

# ОТЧЕТ

**о состоянии и ходе выполнения мега-проекта  
«Комплекс сверхпроводящих колец  
на встречных пучках тяжелых ионов»  
(Комплекс NICA)**

**на 01.01.2018 года**

Дубна, 29 декабря 2017 года

## **Содержание:**

Введение

1. Основные цели проекта «Комплекс NICA»
2. История вопроса
3. Схема базовой конфигурации и основные характеристики комплекса NICA
4. Международное сотрудничество
5. Статус реализации базовой конфигурации комплекса
  - 5.1 Объекты ускорительного блока
    - 5.1.1 Нуклотрон и каналы
    - 5.1.2 Инжекционный комплекс
    - 5.1.3 Бустерный синхротрон
      - 5.1.3.1 Технологический участок сборки, испытаний и сертификации сверхпроводящих магнитов для ускорителей комплексов NICA и FAIR
      - 5.1.3.2 Основные объекты Бустера
    - 5.1.4 Коллайдер
  - 5.2 Экспериментальные установки
    - 5.2.1 MPD
    - 5.2.2 BM@N
    - 5.2.3 SPD
  - 5.3 Научно-исследовательский и инженерный блок
    - 5.3.1 Здание коллайдерного комплекса
    - 5.3.2 Центр NICA
    - 5.3.3 Экспериментальный павильон и зоны для прикладных исследований
    - 5.3.4 Криогенный комплекс
    - 5.3.5 Инфраструктура энергообеспечивающих и энергосберегающих инженерных систем

## 5.4 Инновационный блок

5.4.1 Каналы и зоны для проведения инновационных и прикладных исследований

## 5.5 Компьютерно-информационный блок

5.5.1 Информационно-вычислительный комплекс

5.6 Динамические характеристики влияния проекта NICA на расширение сотрудничества и вовлечения новых участников в проект

5.7 Организационное и финансовое обеспечение работ

Заключение

Приложение

3. Оценка перспектив реализации мегапроекта.

## **Введение**

Проект класса мега-сайенс «Комплекс NICA», реализуется в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в соответствии с планами развития Института и Соглашением 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 (далее – Соглашения). Работы по созданию базовой конфигурации комплекса NICA проводятся по всем его объектам в соответствии с Соглашением (Приложение 1) с использованием утвержденных бюджетных средств ОИЯИ, целевых средств РФ, предусмотренных Соглашением, и вкладов других участников проекта.

### **1. Основные цели проекта «Комплекс NICA»**

Целью проекта «Комплекс NICA» (далее – Комплекс) является создание на территории Российской Федерации экспериментальной базы мирового уровня для проведения фундаментальных исследований по ряду наиболее актуальных вопросов современной физики высоких энергий и прикладных исследовательских работ с применением пучково-радиационных технологий для развития микроэлектроники и решения ряда медико-биологических и материаловедческих задач, обеспечению участия в этих исследованиях ученых из научных организаций стран-участниц мегапроекта.

В процессе реализации определенной в Соглашении базовой конфигурации Комплекса создаются, будут эксплуатироваться и развиваться следующие основные объекты комплекса:

#### Ускорительный блок, включающий

- сверхпроводящий синхротрон Нуклотрон и каналы вывода и перевода пучков;
- инжекционный комплекс (источники ионов и поляризованных частиц, линейные ускорители);
- сверхпроводящий синхротрон-бустер;
- сверхпроводящие кольца коллайдера тяжелых ионов и поляризованных частиц;

#### Экспериментальные установки, в том числе

- MPD - для проведения исследований плотной барионной материи на встречных пучках коллайдера NICA;
- BM@N - для проведения физических исследований по изучению плотной барионной материи на выведенных пучках Нуклотрона;

- SPD - для изучения спиновой структуры нуклона на встречных поляризованных пучках коллайдера NICA;

#### Научно-исследовательский и инженерный блок, включающий

- здания коллайдерного комплекса и экспериментальные павильоны для детекторов MPD и SPD;
- центр инновационных разработок проекта «Комплекс NICA» - Центр NICA;
- экспериментальный павильон и зоны для прикладных исследований;
- криогенный комплекс;
- инфраструктура энергообеспечивающих и энергосберегающих инженерных систем;

#### Инновационный блок, включающий

- каналы и зоны для проведения инновационных и прикладных исследований на линейных ускорителях и на выведенных пучках Нуклотрона;
- Компьютерно-информационный блок, включающий
  - информационно-вычислительный комплекс для хранения, обработки и анализа накопленных экспериментальных данных с сетевой инфраструктурой и набором информационных сервисов.

## **2. История вопроса**

В Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна Московской области) с 2010 г. создается ускорительно-экспериментальный комплекс под общим названием NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility), нацеленный на решение наиболее важных проблем современной физики высоких энергий и инновационных проектов. Создание этого комплекса финансируется из консолидированного бюджета 18-и стран-участниц ОИЯИ, включая Россию.

Создаваемый комплекс станет основой современной научно-исследовательской инфраструктуры класса мегасайенс, которая реализуется на территории России. Финансирование этого мегапроекта предусмотрено бюджетом ОИЯИ и государственной программой Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 гг. в рамках основного мероприятия 4.2 «Реализация на территории Российской Федерации проектов создания крупных научных установок класса мегасайенс» Подпрограммы 4 «Развитие межотраслевой инфраструктуры сектора исследований и разработок».

Создание Комплекса NICA позволит эффективно решать задачи, определенные Распоряжением Правительства Российской Федерации от 8

декабря 2011 г. № 2227-р, которым утверждена «Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года», определено восстановление лидирующих позиций российской фундаментальной и прикладной науки на мировой арене, а также принятым в январе 2012 документом «Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу». Будет достигнуто существенное продвижение к достижению стратегической цели государственной политики России - обеспечению к 2020 г. мирового уровня научных и инженерных исследований и разработок, а также глобальной конкурентоспособности Российской Федерации на направлениях, определенных национальными научно-технологическими приоритетами.

Создание ускорительно-экспериментального комплекса NICA в ОИЯИ, находящемся на территории Российской Федерации, является уникальной возможностью получить поддержку (в том числе и финансовую) международного научного сообщества для скорейшего включения России в высокотехнологичные фундаментальные и инновационные исследования. Результатом таких работ станет создание центра притяжения мирового интеллектуального ресурса в Россию. Создание Комплекса NICA изменит не только научную, но также социальную и общекультурную среду.

Определяющее участие России в создании этого комплекса, зафиксированное в Соглашении, имеет четкие мотивы и цели: сокращение сроков получения намеченных прорывных фундаментальных результатов, а значит вхождение России в число ведущих мировых держав в области физики высоких энергий и прикладных исследований, поднятие её престижа в научном сообществе, обретение определяющей роли в выборе стратегии и применении полученных в этой области результатов. Интересы России напрямую связаны с её значимой ролью в создании Комплекса NICA.

### **3. Схема базовой конфигурации и основные характеристики комплекса NICA**

Схема базовой конфигурации комплекса NICA приведена на рисунке 1. На комплексе NICA можно будет ускорять и сталкивать тяжелые ионы, вплоть до ионов золота, в оптимальном диапазоне энергий, от минимальных - в зоне выведенных пучков, до максимально необходимых -  $\sqrt{s_{NN}} = 11$  ГэВ (для  $Au^{+79}$ , в системе центра масс нуклон-нуклон) на коллайдере при средней светимости  $L = 10^{27} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ , что позволит исследовать ядерную материю в состоянии максимальной барионной плотности, недоступной для исследований в других лабораториях мира.

В дополнение к этому на коллайдере будут ускоряться и сталкиваться протоны и дейтроны с продольной и поперечной поляризацией в диапазоне энергий до  $\sqrt{s_{NN}} = 27$  ГэВ и  $\sqrt{s_{NN}} = 12,6$  ГэВ, соответственно, при светимости до  $10^{31}$  см<sup>-2</sup>сек<sup>-1</sup>. Эти условия обеспечат приоритет в области исследований спиновой структуры нуклона и выяснения важнейших вопросов природы спина.

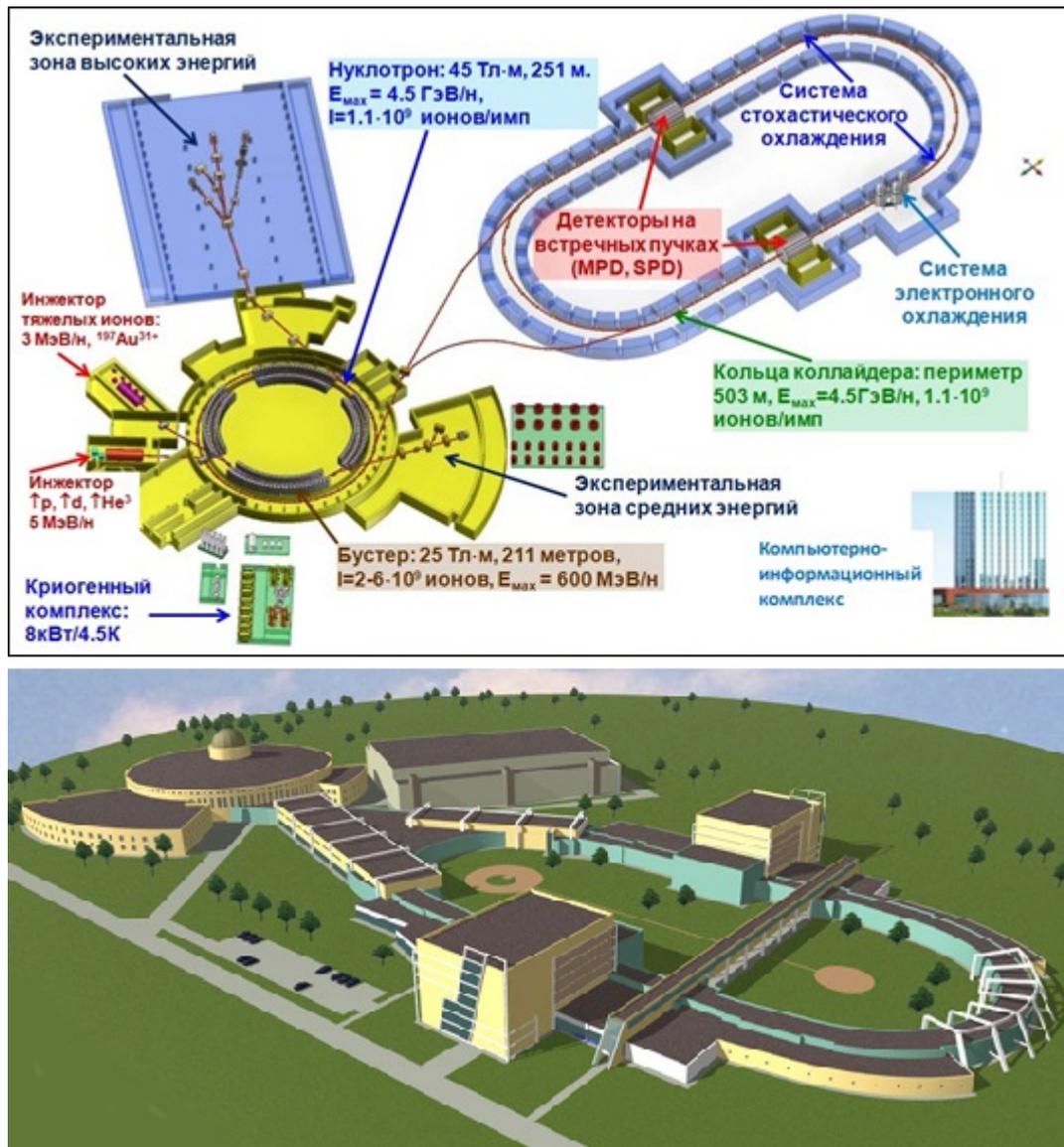


Рис. 1. Схема базовой конфигурации комплекса NICA: сверху – основные элементы комплекса и базовые параметры; внизу – архитектурный комплекс существующих зданий (Нуклотрона и павильона для экспериментов на выведенных пучках) и строящегося здания 17, в котором будут размещены коллайдер и две установки MPD и SPD.

Регулярно обновляемая информация о комплексе NICA и статусе его создания размещена на сайте: <http://nica.jinr.ru>. Более детальные технические сведения по ускорительной части комплекса NICA приведены на сайте

<http://nucloweb.jinr.ru/nica/TDR.html>,

научная программа («Белая книга»): <http://nica.jinr.ru/files/WhitePaper.pdf>,

проекты детекторов BM@N и MPD:

[http://nica.jinr.ru/files/BM@N/BMN\\_CDR.pdf](http://nica.jinr.ru/files/BM@N/BMN_CDR.pdf),

[http://nica.jinr.ru/files/CDR\\_MPD/MPD\\_CDR\\_en.pdf](http://nica.jinr.ru/files/CDR_MPD/MPD_CDR_en.pdf),

и предложение проекта SPD: [http://nica.jinr.ru/files/Spin\\_program/spd-v21.pdf](http://nica.jinr.ru/files/Spin_program/spd-v21.pdf).

#### **4. Международное сотрудничество**

Решение о создании комплекса NICA в рамках 7-го плана развития ОИЯИ на 2010 – 2016 годы было принято на сессии Комитета Полномочных Представителей правительств государств-членов ОИЯИ, состоявшейся 19-21 ноября 2009 года. Комплекс NICA создаётся специалистами ОИЯИ с привлечением наиболее авторитетных экспертов из других научных центров в рамках широкого международного сотрудничества.

По проекту NICA подписан ряд соглашений о сотрудничестве на различных уровнях.

- **Германия**

Ассоциированный член ОИЯИ – Германия, в лице Федерального министерства образования и исследований (BMBF) присоединилась к реализации проекта NICA в соответствии с протоколами заседаний комиссии Координационного комитета по исполнению соглашения между BMBF и ОИЯИ о сотрудничестве в использовании установок ОИЯИ от 22-23 февраля 2010 г. и от 7-8 февраля 2011 года.

Подписаны следующие соглашения:

1. Memorandum of Understanding between Forschungszentrum Jilich GmbH, Julich, Germany (JUI-ICH) and Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia (JINR) on the extension and expansion of their mutual scientific cooperation.

