12	100	600
SPD						
>2023		50	0,5	25	100	1000

К вспомогательным функциям кластера относятся получение и отображение данных мониторинга и диагностики физических установок, поддержка служебных сервисов (DHCP, DNS и др.).

В таблице № 7.2 представлены Базовые элементы on-line кластера комплекса NICA.

Таблица № 7.2
Базовые элементы on-line кластера комплекса NICA

Наименование	Количество
Сервера типа Super Micro 2U TwinPro	10
Сервера типа Super Micro 2028R-DN2R24L	22
Дисковые сервера типа NVME для быстрого приема данных	22

On-line кластер должен быть оборудован технологическими системами бесперебойного электропитания с автоматическим переходом на автономный электрогенератор, охлаждения и вентиляции, пожаротушения.

On-line кластер ЛФВЭ относится к Базовой конфигурации комплекса NICA. Ориентировочная стоимость его создания – 3,8 М\$. 1,1 М\$ необходим для увеличения его производительности после 2022 г. в Полной конфигурации комплекса.

Off-line компьютерный кластер комплекса NICA, как и все крупные центры обработки и хранения данных с больших физических установок, является территориально-распределенным и объединяет все компоненты, расположенные как на площадке ЛФВЭ, так и на площадке ЛЯП, единой локальной компьютерной сетью N x 100 Гб/с.

Off-line кластер ЛФВЭ имеет характеристики, приведенные в таблице 7.3, которые должны быть достигнуты к концу 2017 г. и к концу 2019 г. Off-line кластер ЛФВЭ должен быть оборудован технологическими системами бесперебойного электропитания с автоматическим переходом на автономный электрогенератор, охлаждения и вентиляции, пожаротушения.

Off-line кластер ЛФВЭ относится к **Базовой** конфигурации комплекса NICA Ориентировочная стоимость его создания – 3.4 М\$.

Off-line кластер Центра NICA располагается в помещении нового корпуса центра инновационных разработок проекта «Комплекс NICA» (в дальнейшем – Центр NICA). Кроме того, вновь создаваемый кластер, будет связан с работающим прототипом, расположенным в корпусе 215, on-line кластером (корпус 14), off-line

кластером ЛФВЭ и off-line кластером МИВК ОИЯИ. При проектировании off-line кластера учитывается опыт создания крупного центра МИВК ОИЯИ, результаты моделирования и опыт, накопленный при создании прототипа и off-line кластера ЛФВЭ.

Таблица 7.3

Базовые параметры off-line кластера-216

Срок	Необходимые параметры	Необходимое серверное оборудование
Конец 2017 г.	0.5ПБ диски (с репликацией), 1К ядер ЦП	14 серверов INTEL R2000WT 18x2x2x14=1008 ядер ЦП 12x8x14=1344 ТБ дисков
Конец 2019 г.	4-5ПБ диски (с репликацией), 4К ядер ЦП	60 серверов INTEL R2312WFTZS 20x2x2x60=4800 ядер ЦП 12x16x60=11520 ТБ дисков

В таблице 7.4 приведены планируемые Базовые параметры off-line кластера Центра NICA, ввод в эксплуатацию которого намечен на 2021 год. Необходимое для достижения этих параметров оборудование указано в предположении того, что в 2020 г. уже будут доступны жесткие диски 3.5" емкостью 32 ТБ, а 2.5" диски SSD будут иметь емкость 16 ТБ. Количество ядер ЦП в 2019 г. - 20, в 2020 г. – 22, в 2021 г. - 24, в 2023 г. – 26. Данные приведены для двух вариантов оборудования кластера “Центра NICA”: вариант 1 – на базе 2-х процессорных серверов типа Intel R2312WFTZS и 8-ми процессорных типа R2312LR3 (High Density – четыре двухпроцессорных модуля в сервере высотой 2U), вариант 2 – на базе архитектуры мини-ЦОД РСК. В Полной конфигурации кластера планируется довести объем дискового пространства до 50 ПБ.

Компьютерный кластер дополняется блоком вспомогательных помещений: диспетчерской на 2 рабочих места операторов круглосуточной смены, бытовыми

помещениями для персонала. Необходимое технологическое оборудование, обеспечивающее климат-контроль в компьютерном зале, работу систем энергоснабжения, охлаждения, пожарообнаружения и пожаротушения располагаются в техническом этаже и, частично, на крыше корпуса Центра NICA и за пределами основного здания центра.

Конфигурация off-line кластера центра NICA с параметрами, достижаемыми в конце 2022 г., входит в состав **Базовой** конфигурации комплекса NICA. Ориентировочная стоимость ее создания – 7,34M\$. Для достижения параметров Полной конфигурации необходимо дополнительно 2,65M\$.

Таблица 7.4
Базовые параметры off-line кластера Центра NICA

Этапы реализации	Необходимые параметры	Необходимое серверное оборудование (воздушное охлаждение серверов)	Необходимое серверное оборудование (водяное охлаждение серверов, РСК)
Этап I	8-10ПБ диски (с репликацией), 5К ядер ЦП	60 серверов типа INTEL R2312WFTZS 22x2x2x60=5280 ядер ЦП 12x32x60=23040 ТБ дисков	64 модуля (4 блока) 22x2x2x64=5632 ядер ЦП СХД типа ClusterStor L300N: 4 SSU: 82x32x4=10496ТБ диски
Этап II	12-15ПБ диски (с репликацией), 10К ядер ЦП	30 серверов типа INTEL R2312LR3 (HD: 4 x 2CPU в 2U) 24x4x30x4=11520 ядер ЦП 12x32x30=11520 ТБ дисков	48 модулей (3 блока) 24x2x2x48=4608 ядер ЦП СХД типа ClusterStor L300N: 2 SSU: 82x32x2=5248ТБ дисков
Этап III	20ПБ диски (с репликацией), 20К ядер ЦП	30 серверов типа INTEL R2312LR3 (HD: 4 x 2CPU в 2U) 26x4x30x4=11520	48 модулей (3 блока) 26x2x2x48=4992 ядер ЦП СХД типа

		ядер ЦП 12x32x30=11520 ТБ дисков	ClusterStor L300N: 2 SSU: 82x32x2=5248ТБ дисков
--	--	--	--

Основной задачей off-line кластер ЛИТ является создание двухуровневой (диско-ленточной) системы хранения для экспериментов NICA, поскольку после первого этапа этих экспериментов потребуются значительные объемы хранения (от 2,5 ПБ до 70 ПБ в год). Список дополнительных оборудования к существующим в МИВК ОИЯИ ресурсам приведен в таблице 7.5.

Таблица 7.5

Дополнительное оборудование для кластера ЛИТ

Продукт	Описание	Количество
3584-S54	TS3500 HD Frames for LTO Drives	2
1646	HD COD for S54/S55	2
3589-550	2.5 TB Ultrium Tape Cartridge Labeled	1
5500	2.5 TB Labeled 20-pack	66

Начальная конфигурация off-line кластера ЛИТ относится к **Базовой** конфигурации комплекса NICA. Ориентировочная стоимость ее создания – 1,3 М\$. Для расширения конфигурации до **Полной** потребуется дополнительно 0,6 М\$.

7.2.3. Файловая система распределенного компьютерного комплекса

Одним из основных компонентов компьютерного блока проекта «Комплекс NICA» является кластерная файловая система. В настоящее время в этом качестве применяются несколько кластерных файловых систем: GPFS, Lustre, dCache, Ceph, EOS, GlusterFS и др. Для On-line и off-line кластеров лучше всего подходит файловая система EOS. EOS - это распределённая, параллельная, линейно масштабируемая файловая система с возможностью ее защиты от сбоев.

7.2.4. Инженерная инфраструктура кластеров

Инженерная инфраструктура каждого кластера распределенного компьютерного комплекса проекта «Комплекс NICA» включает в себя системы электропитания, охлаждения, пожарообнаружения и пожаротушения.

Компьютерные залы оборудуются фальш-полами. Указанные системы проектируются и монтируются специализированными проектными организациями.

Потребляемые мощности для каждого кластера комплекса показаны в таблице 7.6.

Таблица 7.6
Потребляемые мощности компьютерными кластерами комплекса NICA

Кластер	Энергопотребление
On-line	300 кВт
Off-line кластер ЛФВЭ	300 кВт
Off-line кластер Центра NICA	800 кВт
Off-line кластер ЛИТ	500 кВт

Набор перечисленных систем относится к **Базовой** конфигурации комплекса NICA. Ориентировочная стоимость систем - 3 М\$.

7.3. Программное обеспечение «Комплекса NICA»

Программное обеспечение для моделирования, реконструкции и анализа данных экспериментов в области физики высоких энергий является неотъемлемой частью каждого эксперимента. На комплексе NICA начинается новое поколение экспериментов с использованием пучков тяжелых ионов. Эксперимент по исследованию барионной материи на Нуклotronе (BM@N) является первым из них и проводится на выведенных пучках ионов на фиксированную мишень. Начало эксперимента - 2017 год. Эксперименты с многоцелевым детектором (MPD) на Коллайдере ускорительного комплекса проекта NICA начнутся в 2022 году. Эксперименты с поляризованными пучками частиц на Коллайдере с помощью установки SPD начнутся в 2025 году.