2. Memorandum of understanding for Cooperation in the Investigation of Hot and Dense Baryonic Matter and in the Development of the GSI and JINR Center

Facilities between The Helmholtz Association of German Research Centers and the Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH and JINR, Dubna.

3. Memorandum of understanding for Cooperation in the Investigation of Hot and Dense Baryonic Matter and in the Development of the GSI and JINR Accelerator Facilities.

4. Agreement for research cooperation between the Helmholtz International Center for FAIR (HIC for FAIR) and the NICA Center of the Joint Institute for Nuclear Research Dubna.

- **ЮАР**

На 10-м заседании Объединенного Координационного комитета по сотрудничеству между Департаментом науки и технологий ЮАР и ОИЯИ одобрено принятое ранее решение (октябрь 2011 г.) о создании Совместной Рабочей Группы (СРГ) по проекту NICA с целью определения областей для участия в этом проекте ученых и промышленных предприятий ЮАР.

- **ЦЕРН**

В 2010 году подписано соглашение CERN-ОИЯИ № ICA-RU-0111, предусматривающее поддержку работ по созданию комплекса NICA в ОИЯИ. Ведутся совместные работы по разработке и созданию детекторов и подсистем с использованием имеющихся у CERN передовых технологий. В настоящее время готовится пакет документов для присвоения эксперименту MPD проекта NICA статуса CERN Recognized Experiment.

- **Беларусь**

В 2013 году подписано соглашение между ОИЯИ и Государственным комитетом по науке и технологиям республики Беларусь о научно-техническом сотрудничестве по проекту NICA.

- **КНР**

В декабре 2015 года во время 20-й регулярной встречи глав Правительств России и Китая было подписано четырехстороннее соглашение о сотрудничестве в рамках проекта NICA между Министерством науки и образования (МОН) РФ, Министерством науки и технологий (МОСТ) КНР,

Проект NICA вошел в состав международной исследовательской инфраструктуры.

- **ESFRI**

В 2015 году несколько европейских стран-участниц ОИЯИ – Болгария, Чехия, Словакия и Румыния – выступили с инициативой о включении проекта NICA в программу развития Европейского стратегического форума по исследовательским инфраструктурам (ESFRI) на 2016 год. В ходе рассмотрения проект получил поддержку ряда европейских стран, в том числе Германии, и был официально представлен к рассмотрению на заседании форума в Брюсселе в сентябре 2015 года, рекомендовавшем внести информацию о проекте «Комплекс NICA» в Дорожную Карту ESFRI как партнера проекта FAIR. В 2016 году проект «Комплекс NICA» был включен в описание Дорожной карты ESFRI как комплементарный с FAIR.

- **NUPEC**

В 2016 году проект “Комплекс NICA” включен в список научной инфраструктуры NUPEC.

Подписано следующее соглашение о намерениях.

В августе 2013 года в ОИЯИ состоялось первое Международное совещание «Перспективы сотрудничества в мегасайенс проекте NICA». Итогом встречи стало подписание Протокола о намерениях. Подписи под этим документом поставили представители правительств Беларуси, Болгарии, Германии, Казахстана, России и Украины.

Подписаны следующие соглашения о сотрудничестве с университетами и исследовательскими центрами:

- соглашение о научно-техническом сотрудничестве по проекту NICA между ОИЯИ и институтом физики плазмы Китайской академии наук;
- соглашение с академией наук Израиля о научно-техническом сотрудничестве по проекту NICA;
- соглашение о сотрудничестве между ОИЯИ и Брукхавенской национальной лабораторией, BNL;
- протокол о выполнении совместной научно-исследовательской работы между Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ, г. Дубна) и Федеральным государственным унитарным предприятием «Государственный Научный Центр Российской Федерации – Институт физики высоких энергий» (ГНЦ ИФВЭ, г. Протвино);
- соглашение между ОИЯИ и Московским физико-техническим институтом (государственным университетом) о развитии

- сотрудничества в области образовательной и научной деятельности;
- соглашение о научно-техническом сотрудничестве между Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» и ОИЯИ;
  - генеральное соглашение о сотрудничестве между Федеральным Государственным учреждением Российский научный центр «Курчатовский институт» и Международной межправительственной научно-исследовательской организацией «Объединенный институт ядерных исследований»;
  - договор о сотрудничестве между ОИЯИ и Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования Московской области «Международный университет природы, общества и человека «Дубна»;
  - соглашение о сотрудничестве между Scuola Internazionale Superiore Di Studi Avanzati (SISSA, Trieste, Italy), РАН и ОИЯИ;
  - соглашение между ОИЯИ и Варшавским техническим университетом о сотрудничестве и создании на базе этого университета 'Team for the Future of the NICA'»;

Ведущие специалисты Европы, Азии и Америки принимают участие в работе научно-консультативных органов, контролирующих ход реализации проекта NICA по созданию экспериментальных установок - Detector Advisory Committee, и ускорительного блока - Machine Advisory Committee.

В реализации проекта NICA активно участвует ряд российских научных институтов и организаций:

- Институт ядерных исследований РАН,
- Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,
- РНЦ Курчатовский Институт,
- НИИ Ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ,
- ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,
- ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики,
- Научно-исследовательский и конструкторский институт электротехники им. Н.А. Долежала,
- ФГУП Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина,
- Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. А.А. Бочвара,
- ОАО "Композит",
- Институт бериллия,
- ОАО "НПО ГЕЛИЙМАШ",
- ОАО "Казанькомпрессормаш",

- Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева,
- Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
- Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск
- Санкт-Петербургский государственный университет
- Санкт-Петербургский политехнический институт
- Радиевый институт имени В. Г. Хлопина, Санкт-Петербург
- МИФИ
- ООО ПП «СПЕЦМАШ»
- ЗАО «Комета»
- Институт медико-биологических проблем РАН
- ООО «НПП ЛМ Инвертор»

Организации и университеты участвующие в реализации проекта NICA из государств не являющихся членами ОИЯИ:

**Австралия:** Сиднейский Университет;

**Австрия:** компания Штрабах;

**Китай:**

1. ИФВЭ (Пекин) ;
2. Китайский университет наук и технологий, кафедра современной физики (Хэфей) ;
3. Институт физики плазмы КАН, Хэфей;
4. Институт современной физики, Ланьчжоу;
5. Университет Цинхуа, Пекин.

**Франция:** Центр ядерной физики, Сакле;

**Германия:**

1. GSI (коллаборация FAIR),
2. HESR (FAIR),
3. COSY (FZJ)
4. Исследовательский центр (Юлих),
5. HESR, NESR, RESR,
6. Дармштадский технический университет,
7. Kernchemie Institute (Philipps Universitat)

**Греция:** Университет им. Аристотеля, Салоники

**Индия:**

1. Исследовательский атомный центр им. Х.Дж.Бхабха,
2. Университет Раджастана

**Израиль:** Университет Тель-Авива

**Италия:** Национальный институт ядерной физики, Турин

**Япония:**

1. Центр ядерных исследований Токийского университета,
2. Университет Саитамы,
3. Институт физических и химических исследований (RIKEN, Вако)

**ЮАР:** Университет Кейптауна

**Сербия:** Vinca Institute of Nuclear Science

**США:**

1. BNL (RHIC),
2. Fermilab,
3. University of Michigan,
4. TJNAF (Newport News),
5. College of William and Mary (Williamsburg)
6. Массачусетский технологический институт (MIT)

В рамках реализации первой фазы научной программы NICA – эксперимент BM@N на выведенном пучке Нуклотрона, в 2017 году к коллаборации присоединилась группа физиков из MIT (США) и университета Тель-Авива.

## **5. Статус реализации базовой конфигурации комплекса.**

Создание базовой конфигурации комплекса NICA начато в конце 2013 года на этапе подготовки Соглашения к подписанию. На основании подготовленных концептуальных и технических проектов основных блоков базовой конфигурации Комплекса была определена ее стоимость в размере 17,5 млрд. рублей в ценах 2013 года.

До подписания Соглашения все работы по реализации базовой конфигурации проводились за счет бюджета ОИЯИ, а также с использованием ресурсов, полученных по соглашениям с ФРГ и ЮАР. После подписания Соглашения в июне 2016 года, поступления целевых средств РФ и создания Наблюдательного совета проекта используются также целевые средства РФ. Среди крупных контрактов, реализация которых была начата ОИЯИ до подписания Соглашения, следует отметить контракт на проектирование здания 17 для размещения тяжелоионного коллайдера NICA и установок MPD и SPD на площадке ЛФВЭ ОИЯИ г. Дубне с частичной реконструкцией здания Нуклотрона, контракт от 18 сентября 2015 года с генподрядчиком на строительство здания 17, контракт на разработку технической документации на большой сверхпроводящий соленоидальный магнит установки MPD, контракт на создание катушек, всей холодной массы этого магнита, системы управления и его инженерной инфраструктуры, контракт с производителем железного ярма и опор магнита и ряд других более мелких контрактов.

Суммарно на создание элементов базовой конфигурации комплекса NICA до 2016 года было затрачено 2,8 млрд. руб. Информация о статусе создания объектов базовой конфигурации комплекса NICA приведена ниже.

### **5.1. Объекты ускорительного блока.**

#### **5.1.1. Нуклотрон и каналы.**

Основой создаваемого комплекса NICA является сверхпроводящий синхротрон - ускоритель тяжелых ионов и поляризованных легких ядер Нуклотрон. Главные параметры этого ускорителя, которые должны быть достигнуты в ходе реализации комплекса NICA в его базовой конфигурации, приведены в таблице 1.

### Параметры Нуклотрона в базовой конфигурации комплекса NICA

Параметр	Значение
Типы ускоряемых частиц	p↑, d↑, ядра, вплоть до Au
Энергия инжекции, МэВ/н	5 - 7 - для p↑, d↑ 570-685 - для Au (из бустера)
Максимальная кинетическая энергия, ГэВ/н	12,07 (p↑); 5,62 (d↑) 4,38 (Au)
Магнитная жесткость, Тл м	25,00 – 43,25
Периметр, м	251,52
Цикл в коллайдерной моде, с	1,5 – 4,2 (активный); 5,0 (полный)
Вакуум, Торр	10 <sup>-9</sup>
Интенсивность пучка, Au ионов/импульс	1 · 10 <sup>9</sup>
Диапазон вариации частоты ВЧ, МГц	0,6 – 6,9 (p↑, d↑) 0,947 – 1,147 (ядра)
Продолжительность медленного вывода, с	до 10

В рамках проекта модернизации Нуклотрона усовершенствованы основные его подсистемы: система питания и защиты магнитов (рис. 2а), вакуумная система (пример на рис. 2б), система диагностики (рис.2в), системы электроснабжения (рис. 2г).



Рис. 2. Модернизированная система питания и защиты магнитов (а), один из элементов вакуумной системы (б), система диагностики (в) и электроснабжения (г) Нуклотрона.

На Нуклотроне впервые в России в конце 2013 года успешно испытана и применена на пучке система стохастического охлаждения пучка (рис. 3).

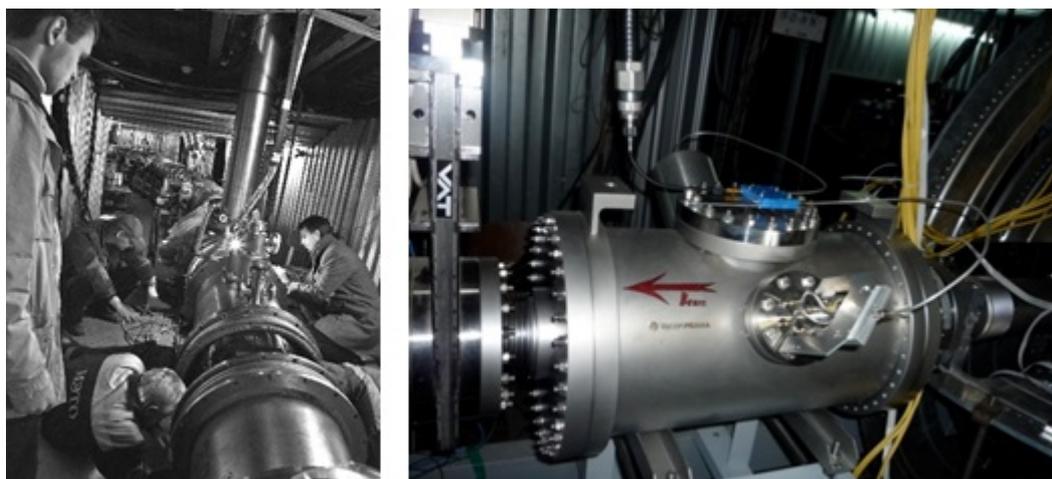


Рис. 3. Монтаж системы стохастического охлаждения ионного пучка в Нуклотрон

Завершена разработка и начато создание нового электростатического септума для медленного вывода пучка из Нуклотрона, и магнитного киккера для однооборотного вывода пучка. Их макеты показаны на рис. 4а и 4б, соответственно. Выполнен проект магнита Ламбертсона (рис. 4в).

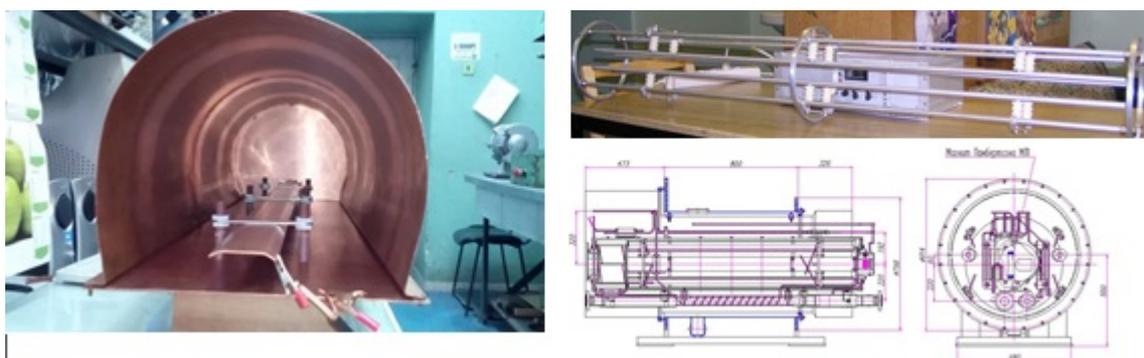


Рис. 4. Макеты электростатического септума с экраном (а) и магнитного киккера для однооборотного вывода (б); элемент проекта магнита Ламбертсона (в).