Для всех вышеперечисленных экспериментов разрабатываются программные фреймворки: MpdRoot - предназначен для экспериментов на MPD, BmnRoot - для экспериментов на BM@N, SpdRoot – для экспериментов на SPD.

Вычислительная система компьютерного комплекса проекта NICA нацелена на: моделирование первичных частиц и взаимодействий тяжелых ионов и результирующего отклика детектора; реконструкцию, и анализ данных, поступающих от моделируемых и реальных взаимодействий. При построении детекторов оптимизация аппаратной конструкции и подготовка кода и вычислительной инфраструктуры требуют надежной цепочки моделирования и реконструкции, реализуемой распределенной вычислительной средой.

Все разработанные Root - пакеты используются для выполнения описания технического дизайна всех суб-детекторов экспериментальных установок и

дальнейшего моделирования регистрируемых в них процессов в целях оптимизации их конструкции и определения необходимых параметров детекторов и подсистем. Пакеты также используются для исследований реализуемых физических задач на установках комплекса, определения их возможностей, анализа событий и физических характеристик в исследуемых процессах.

Программное обеспечение базируется на открытых системах и на разработках, используемых в ОИЯИ на основе двухсторонних и многосторонних соглашений с соответствующими институтами и организациями.

На этапе «Стартовая конфигурация проекта NICA» достигаются следующие Базовые параметры компьютерного кластера:

- количество CPU (ядер) - не менее 1 000;
- объем дисковой памяти для хранения данных - не менее 1 ПБ;
- пропускная способность локальной сети - не менее 100 ГБ/с.

На этапе «Базовая конфигурация проекта NICA» -

- количество CPU (ядер) - не менее 10 000;
- объем дисковой памяти для хранения данных - не менее 6 ПБ;
- пропускная способность локальной сети - не менее 200 ГБ/с;
- объем ленточной памяти для хранения данных - не менее 10 ПБ.

На этапе «Полная конфигурация проекта NICA» -

- количество CPU (ядер) - не менее 25 000;
- объем памяти для хранения данных типа Data Lake - не менее 40 ПБ;
- пропускная способность локальной сети - не менее 400 ГБ/с.

Технический проект компьютерной сети общего назначения и компьютерного кластера проекта NICA выложен на сайте http://mpd.jinr.ru/wp-content/uploads/2018/06/NICA_computing_TDR_1.03.pdf

8. Строительная, научно-исследовательская и инженерная инфраструктура комплекса NICA

8.1. Строительная инфраструктура комплекса

Строительная инфраструктуры комплекса NICA включает в себя вновь возводимые и реконструируемые здания и сооружения. К числу вновь возводимых относится комплекс зданий и сооружений Коллайдера с павильонами под экспериментальные установки MPD и SPD (рис. 2), криогенно-компрессорный корпус, здание центра NICA. К реконструируемым зданиям относятся корпус №1, в котором размещается Бустер и Нуклотрон, а также частично оборудование каналов транспортировки пучков, корпус №205 под установку BM@N и каналы транспортировки пучков, корпус №217 с размещением в нем технологической линии сборки, тестирования и сертификации сверхпроводящих магнитов для всех создаваемых элементов ускорительного комплекса, корпус №42 под технологические участки сборки электромагнитного калориметра установки MPD, корпус №14 под размещение on-line компьютерного кластера, корпус №32 под размещение экспресс-мастерских, корпус №208 подстанции электропитания Коллайдера и оборудования корпуса №205, помещения корпусов №216, №22, №217 под технологические участки сборки детекторов и размещение off-line компьютерного кластера ЛФВЭ, а также корпуса 1А - для размещения источников питания и центра управления установкой MPD, 1Б - для размещения криогенного оборудования, 4 - для создания участка сборки тепловых экранов и 203А - для создания комплекса подготовки деталей ускорителя к финишной сборке.

8.1.1. Комплекс зданий и сооружений Коллайдера с павильонами под экспериментальные установки MPD и SPD

Основное здание для размещения Коллайдера и технологического оборудования (линзы, магниты и т.д.) – корпус №17, представляет из себя биологически защищенный одноэтажный тоннель вытянутой эллиптической формы с внутренним периметром ориентировочно 503 метра (уточняется при проектировании). Пучки тяжелых ионов и поляризованных ядер направляются в это здание через возводимые и стыкуемые с корпусом №1 биологически защищенные тоннели для транспортировки пучков из Нуклотрона. Для размещения системы электронного охлаждения пучков в Коллайдере строится специальный биологически защищенный павильон. Создается также специальная обстройка здания Коллайдера – одно- и/или двухэтажные части здания со стандартной сеткой колонн 6x6 или 9x9 для размещения в ней инженерного оборудования, обеспечивающего необходимые условия для его работы и эксплуатации.

Ускорительное кольцо комплекса NICA и каналы выводов пучка имеют в плане как прямолинейные участки, так и радиусные. Для монтажа магнитной системы комплекса и прочих сопутствующих устройств каждый участок тоннеля оснащается собственной кран-балкой.

В проекте ЗАО "Комета" заложено 18 кран-балок различной грузоподъемностью и необходимой длиной. Изначально в ТЗ на кран-балки был заложен ручной привод как для подъема груза, так и для их перемещения по рельсам по аналогии с кран-балками Бустера. Такое решение сильно снижает требования по конструктивному исполнению и упрощает дальнейшую эксплуатацию. В соответствии с Федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов для объектов использования атомной энергии» НП-043-18 (пункт 3) любые кран-балки с ручным приводом относятся к кранам общепромышленного применения. В целях унификации все кран-балки рассчитаны на работу с весом груза до 5 тонн. Для подъема груза в конструкцию кран-балок заложена ручная таль. В помещениях, примыкающих к тоннелям ускорительного комплекса и каналам вывода также устанавливаются краны общепромышленного применения. Высота подъема крюков соответствует высоте помещения.

Павильоны для размещения экспериментальных установок MPD и SPD в зонах столкновения пучков Коллайдера, расположенные в разрывах тоннеля, интегрируются в здание Коллайдера таким образом, чтобы обеспечить в рабочем положении нахождение установок с высокой точностью в зоне столкновений пучков. В павильонах предусматривается специальная зона сборки и проведения работ по модернизации установок и возможность транспортировки установок ориентировочным весом не менее 1200 тонн каждая из зоны сборки в рабочее положение и обратно. Площадь павильонов должна быть достаточной для размещения технологического оборудования, в т.ч. криогенного, располагаемого в непосредственной близости от установок и необходимого для их обслуживания.

Павильоны MPD и SPD оснащены крановым хозяйством, т.к. в них предполагается вести сборку сложных детекторов, имеющих как крупногабаритные тяжеловесные компоненты, так и маловесные, но хрупкие длинномерные объекты, такие как вакуумные трубы ионопроводов, расположенных в осевых частях детекторов. Помещение SPD выполнено зеркально помещению MPD с сохранением габаритных размеров павильона, повторения геометрического профиля здания по высоте и глубине приямков, силовой конструкции фундамента и кранового оборудования. Краны имеют общепромышленное применение.

Грузоподъемность крана в павильоне MPD - 80 тонн. Максимальная высота подъема основного крюка крана +12 м от нулевой отметки пола, длина канатов позволяет работать краном в приямке павильона на отметке -3,19 м.

Для ввоза крупногабаритных грузов въездные ворота павильонов имеют размер 8 м x 8 м.

Для перемещения детекторов от одного технологического местоположения до другого и для передвижения полюсов на их транспортных опорах их стояночного положения в положения для их монтажа в опорное кольцо предусмотрено наличие рельсовых путей и транспортных тележек. Перемещение детекторов осуществляется системой перемещения с электромеханическими штоками.

Для снижения локальных нагрузок на бетонное основание приямка, а также для получения максимально низкой неплоскости положения рельс, под подрельсовые плиты закладываются фундаментные плиты с возможностью регулирования их по высоте во время установки с неплоскостью в зоне установки рельс под перемещение детектора 0,4 мм на длине 19 м.

Для подъема, кантовки и установки отдельных элементов детекторов разрабатываются специальные траверсы.

Основные блоки с электроникой будут установлены поэтажно на специальной платформе, которая в процессе эксплуатации установок перемещается вместе с ними. Дополнительная горизонтальная платформа сооружается для размещения элементов криогенной системы каждой установки.

Весь комплекс зданий относится к категории опасных производственных объектов.

Общая площадь комплекса зданий и сооружений без учета тоннелей - не менее 25 000 м² (уточняется при проектировании).

Энергопотребление - 10,100 МВт. Потребление по теплу - 5,93 Гкал/час. Замкнутая система водоохлаждения. Потребление пожарной воды - 17 л/с. Потребление питьевой воды - 11 м³/сутки.