Разработан проект коренной модернизации систем электропитания магнитных элементов канала вывода пучка из Нуклотрона в Измерительный павильон (рис 5). Общая мощность системы питания - 3,2 МВА. Она включает в себя высоковольтное распределительное устройство РУ-6кВ, 3 трансформатора мощностью 1600МВА, низковольтное РУ 0,69кВ, 11 прецизионных источников тока в диапазоне от 600А до 4000А, сильноточные коммутаторы, автоматизированную систему управления. Запуск системы питания запланирован на конец 2018г.

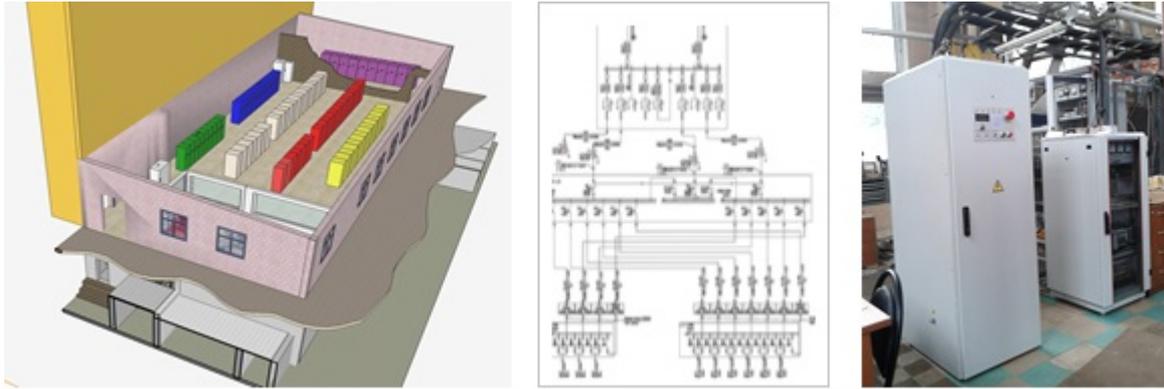


Рис. 5. Проект размещения оборудования системы питания в корпусе 1Б (слева), принципиальная схема энергообеспечения (в центре), прототипы источников (справа).

Модернизированы каналы вывода пучка (схема на рис. 6, слева) – магнитной и вакуумной систем, систем электро- и водоснабжения. Модернизирована магнитная система канала инжекции из линейного ускорителя ЛУ-20 в Нуклотрон (рис. 6, справа) спроектирован канал инжекции из Бустера в Нуклотрон (рис. 6, внизу).

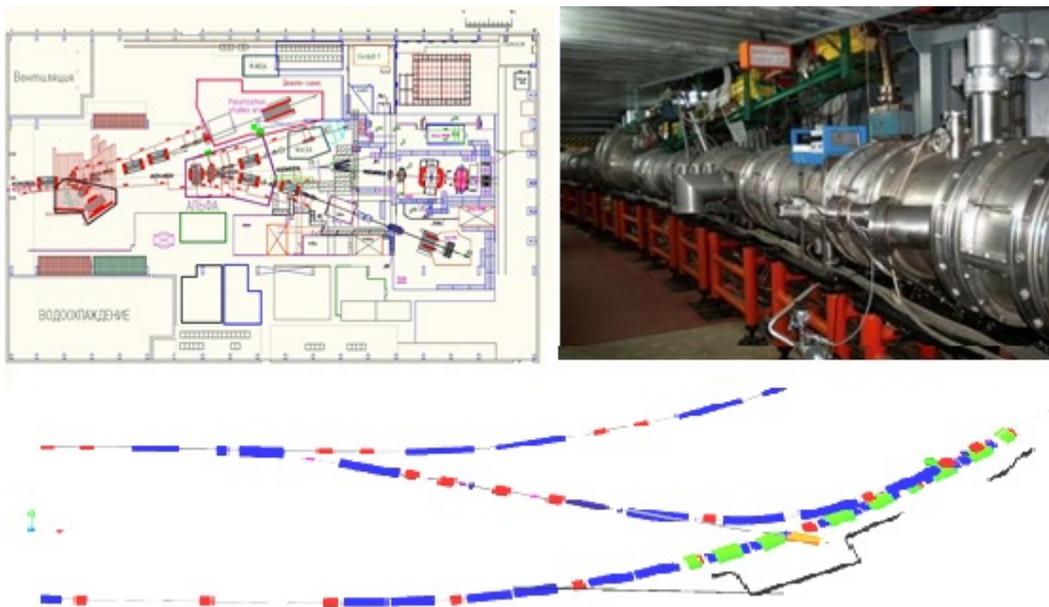


Рис. 6. Каналы вывода пучков из Нуклотрона в экспериментальный корпус №205 (слева) и канал инжекции из линейного ускорителя ЛУ-20 в Нуклотрон (справа); канал инжекции из Бустера в Нуклотрон (внизу).

Надежная работа Нуклотрона в двух сеансах его эксплуатации (2016 – 2017 годы) свидетельствует об успешном выполнении перечисленных выше работ. При ускорении легких ионов и поляризованных частиц достигнуты запланированные параметры ускорения. В соответствии с намеченной

программой увеличен доступный набор типов тяжелых ядер вплоть до Ксенона.

Полное завершение работ по достижению параметров Нуклотрона, указанных в таблице 1, а также параметров каналов планируется на 1-й квартал 2020 года.

### 5.1.2. Инжекционный комплекс

Инжекционный комплекс проекта NICA включает в себя набор из 4-х источников частиц и 2-х линейных ускорителей различного типа частиц. Перечень существующих и разрабатываемых источников частиц с указанием их основных параметров приведен в таблице 2.

Таблица 2.

Источники заряженных частиц комплекса NICA и их основные параметры

Источник	Лазерный источник	КРИОН-6Т	Источник поляризованных частиц	Дуоплазмотрон
Частицы	Легкие ионы до $Mg^{10+}$	$Au^{31+}$	$\uparrow H^+$ , $\uparrow D^+$	$H^+$ , $D^+$ , $He^{2+}$
Кол-во частиц за цикл	$\sim 10^{11}$	$\sim 2,5 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{11}$	$H^+$ , $D^+ \sim 5 \cdot 10^{12}$ $He^{2+} \sim 10^{11}$
Повторение, Гц	0,5	10	0,2	1

К настоящему времени завершены работы по подготовке к вводу в эксплуатацию лазерного источника (рис. 7, слева), электронно-струнного ионного источника КРИОН-6Т (рис. 7, в середине) и источника поляризованных частиц (рис. 7, справа).



Рис. 7. Действующие источники заряженных частиц комплекса NICA: лазерный (слева, на врезке – источник питания Nd-YAG лазера), электронно-струнный КРИОН-6Т (в середине) и поляризованных ионов (справа).

Все перечисленные источники испытаны в сеансах работы Нуклотрона 2015 – 2017 гг. и будут введены в эксплуатацию в 2018 году.

На стадии разработки находится новый высокоинтенсивный источник легких ядер – дуоплазмотрон, ввод в эксплуатацию которого намечен на 1-й квартал 2019 года.

В 2018 году в эксплуатацию будут введены полностью модернизированный линейный ускоритель ЛУ-20М и линейный ускоритель тяжелых ионов НІЛАС. Основные проектные параметры этих ускорителей приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Линейные ускорители частиц комплекса NICA и их основные параметры

Линейный ускоритель	ЛУ-20М	НІЛАС
	ВЧ + Альварец тип	ВЧ (1) + ИН DTL (2)
Отношение массы к заряду $A/Z$	1 - 3	1 - 6
Энергия инъекции, keV/amu	150 для $A/Z$ 1 - 3	17
Энергия вывода	5 для $A/Z$ 1 - 3	3,24 ( $A/Z = 6$ )
Входной ток, mA	до 20	До 10
Коэффициент захвата, %	50	90
Рабочая частота, МГц	145	100,625
Длина, м	22	11
Акцептанс, $\mu\text{мм}\cdot\text{мрад}$	220	88
Выходной эмиттанс (эффективный) $\mu\text{мм}\cdot\text{мрад}$	40	10

В 2016 г. было завершено создание и запущен в эксплуатацию современный форинжектор с высокочастотной пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой, заменивший старый высоковольтный электростатический форинжектор, проработавший более 40 лет. В мае 2016 пучок дейтронов от лазерного источника был успешно инжектирован из нового форинжектора в ЛУ-20 и ускорен до проектной энергии 5 МэВ/нуклон. Новый форинжектор и ускоритель ЛУ-20 (рис. 8, слева) эффективно использовались в сеансах Нуклотрона 2016 и 2017 годов. В 2017 году форинжектор был дополнен новым группирователем (рис. 8, справа), что позволило довести параметры модернизированного ЛУ-20 –ЛУ-20М, до проектных и, тем самым, завершить модернизацию этой части инжекционного блока.



Рис. 8. Новый форинжектор и линейный ускоритель ЛУ-20 после испытаний и перед началом летнего сеанса Нуклотрона 2016 г. (слева) и новый группирователь (справа).

В качестве линейного ускорителя тяжелоионной части инжекционного комплекса NICA будет использован созданный совместными усилиями специалистов ОИЯИ и фирмы BEVATECH (Германия) линейный ускоритель тяжелых ионов Heavy Ion Linear Accelerator HILAc – первый ускоритель такого типа с транзисторными генераторами ВЧ мощности (рис. 9). Физический запуск этого ускорителя был проведен осенью 2016 года. В ходе его испытаний достигнуты проектные параметры.



Рис. 9. Новый линейный ускоритель тяжелых ионов HILAc

### 5.1.3. Бустерный синхротрон

В качестве промежуточного ускорительного кольца комплекса NICA будет использован сверхпроводящий ускоритель-синхротрон – Бустер. Основные параметры этого ускорителя приведены в таблице 4.

## Основные параметры Бустера комплекса NICA

Параметр	Значение
Тип	Сверхпроводящий синхротрон
Частицы	Ионы $A/Z > 3$
Энергия инжекции, МэВ/н	3,2
Максимальная энергия, ГэВ/н	0,6
Магнитная жесткость, Тл м	1,6 – 25.0
Периметр, м	210,96
Цикл в коллайдерной моде, с	4,02 (активный); 5,00 (полный)
Вакуум, Торр	$10^{-11}$
Интенсивность ионов $^{197}\text{Au}^{31+}$ /цикл	$1,5 \cdot 10^9$
Интервал перестройки ВЧ, МГц	0,5 – 2,53
Длительность медленного вывода, с	до 10

Для производства модулей магнитно-криостатной системы бустера создан технологический участок сборки, испытаний и сертификации сверхпроводящих магнитов типа «Нуклотрон». На этом участке планируется также собрать все необходимые магниты для магнитно-криостатной системы коллайдера комплекса NICA, а также модули квадрупольных линз для синхротрона SIS-100 ускорительного комплекса FAIR в научном центре GSI (Дармштадт, Германия).

### **Технологический участок сборки, испытаний и сертификации сверхпроводящих магнитов для ускорителей комплексов NICA и FAIR**

Работы по созданию технологического участка для сборки, испытаний и сертификации сверхпроводящих магнитов типа «Нуклотрон» для ускорителей комплекса NICA (далее – технологический участок) были начаты в ЛФВЭ ОИЯИ в 2014. Востребованность такого типа магнитов с уникальными параметрами по темпам нарастания магнитного поля и эффективности охлаждения сверхпроводника дала возможность привлечь к этим работам на взаимовыгодных условиях команду, занятую созданием ускорительного комплекса FAIR.

В состав созданного технологического участка входит линия по производству сверхпроводящего кабеля, участок для изготовления сверхпроводящих обмоток магнитов, химическая лаборатория, участок для проведения измерений ключевых параметров магнитов при температуре окружающей среды и 6 стендов для выполнения криогенных испытаний., Построены вспомогательные линии и участки для испытаний криостатов и тоководов, для комплексной подготовки магнитов к работе в составе ускорителя. Данная инфраструктура была создана менее, чем за 3 года совместными усилиями специалистов ОИЯИ и участников проекта из Германии, в том числе и за счет совместного паритетного финансирования.

Общий вид технологического участка показан на рис. 10, его отдельные элементы – на рис. 11.



Рис. 10. Общий вид созданного технологического участка.



Рис. 11. Станок для намотки сверхпроводящего кабеля (слева сверху), участок для изготовления обмоток магнитов (справа сверху), участок криогенных испытаний магнитов (внизу слева) и образцы собранных магнитов в криостатах (внизу справа - дипольный и квадрупольный магниты Бустера и двухапертурный дипольный магнит для двух колец Коллайдера).

28 ноября 2016 года состоялся торжественный запуск технологического участка в эксплуатацию (рис. 12) и начато серийное производство магнитов.



Рис. 12. Торжественный ввод технологического участка в эксплуатацию.

### 5.1.3.1. Основные объекты Бустера

Разработаны, прошли модельные испытания, доработаны и запущены в серийное производство элементы магнитно-криостатной системы Бустера. К настоящему времени на 80% изготовлена магнитно-криостатная система Бустера (рис. 8): полностью изготовлены все криостаты, ярма 40 дипольных магнитов, 48 квадрупольных линз и 32 корректирующих магнитов; изготовлены все обмотки для дипольных и квадрупольных магнитов; 33 дипольных магнита и 6 квадрупольных линз успешно прошли криогенные и магнитные испытания, сертифицированы для установки в Бустер (рис. 13).

Относительно малый - 12,5 м, радиус кривизны орбиты частиц в Бустере при длине дипольных сверхпроводящих магнитов 2,2 м потребовал разработки изогнутых магнитов с таким же радиусом. Необходимо было разработать и соответствующие изогнутые вакуумные камеры. Эта нетривиальная технологическая задача была успешно решена в кооперации с фирмой FRAKOTERM (Польша) и её субподрядчиками. Все вакуумные камеры в настоящее время успешно изготовлены.

Монтаж системы начнется в 2018 году, а ввод ее в эксплуатацию состоится в конце 2019 года.

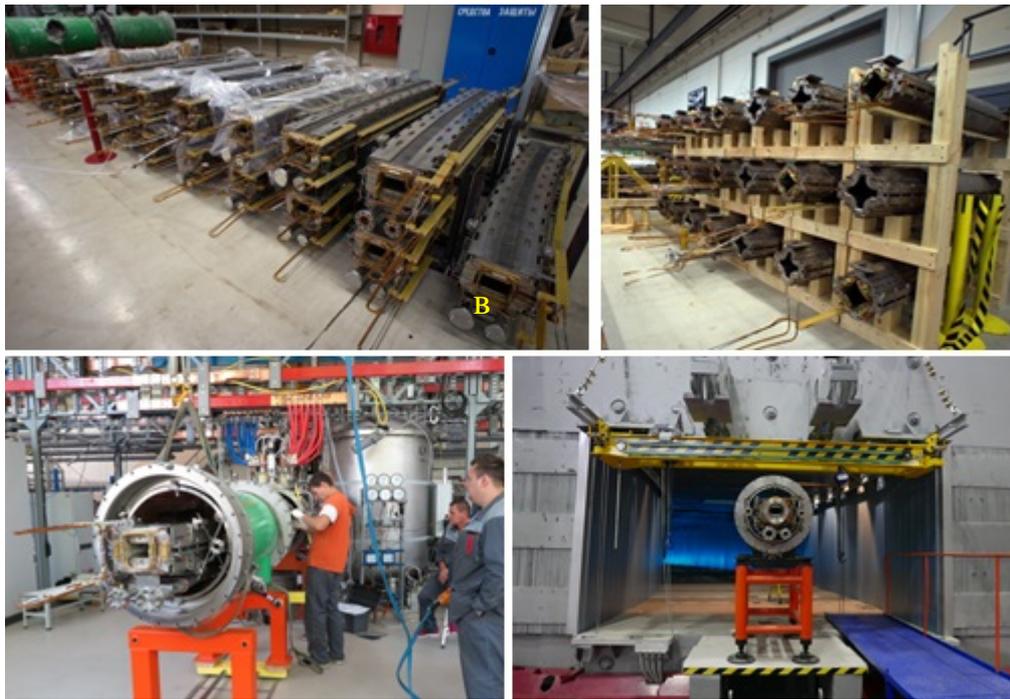


Рис. 13. Ярма дипольных магнитов (а) и квадрупольных линз (б) Бустера; магнит Бустера на испытаниях (в) и в тоннеле Бустера (г).

В сотрудничестве с ИЯФ им. Будкера СО РАН (Новосибирск) созданы 2 станции ускоряющей высокочастотной системы Бустера (рис. 14, слева) и система электронного охлаждения ионного пучка Бустера (рис. 14, справа), которые в процессе испытаний в 2016 - 2017 годах достигли проектных параметров. Полномасштабный ввод в эксплуатацию первой системы запланирован на конец 2019 год, второй – на середину 2019 года.



Рис. 14. Станция ВЧ (слева) и система электронного охлаждения Бустера (справа).

В процессе разработки находится вакуумная система Бустера (рис. 15), рассчитанная на получение вакуума  $10^{-11}$  Торр. Ее ввод в эксплуатацию вместе с магнитно-криостатной системой Бустера состоится в конце 2019 года.



Рис. 15. Вакуумная камера дипольного магнита (слева) и стенд для испытания элементов вакуумной системы Бустера (справа).

Подготовлен проект размещения системы питания Бустера в экспериментальном корпусе №1, изготовлены и испытаны прототипы элементов питания магнитов и ключей эвакуации энергии из сверхпроводящих магнитов Бустера (рис. 16).

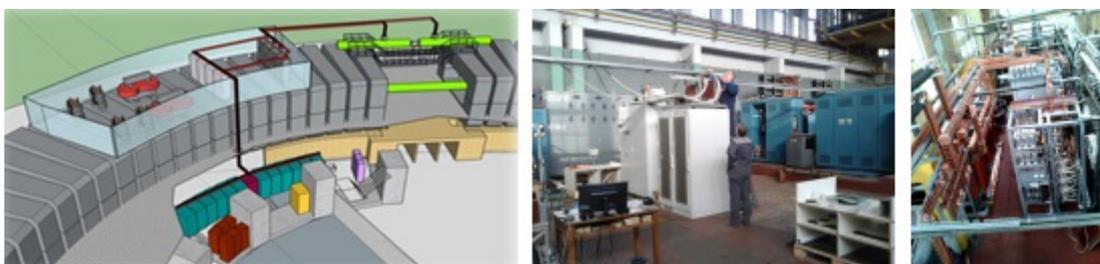


Рис. 16. Схема размещения системы питания Бустера в корпусе №1 (слева), прототип источника питания (в середине) и ключей эвакуации энергии (справа) Бустера.

Запланированная мощность системы питания - 2,8 МВт, ток - 11 кА, напряжение – 260 В, время вывода энергии при аварийном отеплении магнитов - 0,5 с.

Созданы элементы системы диагностики контроля и управления Бустером – мониторы положения пучка, датчики тока, спроектирована требуемая электроника. Ввод в эксплуатацию указанной системы будет осуществлен в конце 2019 года.

В 2019 - 2020 годах будут введены в эксплуатацию каналы инжекции пучка ионов в Бустер, устройства вывода пучка из Бустера в канал его транспортировки в Нуклотрон. Все эти элементы выполнены в настоящее время более, чем на 40%. В таблице 4 приведены их основные параметры. На рис. 17 (слева) показаны испытания импульсного инфлектора инжекции пучка в Бустер и спроектированная система быстрого вывода пучки из Бустера в Нуклотрон (рис.17, справа).

Параметры каналов транспортировки пучка ускорительного комплекса NICA

Канал транспортировки пучка	Канал транспортировки пучков низких энергий	НИЛАС - Бустер
Длина, м	1,8	15,5
Состав канала	2 соленоида; 2-х координатный корректор 1 ускорительная трубка (форинжектор)	2 диполя; 10 квадруполей; 1 дебанчер; 1 прерыватель; диагностика пучка; корректоры
Тип ионов	$^{197}\text{Au}^{31+}$ и некоторые соседние зарядовые состояния	$\text{Au}^{30+}$ , $\text{Au}^{31+}$ , $\text{Au}^{32+}$ (на входе); $\text{Au}^{31+}$ (на выходе)
Энергия ионов, кэВ/н	1,6 (на входе); 17,0 (на выходе)	3200
Интенсивность пучка	$\sim 2,3 \cdot 10^9$ ( $\text{Au}^{31+}$ ); до $1,5 \cdot 10^{10}$ (полная)	$\sim 2,1 \cdot 10^9$ ( $\text{Au}^{31+}$ ); до $6 \cdot 10^9$ (полная)
Коэффициент захвата, %	90	95
Выходной эмиттанс (эффективный) п·мм·мрад	До 70	15

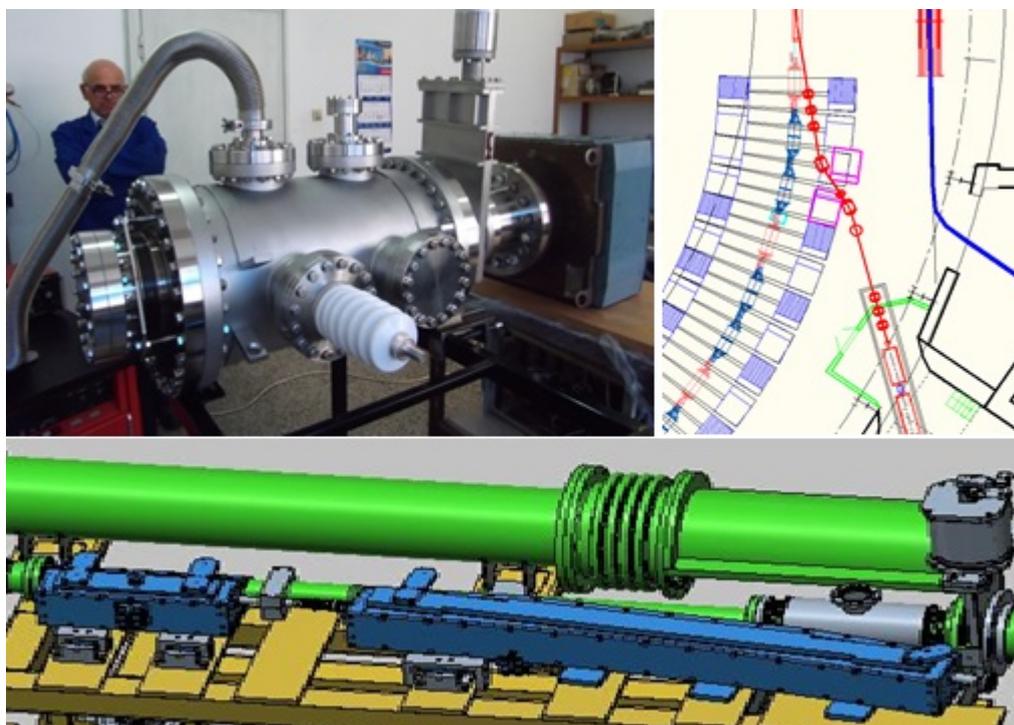


Рис. 17. Инфлектор системы инжекции пучка в Бустер в сборе (слева), канал транспортировки ионов из линейного ускорителя НИЛАС в Бустер (справа) и схема быстрого вывода пучки из Бустера в канал для транспортировки Нуклотрон (внизу).

Ввод в эксплуатацию всех каналов транспортировки пучков запланирован на конец 2019 года.

#### 5.1.4. Коллайдер

Основные параметры создаваемого Коллайдера комплекса NICA приведены в таблице 5.

Таблица 5.  
Основные характеристики Коллайдера комплекса NICA

Параметр	Значение по стадиям запуска		
Периметр кольца	503,04 м		
Фокусирующая структура	FODO, 12 секторов		
Количество сгустков частиц в каждом кольце Коллайдера	22		
Среднеквадратичная длина сгустка частиц, м	0,6		
$\beta$ -функция в точке встречи пучков, м	0,35		
Акцептанс кольца Коллайдера, $\pi$ мм·мрад	40		
Энергия $^{197}\text{Au}^{79+}$ , ГэВ/н	1,0	3,0	4,5
Количество ионов в сгустке	$2,0 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^9$
Среднеквадратичный разброс ионов по импульсу $\Delta p/p$	$0,55 \cdot 10^{-3}$	$1,15 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Среднеквадратичный эмиттанс пучка, $\pi$ мм·мрад	1,1/0.95	1,1/0.85	1,1/0.75
Светимость, $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$	$0,6 \cdot 10^{25}$	$1,0 \cdot 10^{27}$	$1,0 \cdot 10^{27}$
Время «жизни» светимости, с	160	460	1800

В 2017 году завершено создание и испытание прототипов и начато серийное производство сверхпроводящих двухапертурных магнитов типа «Нуклотрон» с полем до 2 Тл и их криостатов для Коллайдера NICA. Завершено изготовление сверхпроводящего токопровода для магнитов и сильфонных компенсаторов для криостатов. На рис. 18 показаны двухапертурный дипольный магнит Коллайдера в криостате (слева) и ярмо его двухапертурного квадрупольного магнита (справа). К настоящему времени работы по созданию магнитно-криостатной системы Коллайдера выполнены на 20%.

Работы по созданию вакуумной системы Коллайдера, рассчитанной на достижение давления в его вакуумной камере на уровне  $10^{-11}$  Торр, ведутся параллельно с созданием сверхпроводящей магнитной системы. Вакуумные камеры Коллайдера прямые. Они спроектированы и определён их

изготовитель-поставщик – компания FRAKOTERM (Польша) с субподрядчиками.

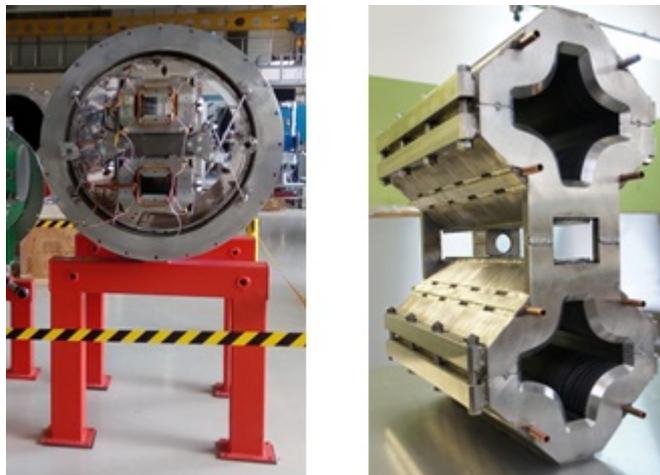


Рис. 18. Двухапертурный дипольный магнит Коллайдера (слева) и ярмо его двухапертурного квадрупольного магнита (справа).

В сотрудничестве с ИЯФ СО РАН спроектированы системы барьерного и гармонического ВЧ напряжения (рис. 19) для базовой конфигурации Коллайдера с параметрами, приведенными в таблице 6.

Таблица 6.