Весь комплекс сооружений относится к Базовой конфигурации комплекса NICA.

8.1.2. Криогенно-компрессорный корпус

Существующая строительная инфраструктура Лаборатории не позволяет разместить в ней все необходимое криогенное оборудование для обеспечения штатной работы ускорительного комплекса и экспериментальных установок. В этой связи в состав комплекса NICA включено новое здание криогенно-компрессорной станции. В здании криогенно-компрессорной станции размещается следующее

технологическое оборудование: компрессор гелиевый винтовой «Каскад 110/30» - 2 шт.; турбокомпрессор азотный «Аэрком-179» - 1 шт.; турбокомпрессор азотный «SM5000» - 2 шт.; компрессор воздуха КИП с осушкой - 1 шт.; блок ресиверов сжатого азота; система автономного водоснабжения (САВ) в составе: вентиляторные градирни; блок водяных насосов; установка подготовки подпиточной воды. Внутриплощадочные сети (эстакады энергоносителей).

Здание относится к опасным производственным объектам. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 7,680 МВт. Потребление по теплу - 0,693 Гкал/час. Потребление пожарной воды - 45 л/с. Потребление воды - 20 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA.

8.1.3. Здание центра NICA

Центр инновационных разработок - Центр NICA, создается с целью обеспечения условий эффективной работы специалистов, участвующих в проведении исследований на ускорительно-экспериментальном комплексе NICA, включая участников международных коллaborаций MPD, BM@N и SPD, предоставление им необходимых информационно-вычислительных сервисов, а также размещения Базового элемента распределенного компьютерного кластера комплекса NICA. Предварительный эскиз здания Центра NICA приведен на рис. 8.1.1.

Здание офисного типа, круглой формы диаметром 100 метров и общей площадью 12000 квадратных метров (уточняется при проектировании), с сохранением во внутреннем дворике естественного ландшафта. В здании будут расположены: фойе центрального входа, офисные помещения для сотрудников ЛФВЭ и других участников проводимых экспериментов, офисы руководителей, залы для проведения рабочих совещаний, помещение компьютерного кластера, трансформируемый зал для проведения конференций, презентаций и т.п. общей вместимостью до 750 человек, буфет, помещения вспомогательного и обслуживающего назначения. Строительство здания предполагает создание соответствующей инфраструктуры, а именно: реконструкция прилегающих автомобильных и пешеходных дорог, организация стоянок автомобильного транспорта, ландшафтный дизайн. Здание планируется построить на территории площадки ЛФВЭ в непосредственной близости от ускорительного комплекса NICA. Предполагаемая площадь земельного участка под застройку – 1,8 Га. Этажность: административное здание – 3 - 5 этажей, технический этаж и подвал. Высота объекта

27,45 м (без учета инженерного оборудования). Технико-экономические показатели уточняются проектом и не должны превышать параметров ГПЗУ.



Рис. 8.1.1. Эскиз здания Центра NICA

Здание относится к научно-производственным объектам. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП. Энергопотребление:

Энергопотребление – 1,924 МВт. Потребление по теплу - 2,3 Гкал/час. Потребление пожарной воды - 43,2 л/с. Потребление питьевой воды - 29 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.4. Корпус №1

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующее технологической реконструкции. Корпус №1 представляет собой капитальное строение - промышленное здание круглой формы, диаметром 87,3 метра, высотой в купольной части 30 метров и общей площадью 23931 квадратных метра с двумя пристройками. В корпусе располагался синхрофазotron - это ускоритель, построенный в Дубне в 1957 году и ставший самым большим и

мощным для своего времени. Его магнит весит 36 000 тонн и занесен в книгу рекордов Гиннеса, как самый тяжелый в мире. Он проработал до 2002-го года, а сейчас в его подвале расположен созданный в 1992 году Нуклotron - сверхпроводящий ускоритель, на базе которого и строится ускорительный комплекс проекта NICA. В корпусе размещается: магнитно-криостатная система кольца периметром 251,5 м, которая расположена в тоннеле вокруг фундамента электромагнита синхрофазотрона, система диагностики пучков, контроля и управления, вакуумная система кольца, ВЧ система ускорения пучков в Нуклтроне, система медленного резонансного вывода ускоренных пучков в направлении основного экспериментального зала (корп.205) с начальным участком транспортировки пучка от выходного окна криостата Нуклтрона до точки «фокус F3», каналы транспортировки выведенных пучков от точки F3 к экспериментальным установкам в корпусе 205.

В стальном канале ярма магнита Синхрофазотрона разместится один из ускорителей комплекса NICA – Бустер. Канал Синхрофазотрона содержит 4 радиусных части с радиусами кривизны 25,85 м на внутреннем радиусе и 30,15 м на внешнем радиусе и 4 прямолинейных участка между радиусными частями по 8 м длины каждый. Сечение Бустерного канала: ширина 4,3 м, высота – 2,3 м. Для монтажа элементов Бустера на прямолинейных участках используется штатный кран грузоподъемностью 50 т, а для монтажа элементов Бустера на закрытых сверху радиусных частях канала синхрофазотрона используются 4 одинаковые кран-балки грузоподъемностью 2 тонны, по одной для каждой секции. Рельсовые пути кран-балок крепятся стержнями непосредственно к потолку и выходят на открытый прямолинейный участок, что позволяет подвесить груз на крюк тали кран-балки. Для монтажа тяжелых нижних соединительных кожухов, соединяющих два соседних элемента Бустерной магнитной системы, кран-балка имеет дополнительную таль грузоподъемностью 1 тонна, что позволяет захватить кожух по обе стороны от канала пучка.

Каналы инжекции пучка из HILAc в Бустер и из Бустера в Нуклтрон также находятся в здании.

Для обеспечения планируемых работ необходимо провести следующие мероприятия по реконструкции: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, общестроительные работы по созданию необходимых строительных конструкций и перепланировке помещений, замена светоотражающих конструкций, оборудование проемов в бетонном перекрытии, работы по восстановлению фасадов, замена кровельного пирога, создание бетонного контура биологической защиты, строительные мероприятия по соединению корпуса №1 со стоящимся корпусом №17, обустройство входных групп, реконструкция

погрузочно-разгрузочной зоны с заменой ворот благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к опасным производственным объектам. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление – 1,750 МВт. Потребление по теплу - 3,503 Гкал/час. Потребление технической воды (воздохлаждение) от водозабора р. Дубна - 160 м³/час. Потребление пожарной воды - 10 л/с.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.5. Корпус №1А

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующей технологической реконструкции. Корпус №1А представляет собой капитальное строение – промышленное четырехэтажное отдельно стоящее здание прямоугольной формы, оснащенное опорным двух балочным электрическим краном грузоподъемностью 30,0/5,0 т. Основное назначение – расположение источников питания магнитов, линз кольца Нуклotronа, каналов транспортировки пучков и силовых кабельных трасс.

Реконструкция здания предполагает замену технологического оборудования (источников питания); в корпусе необходимо расположить: зал управления MPD, зал управления источниками питания, вычислительный кластер установки MPD, офисные помещения для персонала. Для выполнения поставленных задач необходимо провести следующие мероприятия по реконструкции корпуса: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, замена светоотражающих конструкций, общестроительные работы по созданию необходимых строительных конструкций и перепланировке помещений, замена кровельного пирога, реконструкция въездной группы, необходимые мероприятия по замене технологического оборудования, благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к опасным производственным объектам. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 9,000 МВт. Потребление по теплу - 2,632 Гкал/час. Замкнутая система водоохлаждения 2x70 кВт. Потребление пожарной воды - 10 л/с. Потребление питьевой воды - 5м³/сутки

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA.

8.1.6. Корпус №1Б

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующей технологической реконструкции.

Корпус №1Б представляет собой капитальное строение – промышленное здание, непосредственно примыкающее к корпусу №1, и служит для расположения системы криогенного обеспечения Нуклotronа. В здании располагаются гелиевые рефрижераторы с необходимой инфраструктурой для охлаждения и циркуляции газообразного гелия, а также емкости для хранения жидкого азота и линии его транспортировки.

Реконструкция корпуса проводится с целью установки дополнительного криогенного оборудования на вновь создаваемую платформу. Дополнительное оборудование позволит увеличить холодопроизводительность криогенной системы. В рамках реконструкции необходимо выполнить следующие мероприятия: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, общестроительные работы по созданию платформы для размещения криогенного оборудования и других необходимых строительных конструкций, перепланировку и ремонт технологических помещений, необходимые мероприятия по замене технологического оборудования с привлечением специалистов в области промышленного дизайна.

Здание относится к опасным производственным объектам. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриводным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление – 5,0 МВт. Потребление по теплу - 1,07 Гкал/час. Потребление технической воды (воздухохлаждение) от водозабора р. Дубна - 15 м³/час. Потребление пожарной воды - 5 л/сек. Потребление питьевой воды - 3 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.7. Корпус № 4

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующей технологической реконструкции.