Основные характеристики ВЧ базовой конфигурации Коллайдера NICA

Характеристика	ВЧ система барьерного напряжения	ВЧ система гармонического напряжения
Количество ВЧ станций	2	4
Амплитуда напряжения, кВ	5,0	25,0
Длительность импульса, с	80	
Частота, МГц	0,518 – 0,586	11,4 – 12,9
Мощность, кВт	21,0	5,7

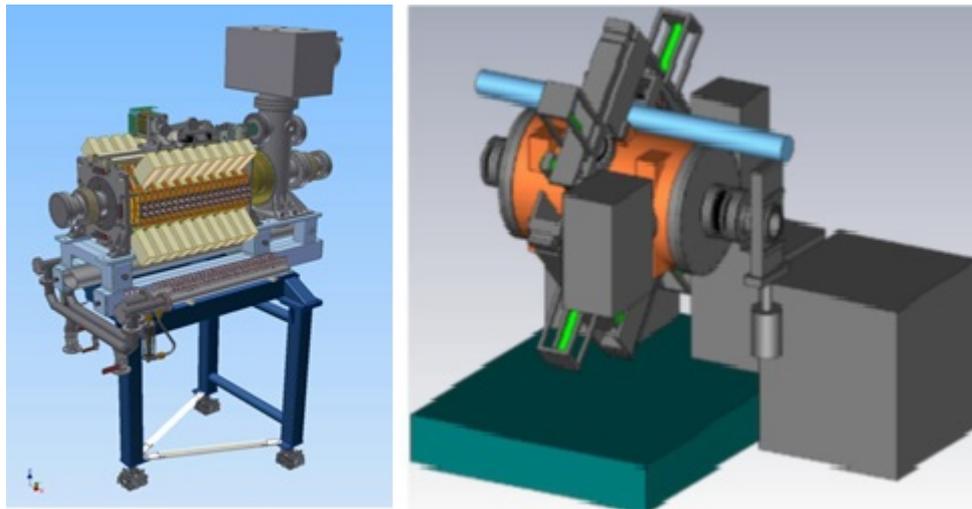


Рис. 19. Модули систем барьерного (слева) и гармонического (справа) ВЧ напряжений.

Обе системы находятся в настоящее время на изготовлении в ИЯФ СО РАН – выполнено более 65% работ. Системы будут поставлены в ОИЯИ, смонтированы и введены в эксплуатацию в конце 2019 года.

В сотрудничестве с ИЯФ им. Будкера СО РАН спроектирована система электронного охлаждения пучков Коллайдера (рис. 20) – электронный ускоритель с энергией электронов 2,5 МэВ для «охлаждения» пучка ионов с энергиями 1 – 4,5 ГэВ/н за 100 – 500 с. Разработка этого проекта в базовой конфигурации комплекса необходима для согласования размещения СЭО при проектировании зданий и сооружений комплекса NICA.



Рис. 20. Общий вид системы электронного охлаждения пучков Коллайдера NICA (проект ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН).

Заключен контракт с фирмой Сигма-Фи (Франция) на проектирование, изготовление, монтаж и ввод в эксплуатацию канала транспортировки пучков из Нуклотрона в Коллайдер (рис. 21). Длина канала с двумя его ветвями – 335 м, количество дипольных магнитов – 33, квадрупольных линз – 45. К настоящему времени выполнено более 30% этих работ. Ввод в эксплуатацию запланирован на середину 2020 года.

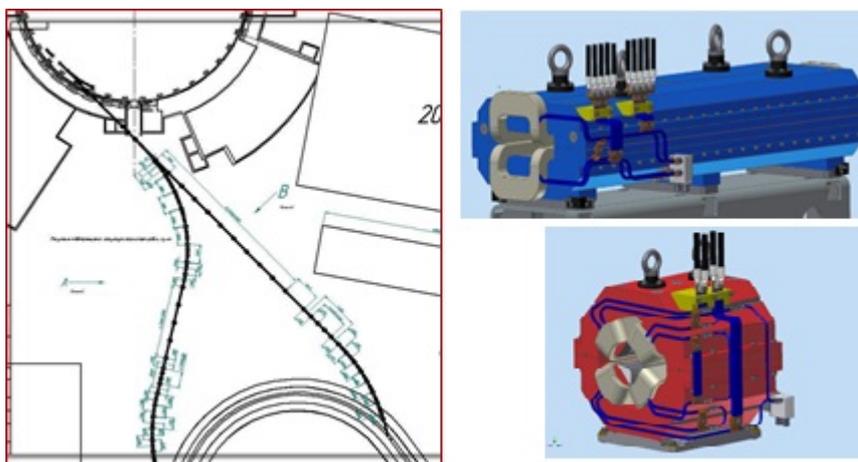


Рис. 21. Схема каналов транспортировки пучка Нуклотрона в Коллайдер NICA (слева) и проект (общий вид) дипольного (в центре) и квадрупольного (справа) магнитов канала.

Разработан проект и совместно с Исследовательским центром г. Юлих (Германия) начаты работы по созданию системы стохастического охлаждения пучков Коллайдера, работающей в полосе частот 2 – 4 ГГц, для охлаждения ионов с энергией 3 – 4,5 ГэВ/н за время, меньшее 500 с.

Ведется разработка системы управления и диагностики Коллайдера. Ввод в эксплуатацию указанных систем намечен на 2020 год.

## 5.2. Экспериментальные установки

### 5.2.1. Multi Purpose Detector (MPD)

Установка MPD будет расположена в экспериментальном павильоне у первой точки столкновения пучков коллайдера. Основные детекторы установки (рис. 22) размещены в большом соленоидальном сверхпроводящем магните. В базовую конфигурацию MPD входят: комплекс детекторов баррельной (цилиндрической) части установки, системы сбора данных, управления и контроля детекторов, объекты инженерной системы, тестовые и технологические зоны.

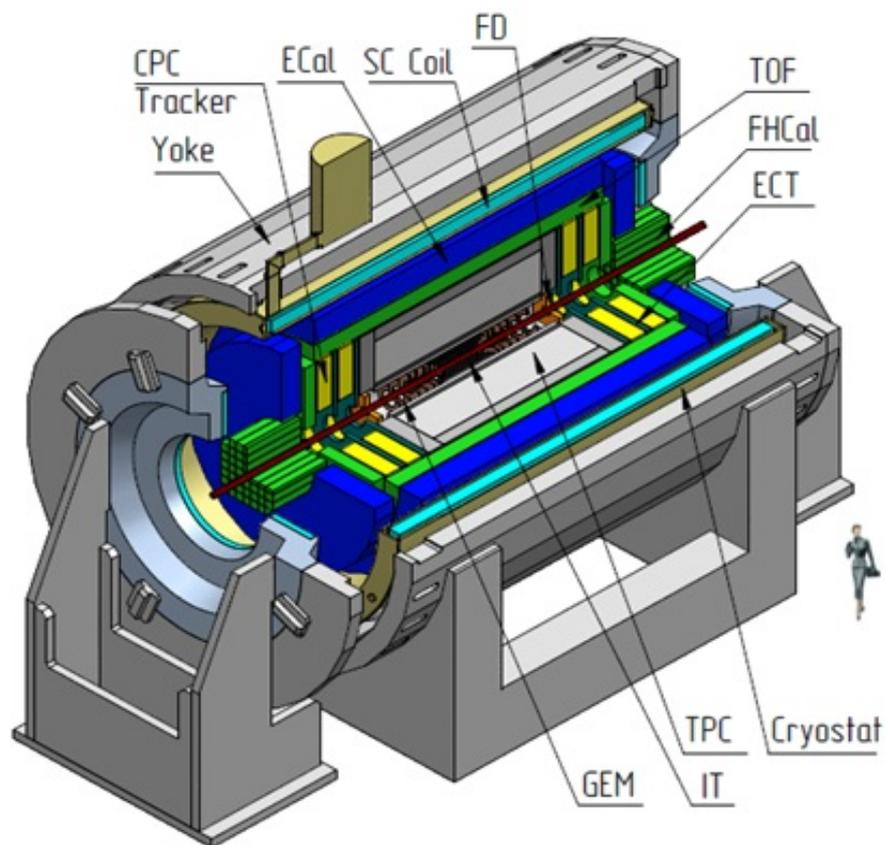


Рис.22. Схема установки MPD. IT – вершинный детектор; TPC – время-проекционная камера - основной трековой прибор детектора MPD; TOF – время-пролетная система MPD; ECal электромагнитный калориметр; FFD – быстрый передний детектор; SC Coil - сверхпроводящая катушка криостата Cryostat; Yoke - магнитопровод детектора MPD; FHCAL – передние адронные калориметры.

Сверхпроводящий соленоид (см. схему на рис. 23) с магнитной индукцией поля 0,66 Тл и однородностью магнитного поля в центральной зоне на уровне  $10^{-4}$ , имеет геометрические параметры, указанные в таблице 7, и будет весить около 900 тонн.

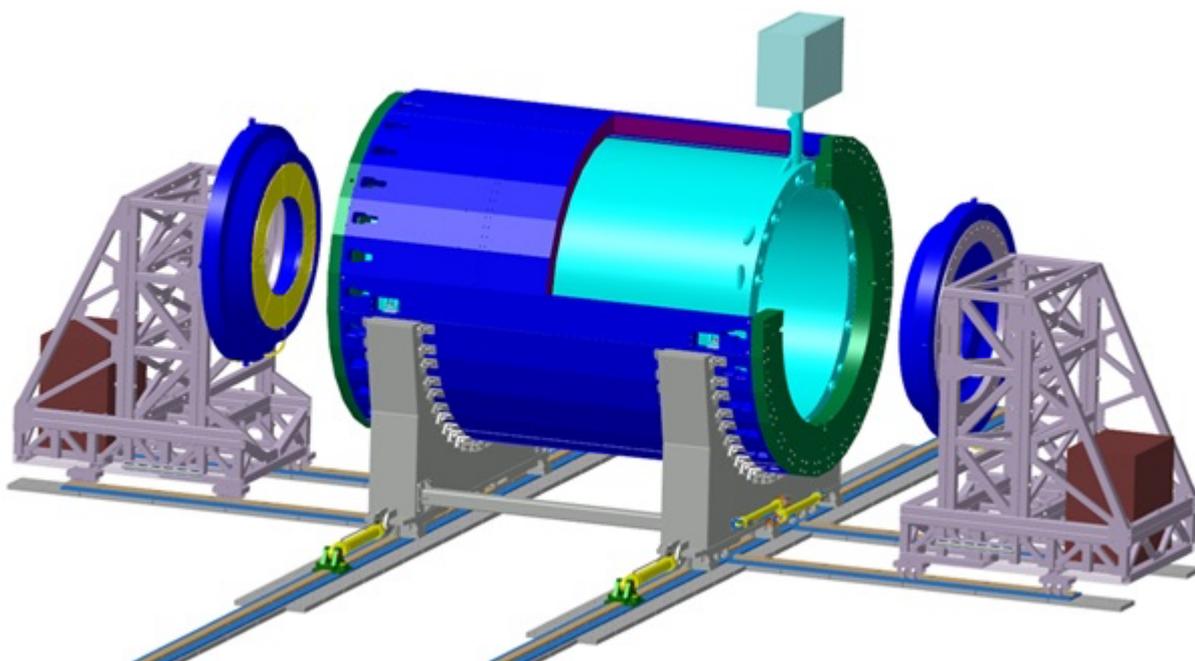


Рис. 23. Схема соленоидального магнита установки MPD.

Таблица 7.

Геометрические параметры соленоидального магнита MPD

<b>Криостат</b>	
Внутренний диаметр (теплый объем), мм	4656
Внешний диаметр, мм	5443
Длина, мм	7910
<b>Ярмо</b>	
Внутренний диаметр, мм	5883
Внешний диаметр, мм	6583
Расстояние между полюсами, мм	7390
Длина, mm	8970

К настоящему времени по контракту с итальянской фирмой ASG Superconductors выполнено больше 50% работ по созданию катушек и холодной массы магнита. Для сверхпроводящей катушки соленоида спроектирована и создана намоточная машина и печь для компаундирования, изготовлены все три модуля алюминиевого опорного цилиндра, изготовлен сверхпроводящий кабель, начат процесс намотки первого модуля соленоида, завершено изготовление теплых обмоток торцевых корректирующих магнитов (рис. 24), начато изготовление вакуумного кожуха.



Рис. 24. Первый модуль сверхпроводящей катушки соленоида на намоточной машине (слева), первый модуль опорного цилиндра сверхпроводящей катушки и печь компаундирования (справа вверху), намотка теплых обмоток торцевых корректирующих магнитов (справа внизу).

Завершаются работы по созданию железного ядра магнита и механических элементов поддержки магнита на заводе в Витковице (Чехия). Полностью изготовлены 25 из 28 внешних балок, 2 из 2-х поддерживающих ложементов балок и 2 из 2-х поддерживающих кольца, выполнена предварительная механическая обработка обеих торцевых заглушек, начато создание двух поддерживающих структур. Произведенные механические элементы соленоида показаны на рис. 25. Сборка магнита в ОИЯИ запланирована на середину 2019 г., завершение работ - в конце 2019 года.



Рис. 25. Балки магнитопровода (слева вверху), ложементы для их поддержки (слева внизу), поддерживающие кольца (справа)

вверху) и торцевые заглушки (справа внизу) соленоидального магнита установки MPD.

Для всех детекторов MPD разработаны и протестированы прототипы их элементов.

Начата сборка основного трекового детектора установки – время-проекционной камеры ТРС. ТРС позволяет также измерять потери энергии пролетающих заряженных частиц за счет ионизации газа и тем самым определять их массу (идентифицировать). Конструкция ТРС показана на рис. 26, а ее проектные параметры приведены в таблице 8.

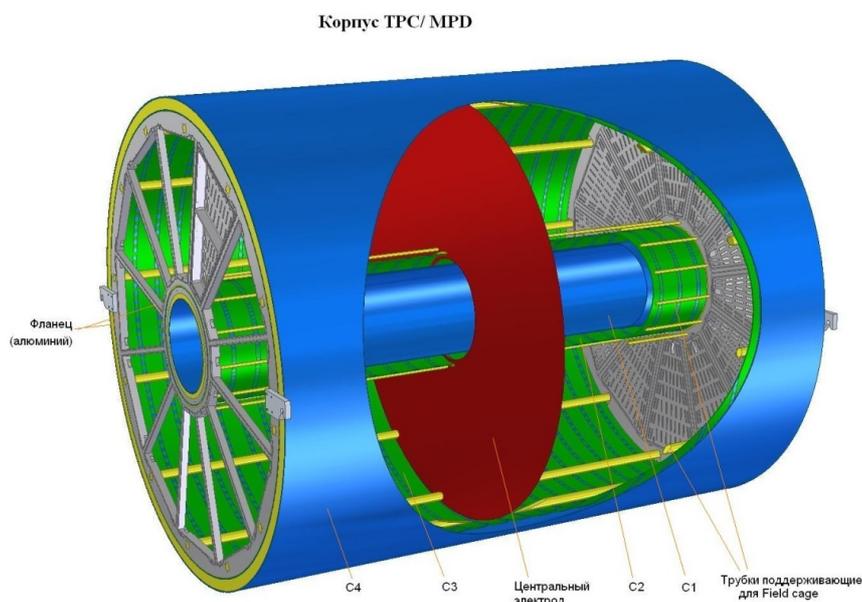


Рис. 26. Конструкция время-пролетной камеры (ТРС): центральный электрод в центре (красный) и считывающими камерами на торцах (по 12 с каждой стороны).

Таблица 8.

Основные параметры ТРС.

параметр	величина
Длина детектора	340см
R-внеш. / R – внутр. детектора	140см / 27 см
R-внеш. / R – внутр. ДО	133см / 34см
Длина ДО	170см (с каждой стороны)
Еэлектрическое поле	~140V/см;
газ	90% Ar+10% метан,
Газовое усиление	~ 10 <sup>4</sup>
Скорость дрейфа	5.45 см/мкс;
Время дрейфа	< 30 мкс;
t стабилизация	< 0.5°C

N ROC камер	24 (12 на каждой стороне)
N - число пэдов	95232
Мах скорость считывания	$< 7 \text{ кГц} (L = 10^{27})$
время формирователя	$\sim 180 \text{ нс} (FWHM)$
отношение сигнал / фон	30:1
Дупдинамический диапазон	10 бит
Скорость макетирования	10 МГц

Изготовлены основные механические элементы ее конструкции: внешний и внутренний кевларовые цилиндры, совместно с НИИ ЯП БГУ на предприятии АРТМАШ (г. Минск, Беларусь) – торцевые фланцы (рис. 27).

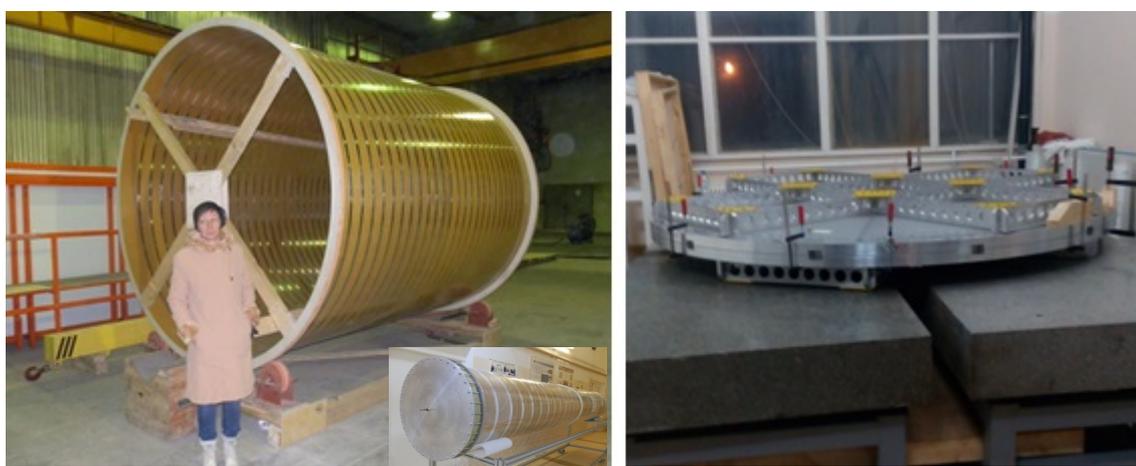


Рис. 27. Внешний и внутренний кевларовые цилиндры (слева), и торцевой фланец (справа).

Начато массовое производство считывающих камер (ROC): все 24 рамки камер изготовлены и протестированы, 20 ROC готовы к сборке; разработана 512-канальная система считывания данных на основе чипов PASA и ALTRO, тестируются 32-х и 64-х канальные платы считывающей электроники на основе нового специализированного чипа SAMPA, создаваемого для эксперимента ALICE в ЦЕРН (см. рис. 28). Окончательная концепция электроники, которая позволит совместить работу обеих типов плат считывания, считывания будет разработана и принята в 2018 году.



Рис. 28. Создание и тестирование считывающих камер ТРС (сверху); 512-канальная система считывания данных на базе чипов PASA и ALTRO (внизу слева), 32-канальная плата (внизу посередине) и 64-х канальная (внизу справа) платы считывающей электроники на базе чипа SAMPA.

Создана и установлена в специальной чистой комнате оснастка для сборки ТРС (рис. 29). С использованием микро зеркал разработана система лазерной юстировки камеры на этапе сборки и в процессе эксплуатации. Совместно с сотрудниками ПИЯФ (Гатчина, Россия) спроектирована газовая система ТРС на 4 м<sup>3</sup> газа. Работы по созданию ТРС выполнена более, чем на 50%. Интеграция ТРС в МРД запланирована на конец 2019 года.



Рис. 29. Оснастка для монтажа и сборки RPC во время производства и в чистой комнате ЛФВЭ ОИЯИ (сверху) и фланцы и прототип сервисного «колеса» RPC (внизу).

Время-пролетная система (TOF), основанная на много-зазорных RPC камерах, должна измерять время пролета заряженной частицы от точки столкновения до ее детектирования системой с точностью не хуже 60 пс.. Баррельная часть TOF, входящая в базовую конфигурацию, состоит из 28 модулей по 10 камер в каждом с общим количеством каналов считывания данных 13 440. Расположение модулей (рис. 30) образует цилиндр радиусом 170 см.

Начато массовое производство модулей (рис. 30). Полученное при тестировании опытных образцов RPC камер временное разрешение лучше 50 пс позволяет уверенно идентифицировать заряженные частицы в заданном диапазоне импульсов. Предложенная конструкция и качество изготовления модулей полностью удовлетворяют проектным требованиям к детектору TOF MPD.

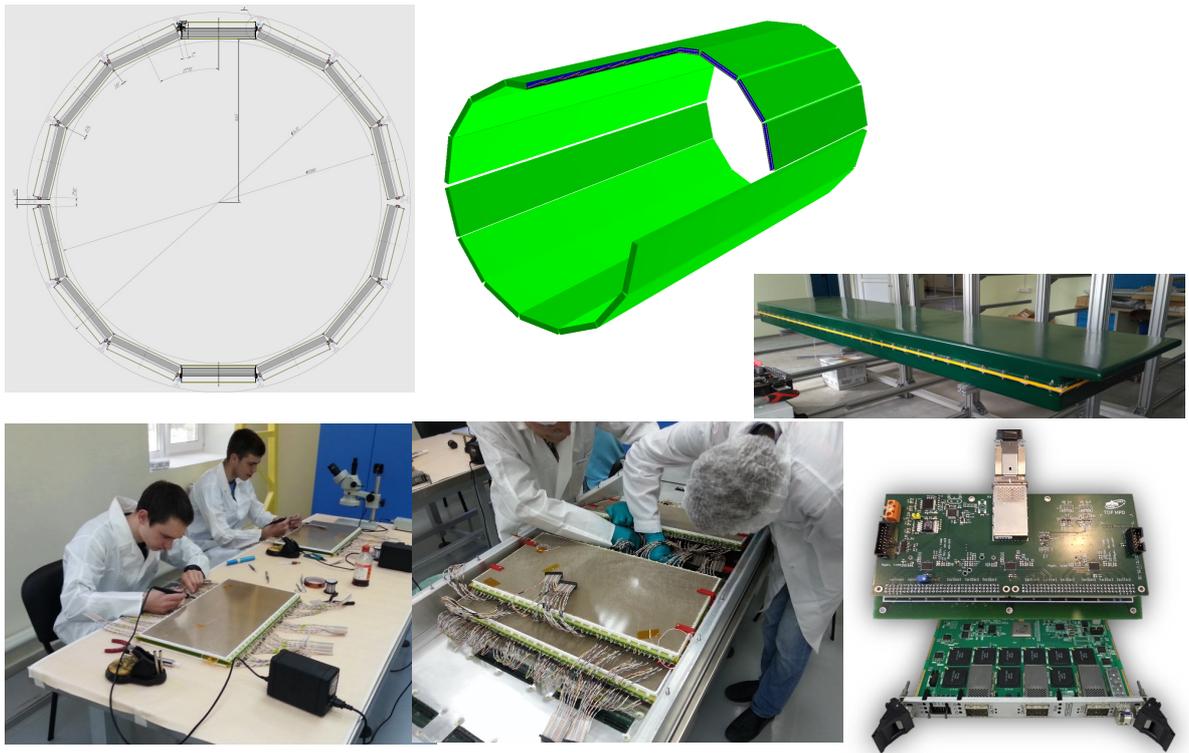


Рис. 30. Схема баррельной части TOF MPD и отдельный ее модуль в сборе (сверху); сборка и тестирование элементов модуля - камер TOF, в чистой комнате технологического участка для из производства и тестирования (внизу слева) и разработанные модули системы считывания данных с TOF MPD (внизу справа).

Быстрый передний детектор (FFD) предназначен для выработки стартового сигнала временно-пролетной системы TOF и триггерного сигнала о произошедшем столкновении ускоренных ядер в месте столкновения пучков Коллайдера. FFD состоит из двух плеч (по 40 модулей), расположенных вдоль оси пучка на расстоянии 140 см от точки взаимодействия. Каждый модуль состоит из свинцового конвертера, кварцевого радиатора, детектирующего полупроводникового ФЭУ и считывающей электроники. Изготовлены все модули FFD и разработанная для них электроника считывания (рис. 31, вверху). При их испытаниях в тестовой зоне MPD на пучке Нуклотрона было показано временное разрешение лучше 50 пс, что полностью соответствуют требованиям проекта MPD.

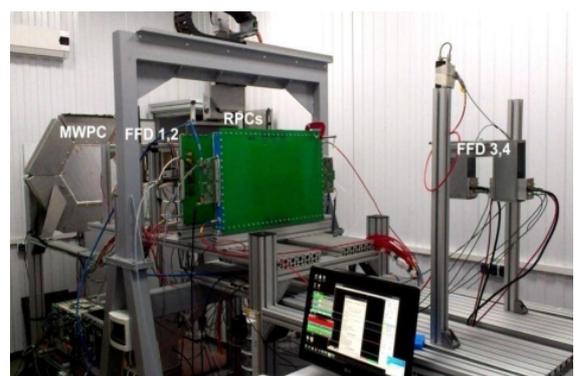
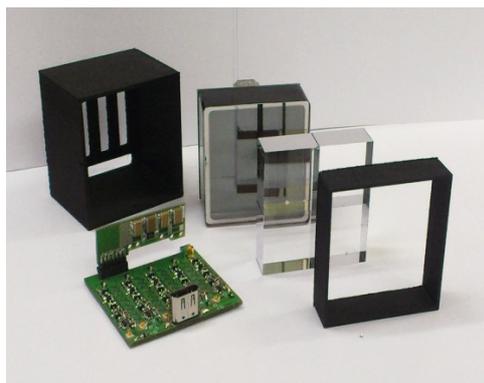


Рис. 31. Модуль детектора FFD и его тестирование в тестовой зоне MPD на пучке Нуклотрона.

Передние адронные калориметры FHCAL типа «сэндвич» (свинец/сцинтиллятор) предназначены для регистрации вперед летящих фрагментов реакции и тем самым определения центральности взаимодействия и плоскости реакции. Два FHCAL, по 45 модулей каждый, расположены в торцевых частях MPD.

К настоящему времени 39 модулей собраны и проверены (рис. 32). Их разработка и создание ведется специалистами ИЯИ РАН. Различные типы плат считывающей электроники продолжают тестироваться. Полученное при тестировании модулей калориметра разрешение  $\sigma(E)/E = 53\%/\sqrt{E} + 10\%$  полностью удовлетворяет проектным требованиям к детектору FHCAL.



Рис. 32. модуль и супермодуль FHCAL (справа).

Электро-магнитный калориметр ECal предназначен для регистрации фотонов, электронов и позитронов. Разработана уникальная конфигурация баррельной части, не имеющая аналогов. В дизайне калориметра заложена проективная геометрия, покрываемая модулями типа «шашлык» из свинца и сцинтиллятора. Для сбора данных используются WLS-фибры и кремниевые фотоумножители MAPD. Толщина модуля – около 35 см (около 14 радиационных длин), сегментация –  $4 \times 4 \text{ см}^2$ , разрешение – лучше 5% при энергии 1 ГэВ, временное разрешение порядка 500 пс. Для баррельной части ECal необходимо изготовить около 43 000 модулей. Общий вид баррельной части ECal и прототип отдельного модуля показан на рис. 33. Все модули должны быть изготовлены и собраны в супермодули для их интеграции в MPD к концу 2020 года. К настоящему времени сконструированы, созданы и испытаны первые модули.

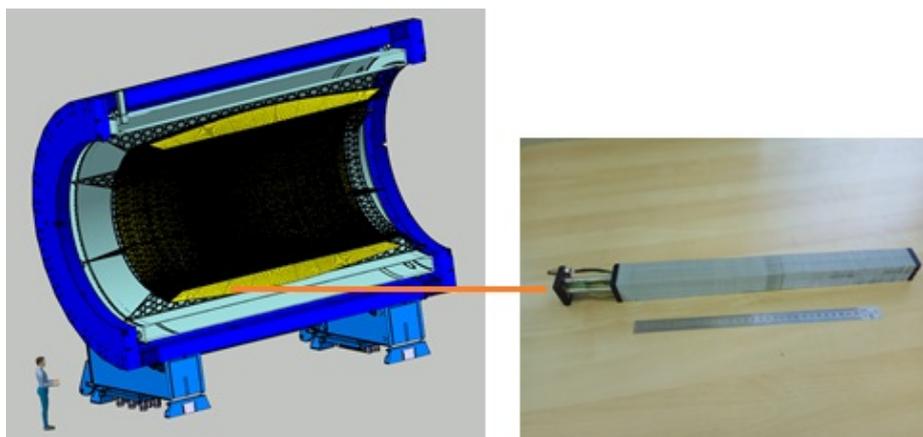


Рис. 33. Схема баррельной части MPD (слева) с проективной геометрией ECAL (желтым цветом) и прототип модуля ECAL (справа).

Подготовлен проект многоэтапной интеграции соленоидального магнита и детекторов MPD в состав установки.