Корпус №4 представляет собой капитальное строение – промышленное однодвухэтажное отдельно стоящее здание, в котором расположен Цех Опытно-Экспериментального Производства (ЦОЭП). На базе производства необходимо создать участок сборки тепловых экранов. Для этого необходимо провести реконструкцию левого крыла корпуса. Необходимо провести следующие мероприятия по реконструкции: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, работы по восстановлению фасадов, замена кровельного пирога, общестроительные работы по подготовке помещений для установки технологического оборудования – ультразвуковых ванн, сушильного шкафа и т.д.,

создание системы промышленной приточно-вытяжной вентиляции, устройство наружного тамбура, расширение существующего оконного проема для устройства металлических ворот, благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к производственным объектам класса опасности В2. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 245 кВт. Потребление по теплу - 0,396 Гкал/час. Потребление пожарной воды - 5 л/сек. Потребление питьевой воды: - 3 м³/сутки

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.8. Корпус №14

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующей технологической реконструкции. Корпус №14 представляет собой капитальное строение – промышленное двухэтажное отдельно стоящее здание, в котором необходимо создать инженерную инфраструктуру компьютерной on-line фермы комплекса NICA. Здание предназначено для размещения телекоммуникационного оборудования, серверного оборудования и системы хранения и передачи данных, а инженерная инфраструктура здания необходима для обеспечения условий непрерывного и бесперебойного функционирования компьютерного оборудования. Инженерная инфраструктура должна обеспечить круглосуточный режим работы фермы в режиме 7x24x365. Необходимо провести следующие мероприятия по реконструкции корпуса: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, реконструкция несущих и ограждающих конструкций здания, замена кровельного пирога, общестроительные работы по подготовке помещений для установки технологического и компьютерного оборудования, благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к производственным объектам. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 300 кВт. Потребление по теплу - 0,042 Гкал/час. Потребление пожарной воды - 5 л/с. Потребление питьевой воды - 3 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.9. Корпус №32

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующей реконструкции.

Корпус № 32 представляет собой капитальное строение – промышленное трехэтажное отдельно стоящее здание, в котором предполагается создать экспресс

участок ЦОЭП с установкой станков с ЧПУ и модернизацией кран-балки (увеличение грузоподъемности с 3 до 5 тонн) для производства необходимых деталей из различных материалов (металлы, текстолит, поликарбонат и т.д.) под нужды физико-технологического оборудования создаваемого комплекса NICA.

В рамках реконструкции необходимо провести следующие мероприятия: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, общестроительные работы по модернизации подкрановых путей, созданию платформы для размещения станков с ЧПУ и других необходимых технологических конструкций, перепланировку и ремонт технологических и офисных помещений, необходимые мероприятия по замене технологического оборудования, замена светоотражающих конструкций, работы по восстановлению фасадов, замена кровельного пирога, обустройство входных групп, благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к производственным объектам класса опасности В2. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 900 кВт. Потребление по теплу - 0,59 Гкал. Потребление пожарной воды - 5 л/с. Потребление питьевой воды: 3 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.10. Корпус №42

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующее реконструкции.

Корпус № 42 представляет собой капитальное строение – промышленное двухэтажное отдельно стоящее здание, в котором будут созданы: участок сборки времяпролетных детекторов для MPD и BM@N, участок сборки электромагнитного калориметра, участок тестирования элементов ускорителя, а также специально подготовленные помещения для складирования сверхпроводящих магнитов. В рамках реконструкции запланировано: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, общестроительные работы по модернизации подкрановых путей и других необходимых технологических конструкций, перепланировку и ремонт технологических и офисных помещений, необходимые мероприятия по монтажу технологического оборудования, замена светоотражающих конструкций, работы по утеплению внешних стен и монтажу вентилируемых фасадов, замена кровельного пирога, обустройство входных групп, реконструкция погрузочно-разгрузочной зоны с заменой ворот, благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к производственным объектам класса опасности В2. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 788 кВт. Потребление по теплу - 0,087 Гкал/час. Потребление пожарной воды - 5 л/с. Потребление питьевой воды - 3 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.11. Корпус № 203А

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующее реконструкции.

Корпус № 203А представляет собой капитальное строение – промышленное одноэтажное отдельно стоящее здание, в котором будут создан комплекс подготовки деталей ускорителя к финишной сборке состоящий из ультразвуковой мойки, вакуумной печи прогрева и помещения «чистой комнаты». В мероприятия по реконструкции необходимо включить: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, общестроительные работы по созданию подкрановых путей и других необходимых технологических конструкций, перепланировку и ремонт технологических и офисных помещений, необходимые мероприятия по монтажу технологического оборудования, замена светоотражающих конструкций, замена кровельного пирога, обустройство входных групп, реконструкция зоны перемещения оборудования с заменой ворот, благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к производственным объектам класса опасности В2. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 317 кВт. Потребление по теплу - 1,721 Гкал/ч. Замкнутая система 60 – чиллер. Потребление пожарной воды - 5 л/с. Потребление питьевой воды - 6 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.12. Корпус № 205

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующее реконструкции.

Корпус № 205 представляет собой капитальное строение – промышленное здание для проведения физических экспериментов, состоящее из одноэтажной промышленной части для расположения установок задействованных в экспериментах, двух пристроек восточной и западной с расположением в них офисов и элементов энергопитания Коллайдера. В корпусе № 205 планируется

создание с дальнейшим развитием установки BM@N, тестовой зоны MPD, SPD, зоны совершенствования технологии «ROC» для камер ТРС проекта MPD, модернизация зоны РБ защиты, создание систем питания корпуса. Необходимо провести следующие мероприятия по реконструкции корпуса: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, общестроительные работы по созданию подкрановых путей и других необходимых технологических конструкций, перепланировку и ремонт технологических и офисных помещений, замену грузоподъемных механизмов (лифтов), необходимые мероприятия по монтажу технологического оборудования, замена светоотражающих конструкций, замена кровельного пирога, работы по утеплению внешних стен и монтажу вентилируемых фасадов, реконструкция погрузочно-разгрузочной зоны с заменой ворот, благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к опасным производственным объектам. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление – 7,8 МВт. Потребление по теплу - 1,705 Гкал/час. Потребление технической воды (водоохлаждение) от водозабора р. Дубна - 100 м³/час. Потребление пожарной воды - 10 л/с, питьевой воды -10 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA.

8.1.13. Корпус № 216

Существующее здание, является частью создаваемого ускорительного комплекса, требующее реконструкции.

Корпус № 216 представляет собой капитальное строение – промышленное двухэтажное здание, соединенное с корпусом №215 галереей в котором необходимо создать несколько помещений «чистая комната» в которых будут оборудованы: участок сборки модулей кремниевых трековых систем для экспериментов BM@N и MPD; участок сборки и сертификации трековых систем; участок склейки и механической обработки конструктивных элементов трековых систем. Также в помещениях корпуса предполагается создать компьютерный кластер – off-line ферму ЛФВЭ. В рамках реконструкции запланировано: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, общестроительные работы по модернизации необходимых технологических конструкций, мероприятия по укреплению полов и созданию фундаментов под устанавливаемое оборудование, перепланировку и ремонт технологических и офисных помещений, необходимые мероприятия по монтажу технологического оборудования, замена светоотражающих конструкций, работы по утеплению внешних стен и монтажу вентилируемых фасадов, замена

кровельного пирога, обустройство входных групп, реконструкция погрузочно-разгрузочных зон, благоустройство прилегающей территории.

Здание относится к производственным объектам класса опасности В2. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 630 кВт. Потребление по теплу - 1,332 Гкал/час. Потребление технической воды - градирня корпусов 218-219. Потребление пожарной воды - 10 л/с. Потребление питьевой воды - 7 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA

8.1.14. Корпус № 217

Существующее здание, является частью создаваемой инфраструктуры для ускорительного комплекса, требующей реконструкции.

Корпус № 217 представляет собой капитальное строение – промышленное двухэтажное отдельно стоящее здание. В корпусе планируется создание с дальнейшим развитием высокотехнологичной линии для сборки, тестирования и сертификации сверхпроводящих магнитов и несерийных элементов магнитно-криостатной системы ускорительного комплекса NICA, а также размещение «чистой комнаты» для сборки время-проекционной камеры установки MPD. В мероприятия по реконструкции включаются: обследование, проектирование, реконструкция инженерных систем, создание системы промышленной приточно-вытяжной вентиляции, общестроительные работы по созданию подкрановых путей и других необходимых технологических конструкций, перепланировке и ремонту технологических и офисных помещений, необходимые мероприятия по монтажу технологического оборудования, замена светоотражающих конструкций, замена кровельного пирога, обустройство входных групп, реконструкция погрузочно-разгрузочной зоны с заменой ворот, благоустройство прилегающей территории

Здание относится к производственным объектам класса опасности В2. Инженерное обеспечение объекта должно соответствовать техническими условиями на присоединение к внутриплощадочным сетям в соответствии СНиП.