Создан ряд технологических помещений для разработки детекторов MPD. Кроме уже упомянутых выше технологических зон для сборки TPC (рис. 29) и TOF (рис. 30) созданы чистые комнаты и технологические участки для производства кремниевых микростриповых и микропиксельных детекторов для внутреннего трекера MPD - IT. При создании последних использованы средства ОИЯИ, РФ и Германии.

На рис. 34 показаны участки для сборки модулей микростриповых детекторов, работающий с 2016 года и дополненный новейшим роботом укладчиком сенсоров микропиксельных детекторов MAPS, работа на котором начнется в середине 2018 года; участок сборки и сертификации трековых систем, который будет полностью сдан в 2018 году, измерительный стенд для сертификации двусторонних микростриповых сенсоров, оборудование для которого разработано совместно с ОАО Планар (Минск, Беларусь) и НИИЯФ МГУ (Москва, Россия), который будет сдан в конце 2018 года.



Рис. 34 Участок сборки модулей микроstriповых детекторов и робот-укладчик MAPS (вверху); участок сборки и сертификации трековых систем с измерительным стендом для сертификации двусторонних микроstriповых сенсоров (внизу).

Подготовлен проект и идут работы по созданию участка сборки ECal – чистые помещения для сборки модулей калориметра в сектора и тестирование их на космических частицах. Идет работа по созданию карбоновой мастерской для запуска технологического процесса ламинации сверхлегких карбоновых опорных ферм для кремниевых детекторов. Сдача этих участков запланирована на 4 квартал 2018 г.

Отработаны и прошли проверки в реальных сеансах экспозиции на пучках Нуклотрона элементы MPD все компоненты системы сбора данных и большинство компонентов системы медленного контроля элементов установки.

### 5.2.2. Baryonic Matter at Nuclotron (BM@N)

Установка BM@N находится в эксплуатации в тестовом режиме с различной конфигурацией детекторов в своем составе с 2015 года. В период 2013 - 2014 гг. была создана экспериментальная зона BM@N с бетонной защитой вокруг установки и домиками персонала для управления экспериментом. В настоящее время в ее состав входят теплый дипольный магнит СП-41, модернизированный (зазор между магнитными полюсами расширен до 1 м) для размещения в нем системы трековых детекторов. Система центральных трековых детекторов состоит из кремниевых микроstriповых детекторов и детекторов на основе газовых электронных

умножителей GEM (рис. 35). Первые 6 плоскостей детекторов GEM введены в эксплуатацию в составе установки VM@N в конце 2016 года. Среди них 2 детектора наибольшего размера из когда либо создававшихся – 163 x 45 см<sup>2</sup>. Все GEM детекторы собраны с участием сотрудников ОИЯИ – в ЦЕРН. Ввод четырех таких детекторов в эксплуатацию запланирован на февраль 2018 года.

Перед магнитом расположены 2 передние пропорциональные камеры. Передний двухкоординатный кремниевый стриповый детектор включен в состав установки в марте 2017 года. Ввод двух таких детекторов в эксплуатацию запланирован на февраль 2018 года, полная их конфигурация – в 2020 году.

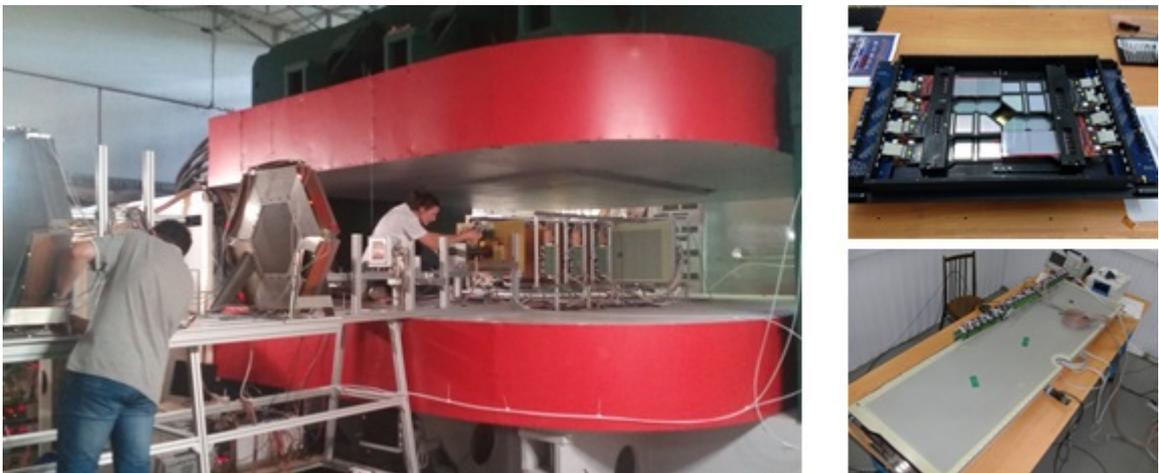


Рис. 35. Спектрометрический магнит СП-41 установки VM@N (слева) с размещенными перед ним пропорциональными камерами, а внутри - передним двухкоординатным кремниевым микростриповым детектором (справа сверху) и набором GEM детекторов (детектор размером 163 x 45 см<sup>2</sup> справа внизу).

В качестве трекера за пределами магнита СП-41 используются две четырехкоординатные дрейфовые камеры (рис. 36). Эти камеры были созданы в ЦЕРН и после короткой эксплуатации в эксперименте NA48 были переданы в ОИЯИ. Для этих камер разработана и реализована новая электроника считывания данных, позволяющая использовать камеры в условиях регистрации событий большой множественности.



Рис. 36. Дрейфовые камеры внешнего трекера установки *BM@N*.

Время-пролетная система установки для идентификации частиц состоит из двух систем детекторов - TOF400 и TOF700 (рис. 37). Детекторы частично введены в эксплуатацию в составе установки *BM@N* в 2016 году. Ввод полной конфигурации время-пролетной системы намечен на февраль 2018 года.

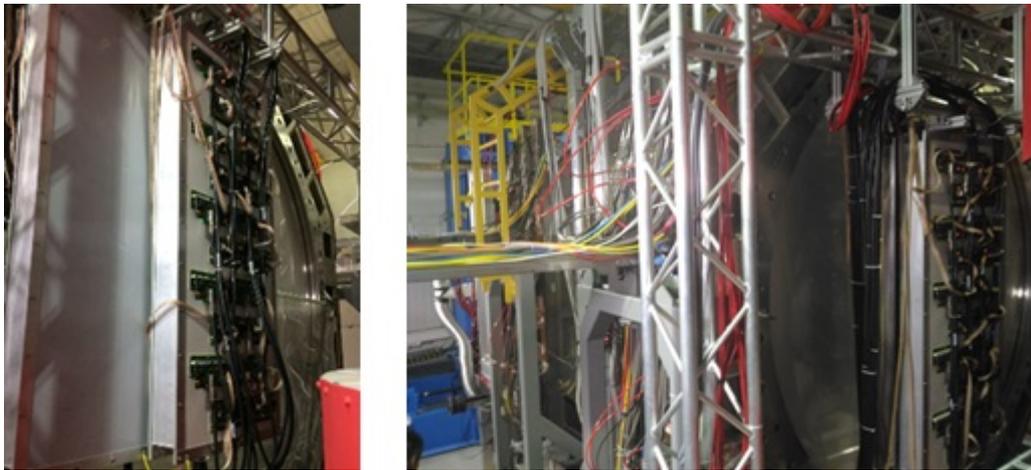


Рис. 37. Детектор время-пролетной системы детекторов TOF-400 (слева) и система детекторов TOF-700 (справа), расположенная между дрейфовыми камерами установки *BM@N*.

Адронный калориметр для регистрации частиц под малыми углами (ZDC) введен в эксплуатацию в полной конфигурации в составе установки *BM@N* в декабре 2016 г.. Он расположен на подвижной платформе, спроектированной и созданной на Новокраматорском машиностроительном заводе (Украина), (рис. 38, слева). В Институте сцинтилляционных материалов Национальной академии наук Украины (Харьков) созданы модули электрмагнитного калориметра ECAL (рис. 38, справа), которые используются в составе установки с марта 2017 года.



Рис. 38. Адронный калориметр малых углов ZDC на подвижной платформе (слева) и элемент электромагнитного калориметра ECAL (справа) установки BM@N.

Созданы детектор T0 для время-пролетной системы (рис. 39, слева), включенный в состав установки в марте 2015 года, и баррельный детектор (рис. 39, в середине), введенный в эксплуатацию в марте 2017 года. Эти детекторы относятся к системе триггерных детекторов установки. Разработан также электронный блок управления системой запуска установки (рис. 39, справа) и необходимое программное обеспечение.

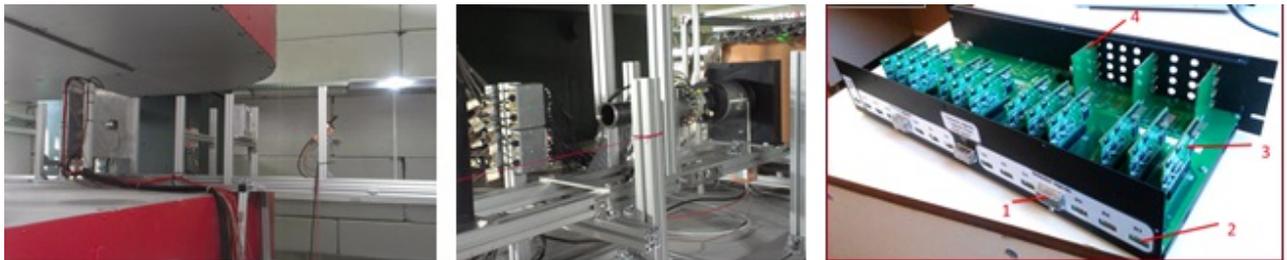


Рис. 39. Детектор T0 и пучковые детекторы (слева), баррельный детектор (в центре) и электронный блок управления (справа) триггерной системой установки BM@N.

Введена в эксплуатацию постоянно наращиваемая электронная система сбора данных эксперимента, их первичной обработки и передачи на вычислительный комплекс, основные элементы которой показаны на рис. 40.



Дрейфовые  
камеры

TOF

GEM + Si

Детекторы  
T0

Рис. 40. Система синхронизации детекторов, распределения триггера и формирования события (справа) и подсистемы сбора данных с основных детекторов  $BM@N$ .

Основные элементы этой системы спроектированы таким образом, что их можно будет использовать с минимальной модификацией в установках MPD и SPD. На стадии завершения работы по созданию системы мониторинга, контроля и удаленного управления основными элементами установки.

Электропитание магнита СП-41 осуществляется от нового источника тока ИП 2500-280, изготовленного фирмой «НПП ЛМ Инвертор», смонтированного в экспериментальном зале корпуса №205 (см. рис. 41). Источник ИП 2500-280 введен в работу в 2017 году в режиме опытной эксплуатации и позволяет обеспечить работу установки  $BM@N$  во всем диапазоне энергий.

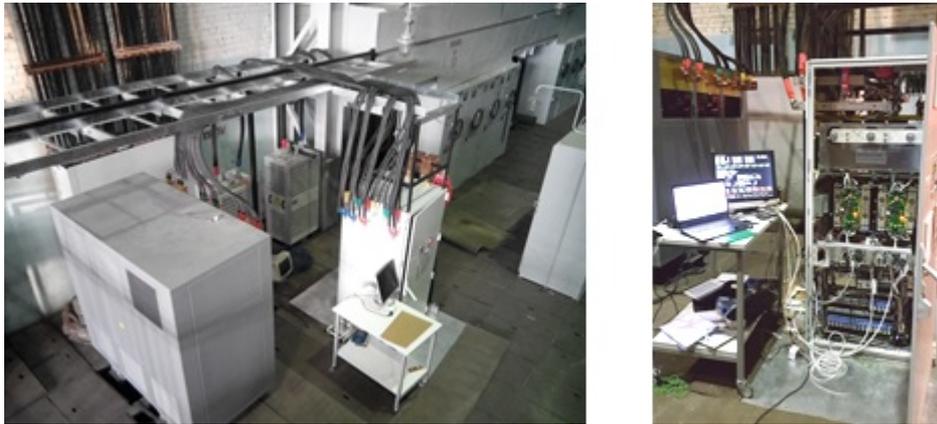


Рис. 41. Источник тока ИП 2500-280: общий вид (слева) и шкаф управления (справа).

Все детекторы и системы находятся на заключительном этапе создания и будут готовы к эксплуатации в базовой конфигурации установки  $BM@N$  в физическом сеансе Нуклотрона 2020 года.

### 5.2.3. Spin Physics Detector (SPD)

Детектор SPD будет расположен в экспериментальном павильоне на второй точке встречи пучков Коллайдера. Первый этап проекта SPD начат в 2014 г. Были подготовлены письма о намерениях (Letter of Intent: *Spin Physics Experiments at NICA-SPD with polarized proton and deuteron beams*, arXiv.org: 1408.3959) учеными 23-х научных институтов Европы и США. На этом же этапе были подготовлены необходимые распорядительные документы для начала работ над проектом.

В 2017 году началась реализация следующего этапа проекта. В рамках этого этапа до конца 2019 года планируется подготовить концептуальный проект установки и сформировать международную коллаборацию. С этой целью сформированы рабочие группы по основным физическим задачам: измерениям процессов Дрелла-Яна, изучению процессов с рождением прямых фотонов, измерениям обобщенных партонных распределений и по реакциям с рождением адронов с большим поперечным импульсом. Организована также группа по моделированию физических процессов, в рамках которой разрабатываются два возможных варианта экспериментальной установки: с магнитом типа соленоида и с тороидальной магнитной системой. Выбор типа магнитной системы должен быть завершён к апрелю 2018 года.

Начато формирование международной коллаборации. Подготовлены или находятся в стадии согласования договора со следующими группами: из Томского Государственного Университета и Томского Политехнического Университета, с группой из Карлова Университета (Прага) и с группой из INFN (Турин, Италия). Сформирован и начал работу временный комитет по управлению проектом. Проводятся регулярные совещания группы физиков из лабораторий ОИЯИ, участвующих в данном проекте. На многих международных форумах были представлены задачи, которые могут решаться на установке SPD, и оценки требуемых для этого средств.