Энергопотребление - 500 кВт. Потребление по теплу - 0,217 Гкал/час. Потребление пожарной воды - 5 л/с. Потребление питьевой воды - 3 м³/сутки.

Здание относится к Базовой конфигурации комплекса NICA.

8.1.15. Сводная таблица ресурсоемкости зданий проекта NICA

Оценки потребляемых ресурсов и стоимости в разрезе строящихся и существующих зданий комплекса NICA приведены в таблице 8.1.1.

Таблица 8.1.1.

Ресурсоемкость зданий проекта NICA

Объекты NICA	Площадь, м ²	Энергопотребление, МВт	Тепло Гкал/ час	Тех. вода м ³ /час	Пожарная вода л/с	Питьевая вода м ³ /сутки
Здание 17 с павильонами	30 800	9,200	5,930		17,0	11,0
Здание ККС	1 730	7,680	0,693		45,0	20,0
Здание Центра NICA	12 000	1,924	2,300		43,2	29,0
Корпус №1	23 900	1,750	3,503	160	10,0	
Корпус №1А	240	2,000	2,632		10,0	5,0
Корпус №1Б	3 450	1,500	1,070	15	5,0	3,0
Корпус №4	300	0,245	0,396		5,0	3,0
Корпус №14	960	0,300	0,042		5,0	3,0
Корпус №32	2 500	0,900	0,590		5,0	3,0
Корпус №42	2 500	0,788	0,870		5,0	3,0
Корпус №203А	300	0,317	1,721		5,0	6,0
Корпус №205	8 900	7,000	1,705	100	10,0	10,0
Корпус №216	350	0,630	1,332		10,0	7,0
Корпус №217	2 200	0,500	0,217		5,0	3,0
Итого:	90 130	34,734	23,001	275	180,2	106,0

8.2. Криогенная инфраструктура

8.2.1. Назначение криогенного комплекса

Криогенный комплекс Коллайдера NICA создается с целью охлаждения ускоряющих колец Нуклотрона, Бустера и Коллайдера до температуры 4,5 К. При этой температуре работают сверхпроводящие магниты. Кроме того, он обеспечивает жидким гелием линию сборки и испытаний сверхпроводящих магнитов, магнита MPD, источники ионов и других потребителей гелия Лаборатории.

8.2.2. Установки, обеспечивающие криостатирование ускорительного комплекса.

Криогенная система ускорительного комплекса проекта NICA создается на базе двух модернизированных гелиевых установок КГУ-1600/4,5, запущенных в начале 90-х годов для охлаждения сверхпроводящего синхротрона - Нуклотрона. Чтобы обеспечить охлаждение еще двух ускорителей - Бустера и Коллайдера, необходимо увеличить холодопроизводительность существующей криогенной системы с 4000 Вт до 10000 Вт. Эта задача решается посредством ввода в эксплуатацию дополнительного гелиевого охладителя ОГ-1000 производительностью 1000 л/час и трех сателлитных рефрижераторов РСГ-2000/4,5 с избыточным обратным потоком. Криогенные установки такого типа работают совместно с центральным крупным охладителем за счет получаемого от него жидкого гелия.

Два сателлитных рефрижератора располагаются рядом с ускорительным кольцом Коллайдера, а третий – на платформе криогенных установок в корпусе 1Б. Там же размещается охладитель ОГ-1000.

8.2.3. Основные параметры оборудования криогенного комплекса.

Основные параметры оборудования криогенного комплекса приведены в таблице 8.2.1.

8.2.4. Состав технологического оборудования криогенного комплекса

Расположение основных элементов криогенного комплекса на площадке ЛФВЭ показано на рис. 8.2.1. Их краткое описание и перечень устанавливаемого в соответствующих помещениях оборудования приведены в таблице 8.2.2.

Таблица 8.2.1

Основные параметры оборудования криогенного комплекса

№ п/п	Наименование	Характеристика
1	Холодопроизводительность на температурном уровне 4,5 К	10000 Вт
2	общая масса оборудования, охлаждаемого до 4,5 К	290 т
3	установленная мощность компрессорных установок	11,4 МВт
	потребляемая мощность в пиковом режиме	7 МВт
4	объем хранимого гелия	34932 м ³
5	производительность по охлаждению азота	2300 кг/ч
6	объем хранимого азота	61676 м ³
7	общая площадь, занимаемая оборудованием криогенного комплекса	4000 м ²
8	общая протяженность азотных и гелиевых трубопроводов	~ 4 км

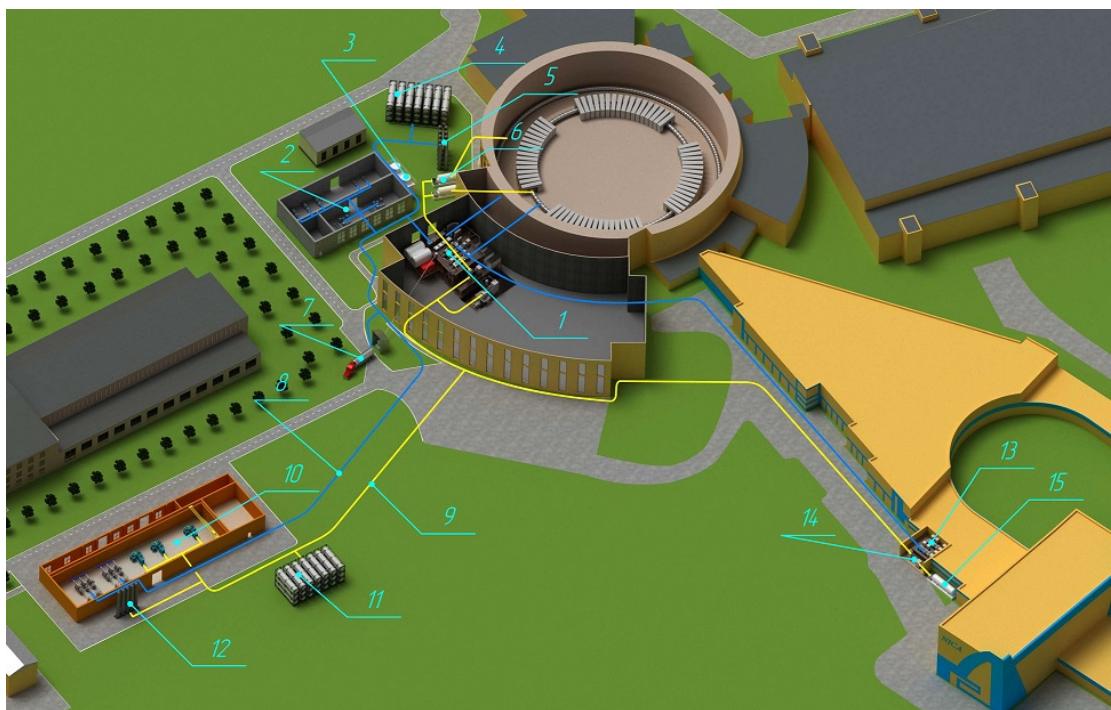


Рис. 8.2.1. Расположение основных элементов криогенного комплекса на площадке ЛФВЭ

Таблица 8.2.2

Оборудование, устанавливаемое в помещениях криогенного комплекса

№ п/п	Наименование	Количество
1.	<i>Центральная платформа криогенной станции в корпусе 1Б. В составе следующее оборудование:</i>	
	криогенная гелиевая установка КГУ-1600/4,5	2
	ожижитель гелия ОГ-1000	1
	гелиевый сателлитный рефрижератор РСГ-2000/4,5 для Бустера	1
	реконденсатор азота РА-0,5	1
	ожижитель азота ОА-1,3	1
	блоки маслоочистки и осушки сжатого гелия МО-800	4
2.	<i>Машинный зал криогенного комплекса. В составе следующее оборудование:</i>	
	гелиевый винтовой компрессор «КАСКАД-80/25»	2
	гелиевый поршневой компрессор 305ГП-20/31	3
	гелиевый поршневой компрессор 2ГМ4-12/31	2
	гелиевый поршневой компрессор 6ГШ1,6/1,1-200-1	3
3.	Градирни машинного зала открытого типа	2
4.	Гелиевый газгольдер постоянного объема	1
5.	Ресиверы для хранения газообразного гелия	10
6.	Танк для хранения жидкого азота	2
7.	Контейнер-цистерна для хранения жидкого гелия	1
8.	Разветвленная система гелиевых трубопроводов	
9.	Разветвленная система азотных трубопроводов	
10.	<i>Криогенно-компрессорная станция. В составе следующее оборудование:</i>	
	винтовой гелиевый компрессор «КАСКАД-110/30»	2
	турбокомпрессор азотный «АЭРОКОМ-178/18»	1
	турбокомпрессор азотный «SAMSUNG SM5000»	2
11.	Азотный газгольдер постоянного объема	1
12.	Ресиверы для хранения газообразного азота	5
13.	Гелиевый сателлитный рефрижератор РСГ-2000/4,5 для коллайдера	2
14.	Реконденсатор азота РА-0,5	1
15.	Танк для хранения жидкого азота	1

Криогенная инфраструктура относится к Базовой конфигурации комплекса NICA.

Детальное описание и характеристики перечисленного выше оборудования приведены в т. 4, гл. 11 технического проекта ускорительного комплекса NICA (http://nucloweb.jinr.ru/nica/TDR/2015/TDR_Volume_4.pdf) и в документе 8.2-TC:

Техническая спецификация объекта «Криогенный комплекс проекта «Комплекс NICA».

8.3. Инфраструктура энергообеспечивающих и энергосберегающих инженерных систем

8.3.1. Общие характеристики систем

Комплекс NICA является высокотехнологичным и энергоемким объектом. Непосредственно на сооружения Коллайдера с внутренней инфраструктурой необходимо до 10 МВт свободных мощностей по II (второй) категории надежности и бесперебойности электроснабжения. Кроме того, требуется организация дополнительных точек подключения для научно-исследовательского оборудования, источников питания, измерительного оборудования и сопутствующего оборудования обеспечения экспериментальных установок.

Для обеспечения объекта электроэнергией в полном объеме потребуется проведение комплекса подготовительных работ по реконструкции действующих сетей и питающего центра ГПП 110/6 кВ ПС «Дубна» с увеличением трансформаторной мощности электросетевого объекта до двух трансформаторов 110/6кВ единичной мощностью 40 МВА. На текущий момент ведется разработка исполнительной документации по комплексной реконструкции ГПП-110/ 6кВ с учетом перспективы развития научно-исследовательского потенциала площадки. Параллельно с разработкой исполнительной документации по реконструкции питающего центра, проводится анализ действующего электрохозяйства площадки с целью определения необходимости в усилении внутриплощадочных сетей для создания необходимого количества точек подключения новых потребителей и обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения действующих установок.

Согласно утвержденным предварительным техническим решениям реконструкции ГПП 110/6кВ «Дубна» в части организации распределительных сетей на стороне 6кВ проработана схема внутриплощадочных сетей с учетом перспективы и развития электрохозяйства на ближайшие 15 лет. Согласно предложенной схеме на стороне 6кВ предусматривается 4 главных и 4 реактированных секции шин, к которым предусматривается подключение всех действующих и новых потребителей площадки ЛФВЭ по радиально-кольцевой схеме, обеспечивающей соблюдения требований II категории по надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей.

8.3.2. Основные электросетевые элементы объектов комплекса NICA и их характеристики

Схема расположения электросетевых объектов на площадке ЛФВЭ приведена на рис. 8.3.1.

В связи со строительством новых экспериментальных установок в корпусе №1 площадки необходима реконструкция питающих центров этого здания, ПС-11 и ПС-12, с увеличением их трансформаторной мощности для подключения нового технологического оборудования, а так же повышения надежности электроснабжения действующего научно-исследовательского оборудования, инфраструктуры, лабораторных установок экспериментального зала.

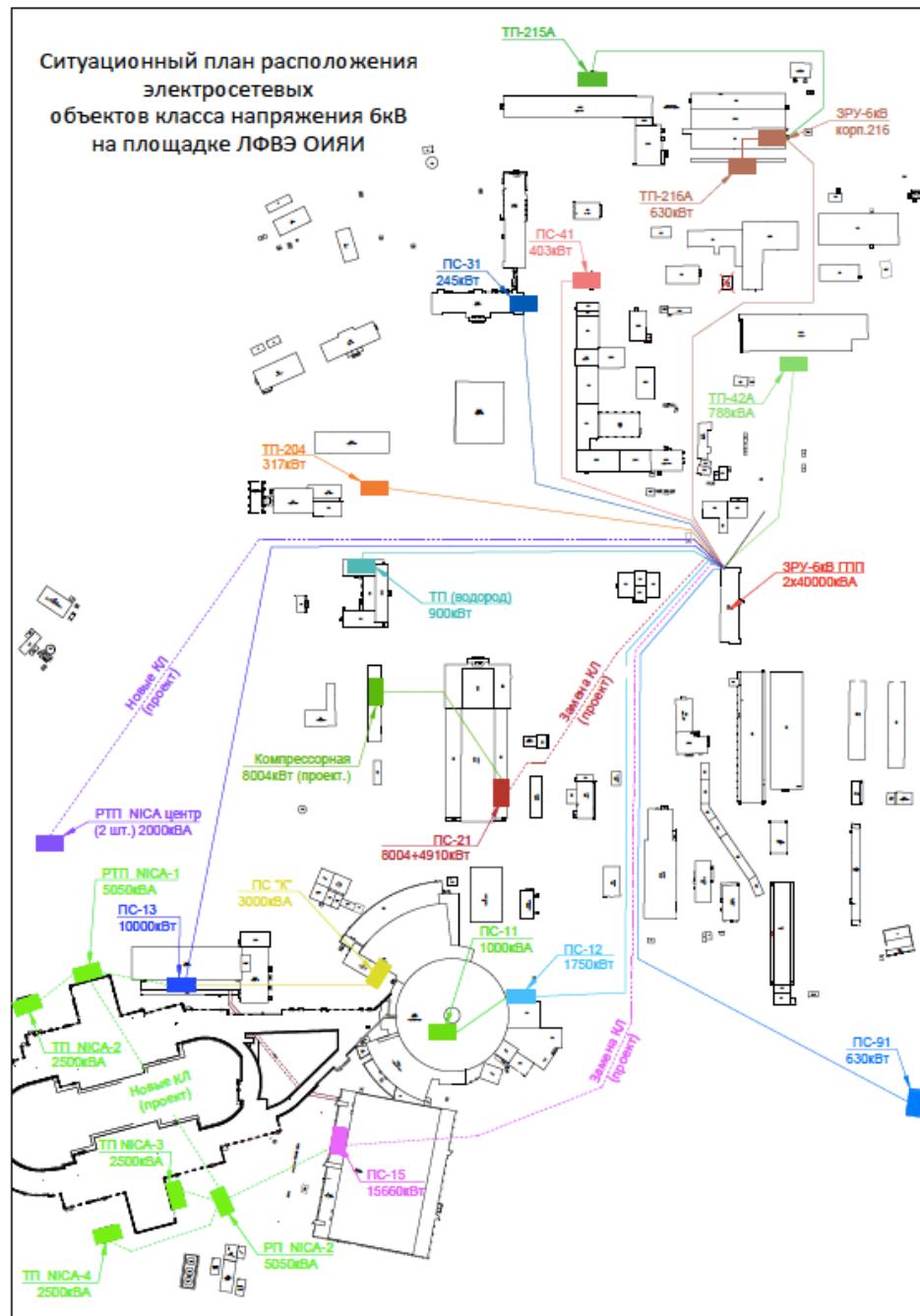


Рис. 8.3.1. План расположения электросетевых объектов на площадке ЛФВЭ

В связи с размещением ряда новых объектов в районе корпуса №2 площадки, требуется комплексная реконструкция с увеличением мощности, расположенной в этом здании подстанции 21. В рамках реконструкции необходимо создание точек для технологического присоединения к электросети площадки новой криогенно-компрессорной станции и IT-кластера Online-фермы, расположенной в корпусе №14, а так же повышение надежности электроснабжения объектов действующей инфраструктуры корпуса №2, существующих компрессорных агрегатов криогенного комплекса и подстанции №91 «Водозабор». В рамках реконструкции подстанции предполагается разделение потребителей по характеру нагрузок на объекты инфраструктуры и электроприводную компрессорную часть, которая будет оборудована системой плавного безударного пуска. Данное решение обеспечит надежное функционирование системы электроснабжения инфраструктурных объектов и криогенной системы исключив негативное влияние пусковых процессов высоковольтных двигателей на электросети площадки ЛФВЭ.

Для модернизации системы электропитания магнитных элементов экспериментального зала корпуса №205, а так же создания точек технологического присоединения строящегося здания №17 комплекса NICA требуется реконструкция расположенной в этом корпусе подстанции №15. Характер нагрузок потребителей подстанции изменяется, вместо используемых ранее кремниевых выпрямителей класса напряжения 6кВ используется современная преобразовательная техника класса напряжения до 1кВ. На период реконструкции системы электропитания электроснабжение действующих источников питания магнитных элементов сохраняется.

В корпусе 216 расположена off-line компьютерная ферма ЛФВЭ комплекса NICA, для питания которой необходимо выполнить реконструкцию подстанции 216 с заменой вышедшего из строя силового трансформатора.

Проектируемые распределительные пункты и подстанции комплекса NICA обеспечат электроснабжение технологического и научно-исследовательского оборудование комплекса в полном объеме по II категории надежности после реконструкции головного питающего центра ГПП-1 110/6кВ ПС №134 «Дубна». Точками присоединения объектов системы электроснабжения комплекса NICA являются модернизированная подстанция №13 корпуса №1А и требующая реконструкции подстанция №15 корпуса №205.

Кроме того, необходимо обеспечить точки подключения к внутриплощадочным сетям проектируемых зданий Комплекса инновационных разработок «Центр NICA». Для электроснабжения зданий проектом предусматриваются две подстанции суммарной мощностью до 2000кВА.

Для решения автоматизации процесса управления и контроля состояния электрических сетей площадки ЛФВЭ необходима установка и внедрение комплекса АСУ ТП на базе микропроцессорных систем управления.

8.3.3. Индуктивный накопитель энергии на 3МДж из высокотемпературного сверхпроводника

Для создания ультрапрецизионных высокодинамичных систем питания током СП магнитных структур большой мощности целесообразно иметь буферный накопитель энергии. Применение накопителя энергии в системе питания СП ускорителей проекта NICA обусловлено:

- необходимостью разгрузки сетевой энергетической инфраструктуры, перегонка по которой мегаваттных мощностей приводит к потерям энергии в линиях сети и ухудшению качества электроснабжения других потребителей;
- требованием убрать сетевые гармоники в источнике энергии для создания более благоприятных условий получения ультрапрецизионных параметров тока в СП магнитах ускорителей;
- необходимостью оптимизировать объем требуемой энергии в накопителе при циклическом противофазном режиме работы Бустера и Нуклotronа;
- задачей упрощения технологии процесса рекуперации энергии.

В таблице 8.3.1 приведены основные параметры магнитных систем Бустера и Нуклotronа, определяющие характеристики накопителя энергии NICA.

Таблица 8.3.1.

Параметры	Значения	
	Бустер	Нуклotron
Суммарная индуктивность сверхпроводящих магнитов, L [мГн]	31	120
Максимальный рабочий ток (поле), I _{max} [А] (B _{max} [Тл])	10 (1,8)	6,0 (2,0)
Напряжения источников тока, [В]	260	450
Относительная точность тока: - при $dI/dt \neq 0$ - при $dI/dt = 0$	$2 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-5}$
Форма, длительность и повторяемость цикла, [с]	См. рис. 8.3.1 а), постоянно повторяется, без скважности	См. рис. 8.3.1 б), постоянно повторяется, без скважности
Максимальная линейная скорость изменения тока, dI/dt [кА/с]	6,7	3,0
Энергия, накапливаемая за каждый полуцикл (при подъёме тока), [МДж]	1,6	2,16
Пиковая мощность источника тока, необходимая для создания указанных выше циклов, P [МВт]	2,16	2,7

На рисунке 8.3.1 приведена синхронизация циклов магнитных полей Бустера и Нуклotronа. На рисунке 8.3.2 приведено изменение по времени цикла запасенной энергии в Бустере, Нуклotronе и их суммарной энергии.

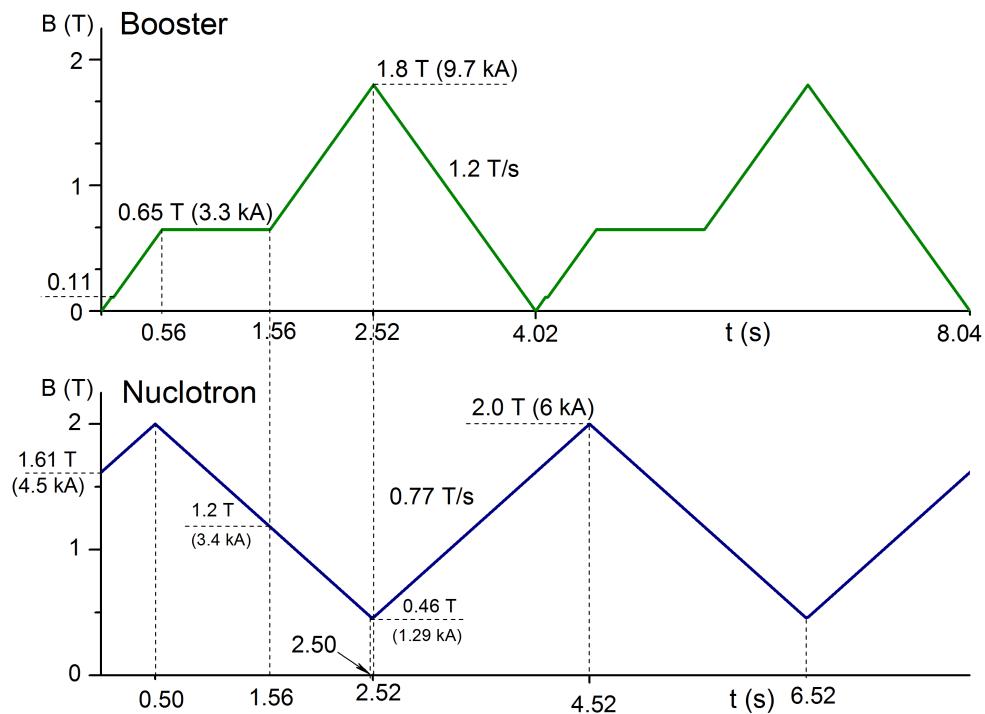


Рис. 8.3.1. Синхронизация циклов магнитных полей Бустера (вверху) и Нуклotronа (внизу).

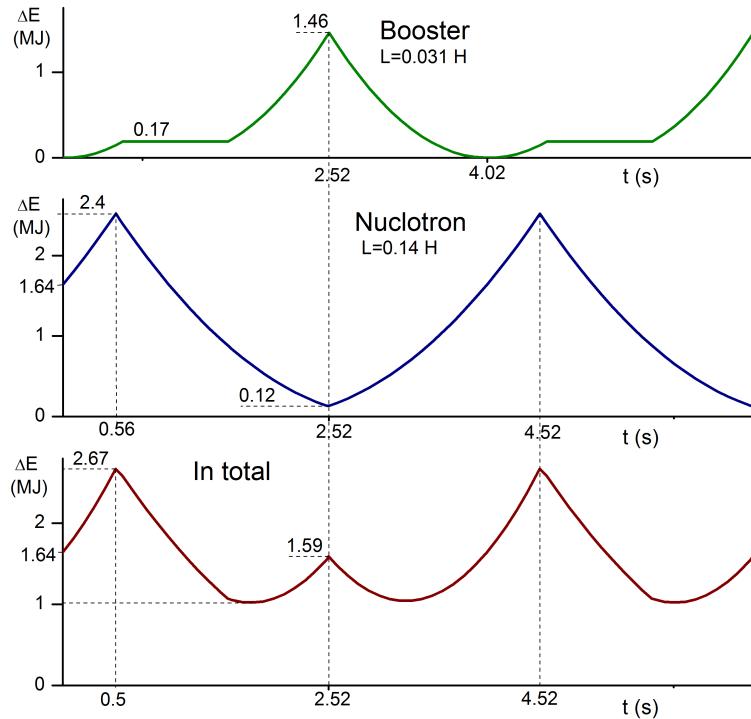


Рис. 8.3.2. Изменение по времени цикла запасенной энергии в Бустере (вверху), Нуклotronе (в середине) и суммарной энергии (внизу).

Особенности работы источников тока в циклическом режиме при формировании полей в СП-магнитах:

- максимальное потребление энергии при подъеме тока, при этом напряжение на источнике имеет максимальное значение,
- минимальное потребление энергии на плато тока, при этом напряжение на источнике имеет минимальное значение,
- рекуперация энергии при выводе тока, при этом напряжение на источнике имеет максимальное отрицательное значение.

Из рисунка 8.3.2 видно, что энергия, запасенная в накопителе NICA, должна составлять около 3 МДж.

Инфраструктура энергообеспечивающих и энергосберегающих инженерных систем относится к Базовой конфигурации комплекса NICA, кроме СП накопителя энергии, который является частью Полной конфигурации Комплекса.

Подготовлена программа технического перевооружения и развития внутриплощадочных сетей 6 кВ площадки ЛФВЭ. Соответствующий документ, который содержит детальное описание электросетевых объектов и систем, графики очередности их создания, реконструкции и ввода в эксплуатацию, а также описание СП накопителя энергии, находится в службе Главного инженера ЛФВЭ ОИЯИ.

8.4. Высокотехнологичная линия сборки и испытаний СП магнитов.

8.4.1. Назначение линии

Линия предназначена для изготовления СП обмоток различной конфигурации, сборки обмотки с ярмом, электрических, вакуумных, магнитных и криогенных испытаний магнитов для проектов NICA и FAIR. В рамках проекта «Комплекс NICA» должны быть изготовлены и исследованы дипольные, квадрупольные и корректирующие СП магниты Бустерного синхротрона и Коллайдера, а также СП магнит индукционного накопителя энергии на 3 МДж.

8.4.2. Технологические участки и их оснащение

Линия сборки и испытаний сверхпроводящих (СП) магнитов включает в себя следующие технологические участки (рис. 8.4.1, слева):

- изготовления сверхпроводящего кабеля с рабочим током до 11 кА;
- прецизионной намотки и запекания сверхпроводящих обмоток;
- прецизионного входного контроля комплектующих магнитов;
- высокоточной сборки обмотки с ярмом;
- измерения качества магнитного поля с относительной точностью не менее $1 \cdot 10^{-4}$;
- испытаний на вакуумную плотность каналов с жидким гелием и азотом с чувствительностью $1 \cdot 10^{-9}$ Па \cdot м 3 /с и выше;
- монтажа магнита в криостат;
- комплексных криогенных испытаний магнитов на основе трех гелиевых сателлитных рефрижераторов холодопроизводительностью 100 Вт на уровне 4,5 К каждый (рис. 8.4.1, справа);
- малошумящих источников импульсного электрического питания до 15 кА.

Потребность в СП магнитах для Бустера и Коллайдера комплекса NICA приведена в таблице 8.4.1.

Таблица 8.4.1

Потребность в СП магнитах для Бустера и коллайдера NICA

Наименование	Количество
Бустерный синхротрон	
Дипольный магнит	40 +1
Квадрупольный магнит	48 +1
Дипольный корректор	24
Мультипольный корректор	8
Коллайдер	
Дипольный магнит	80 + 1
Квадрупольный магнит	86 +1
Квадрупольный магнит финального фокуса	12
Магнит сведения/разведения пучков	8
Мультипольный корректор	136

Расход жидкого гелия и жидкого азота на испытание одного дипольного магнита Бустера NICA составит 800 л и 3400 л соответственно. Расход жидкого гелия и жидкого азота на испытание одного дипольного магнита Коллайдера NICA составит 1500 л и 4700 л соответственно. Планируемый темп проведения криогенных испытаний при температуре 4,5 К составляет от 4 до 9 магнитов в месяц в зависимости от типа магнита, его массы и гидравлического сопротивления охлаждающих каналов.

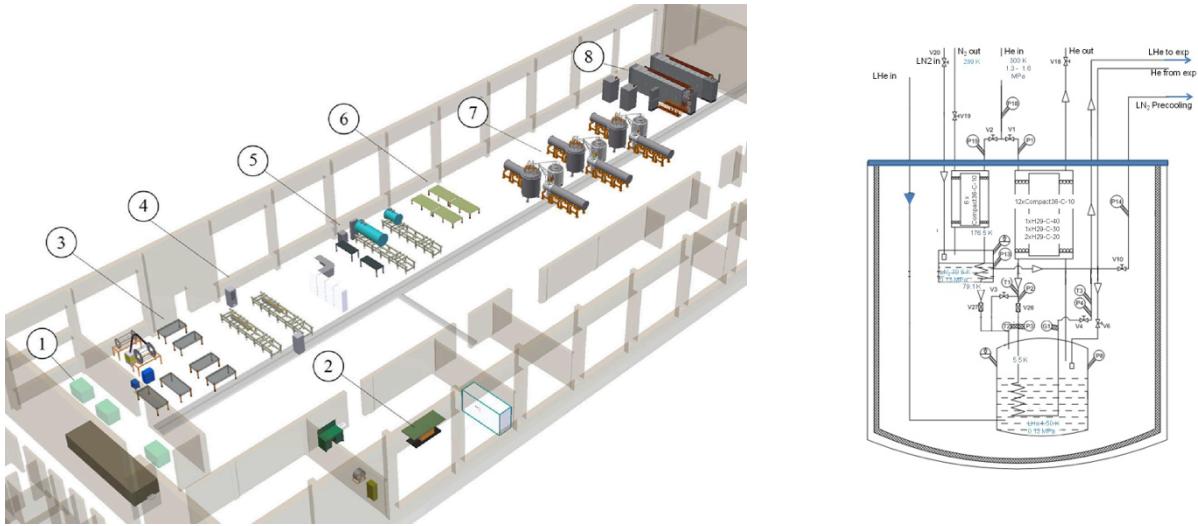


Рис. 8.4.1 План расположения участков высокотехнологичной линии сборки и испытаний сверхпроводящих магнитов (слева) и технологическая схема сателлитного гелиевого рефрижератора (справа). Обозначения на рисунке: 1 - изготовления СП кабеля; 2 - изготовления СП обмоток; 3 - сборки обмотки с ярмом; 4 - магнитных измерений; 5- вакуумных испытаний; 6 - монтажа магнита в криостат; 7 - криогенных испытаний на основе гелиевых сателлитных рефрижераторов; 8 -источников питания.

Основное оборудование линии сборки и испытания СП магнитов приведено в Таблице 8.4.1.

Таблица 8.4.1
Основное оборудование линии сборки и испытания СП магнитов

№ п/п	Наименование	Характеристика	Кол-во
1	Машина для производства СП кабеля	30 м/час	1
2	Станок для намотки СП обмотки	от 0,5м до 3 м	4
3	Печь для запекания обмоток	3,5 м и 6,5 м	2
4	Система прецизионного контроля геометрических размеров изделий	15 мкм	2
5	Стол для сборки магнитов, сварки и пайки гелиевых охлаждающих каналов	3 м	4
6	Высоковакуумный объем для контроля герметичности изделия	6 м, Ду 800	1

7	Система измерения качества магнитного поля на длине	от 0,5м до 3 м	8
8	Сателлитный гелиевый рефрижератор	100 Вт/4,5 К	3
9	Емкость для хранения жидкого азота	10 м ³	2
10	Сосуд Дьюара для жидкого гелия	1000 л	3
11	Криостат ввода криогенных жидкостей	Ду 800	6
12	Тоководы из высокотемпературного сверхпроводника	12 кА DC	12
13	Система контроля и управления криогенными параметрами	TANGO	3
14	Система обнаружения нормальной зоны и эвакуации энергии из СП магнита	до 200 мс	3
15	Источник электрического питания регулярных магнитов	15 кА/20 В	2
16	Источник электрического питания корректирующих магнитов	260 А/90 В	2

Высокотехнологичная линия создается в три этапа:

1. Стартовая конфигурация: два плеча для криогенных испытаний магнитов – 2014 год.
2. Базовая конфигурация: 6 плеч для параллельных криогенных испытаний магнитов – 2016 год.
3. Полная конфигурация – 2019 год.

Высокотехнологичная линия сборки и испытаний СП магнитов относится к Стартовой конфигурации комплекса NICA.

Площадь размещения линии сборки и испытаний СП магнитов - около 2200 м². Место расположения – корпус 217 площадки ЛФВЭ.

9. План создания объектов комплекса *NICA*

(Обозначение: С – Стартовая конфигурация, Б – Базовая конфигурация, П – Полная конфигурация объекта)

Раздел паспорта	Название объекта	Дата готовности, год									
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1.	Научная программа										
2.	Ускорительный блок						Б		П		
2.2	Инжекционный блок для легких ионов		С		Б					П	
2.3	Инжекционный блок для легких ионов		С			Б	П				
2.3.1	Источника тяжелых ионов КРИОН-6Т	С		Б		П					
2.3.2	HILAc	С			Б		П				
2.3.3	Каналы транспортировки пучков				С	Б	П				
2.4	Бустер				С	Б	П				
2.5	Нуклонрон	С			Б		П				
2.5	Коллайдер					С		Б	П		
3.	Установка MPD					С		Б		П	
3.6	Тестовая зона и тестовый канал MPD	С	Б					П			
4.	Установка BM@N	С			Б	П					
5.	Установка SPD										С
5.3	Тестовая зона				С	П					
6	Инновационный блок						С	Б	П		
6.2	Каналы транспортировки пучков						С	Б	П		
6.3	Станция СОДИТ						С	Б	П		
6.4	Станция СОКИТ					С		Б	П		
6.5	Станция СОДИБ						С	Б	П		
6.6	Станция для релятивистской ядерной энергетики						С	Б	П		

7.	Компьютерный блок и компьютерные сети									
7.1	On-line кластер	С			Б			П		
7.2	Off-line кластер ЛФВЭ	С		Б			П			
7.3	Off-line кластер Центра NICA			С		Б		П		
7.4	Off-line кластер ЛИТ		С		Б			П		
8.	Инфраструктура									
8.1	Строительная инфраструктура									
8.1.1	Здание №17 с павильонами	С		Б		П				
8.1.2	Здание ККС		С		Б	П				
8.1.3	Здание Центра NICA			С		Б	П			
8.1.4	Корпус №1			Б		П				
8.1.5	Корпус №1А									
8.1.6	Корпус №1Б									
8.1.7	Корпус №4									
8.1.8	Корпус №14			С	Б			П		
8.1.9	Корпус №32		С	Б	П					
8.1.10	Корпус №42		С	Б	П					
8.1.11	Корпус №203А									
8.1.12	Корпус №205	С	Б		П					
8.1.13	Корпус №216			С	Б			П		
8.1.14	Корпус №217	П								
8.2	Криогенная инфраструктура	Б				П				
8.3	Инфраструктура энергетических систем	С			Б		П			
8.4	Линия сборки и испытаний СП магнитов	Б		П						