В рамках создания базовой конфигурации комплекса NICA (до конца 2020 г.) по установке SPD кроме подготовки концептуального проекта планируется провести работы по созданию и испытанию прототипов основных элементов детекторов и продвинуться в проектировании главных узлов установки, в т. ч. магнитной системы, вершинного детектора, системы измерения траекторий частиц, электромагнитного калориметра, мюонной системы и системы поляриметрии.

Полномасштабное сооружение установки SPD и ее запуск планируется реализовать на следующем этапе выполнения проекта «Комплекс NICA» в 2021 - 2025 годах. Это потребует дополнительных ассигнований на сумму порядка 4 млрд. рублей в ценах 2017 года.

### **5.3. Научно-исследовательский и инженерный блок**

#### **5.3.1. Здания коллайдерного комплекса**

В 2015 году завершён проект (стадия «П») и начато строительство комплекса зданий и сооружений коллайдера NICA и павильонов для размещения детекторов MPD и SPD. В качестве проектировщика была выбрана компания ОАО «Комета» (Россия), в качестве генподрядчика в результате проведения международного конкурса – австрийская компания Strabag. Срок выполнения полного объема работ по проекту намечен на середину 2019 года.

К настоящему времени практически полностью завершены земляные, дренажные и свайные работы на площадке застройки, подготовительные работы на котлованах корпусов MPD и SPD, включая монтаж заземления, и начато их бетонирование, выполнены бетонные работы на канале пучка западного (W) полукольца Коллайдера и начаты работы на восточном (E) полукольце, развернуто строительство здания под размещение системы электронного охлаждения (СЭО) пучков Коллайдера. Общий вид строительной площадки показан на рис. 42. Отдельные элементы строительной инфраструктуры показаны на фотографиях из ежемесячного отчета фирмы Strabag о выполнении работ (рис. 43).



Рис. 42. Общий вид строительной площадки (декабрь 2017 г.)



Рис. 43. Текущая ситуация по отдельным элементам комплекса и видам работ.

В рамках работ по оснащению павильонов для размещения установок MPD и SPD заказаны на ПП «Спецмаш» и получены 156 фундаментных плит общим весом 140 тонн для усиления пола в зоне прокладки рельсовых путей (рис. 44, сверху). На предприятии «Уралкран» изготовлены 2 крана грузоподъемностью 80/20 т (рис. 44, снизу).

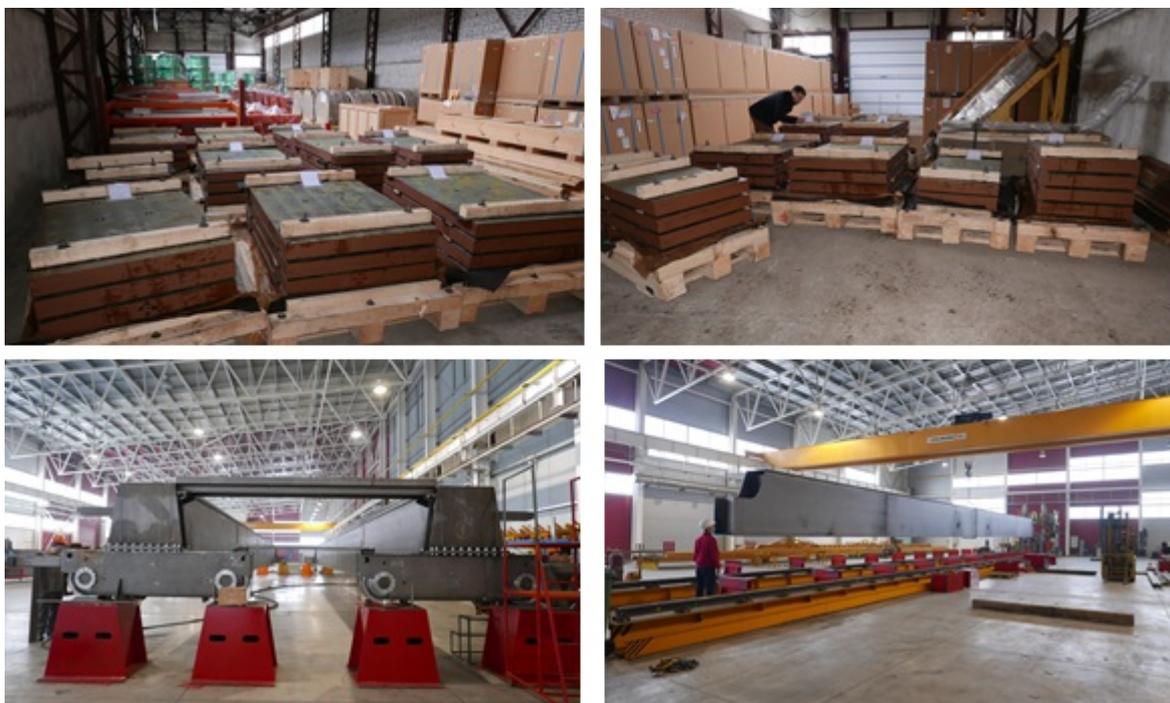


Рис. 44. Фундаментные плиты (сверху) и краны (снизу) для павильонов MPD и SPD.

Работы по строительству идут с небольшим опозданием, пока не критичным для выполнения общего объема намеченных работ по базовой конфигурации комплекса NICA.

### 5.3.2. Центр NICA

Заключен договор на проектирование здания Центра NICA с проектным институтом «АРЕНА». До заключения договора рассмотрены несколько концепций строительства такого здания (см. пример на рис. 45). Начало строительства здания Центра NICA намечено на конец 2018 года.

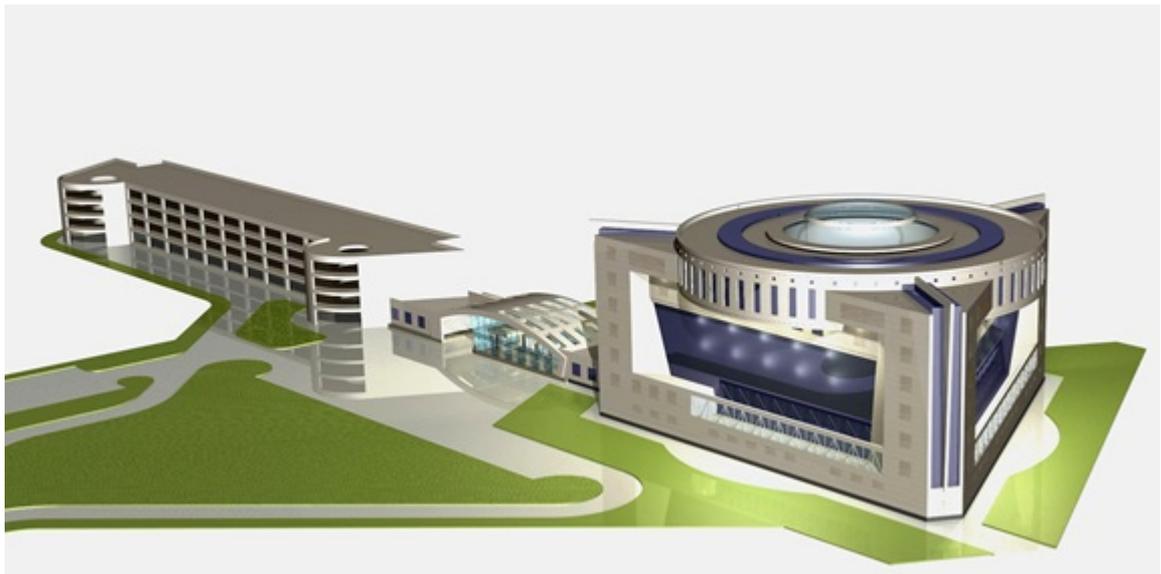


Рис. 45. Один из эскизов здания Центра NICA.

### 5.3.3. Экспериментальный павильон и зоны для прикладных исследований

Зоны и установки для прикладных исследований при энергиях ионов 1 - 4,5 ГэВ/н (примеры на рис. 46) в экспериментальном павильоне модернизируются. Модернизации подвергаются все основные системы каналов: диагностики, управления, вакуумная система и система питания, а также оборудование станций для прикладных исследований. Работы в этом направлении будут завершены в 2020 году.

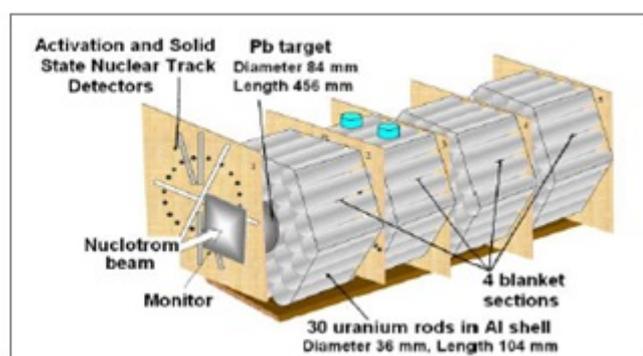


Рис. 46. Установка для медико-биологических исследований (а) и мишенный узел установки для проведения исследований в области энергетики и энергосбережения (б).

### 5.3.4. Криогенный комплекс

В рамках запланированных работ по реализации Комплекса NICA создается самая крупная в России криогенная система для производства холода при температуре жидкого гелия (4,5 К) и система для реконденсации азота производительностью 2300 кг/час (см. схему на рис. 47).

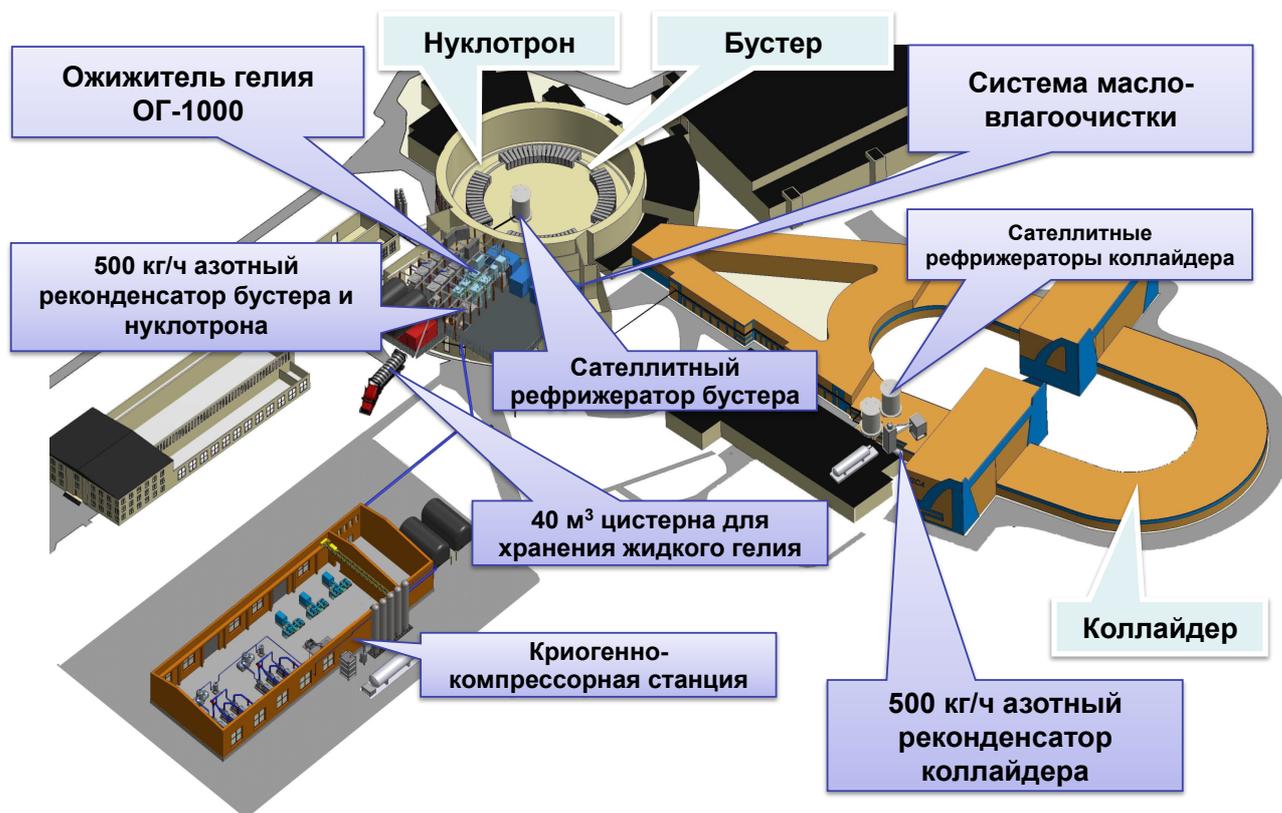


Рис. 47. Новые элементы криогенной системы.

Действующая часть криогенной системы, обеспечивающая работу Нуклотрона, включает две гелиевых установки КГУ-1600/4,5 (рис. 46, слева) суммарной холодопроизводительностью 4000 Вт при температуре 4,5К и компрессорную станцию с установленной мощностью двигателей 4,4 МВт. В ходе модернизации этой системы для нужд комплекса NICA ее холодопроизводительность будет увеличена до 10000 Вт.

В 2016 - 2017 годах запущены в эксплуатацию крупнейший в России ожижитель гелия ОГ-1000 производительностью 1000 л/час (рис. 48, в середине) и водооборотная система охлаждения компрессорной станции (рис. 48, справа).

Спроектировано, изготовлено и доставлено в ОИЯИ оборудование новой компрессорной станции установленной мощностью двигателей 9,6 МВт:

- гелиевые винтовые компрессора «Каскад-11/30» (2 шт)
- азотные турбокомпрессора «Samsung SM-5000» (2 шт)

- азотный турбокомпрессор «Аэроком 179/18»
- ожежитель азота ОА-1,3



Рис. 48. Гелиевые рефрижераторы КГУ-1600/4,5 (слева), ожежитель гелия ОГ-1000 (в середине) водооборотная система охлаждения компрессорной станции (справа).

Выполнен проект здания криогенно-компрессорной станции (схема на рис. 49), завершен тендер на выбор подрядчика и начато строительство.

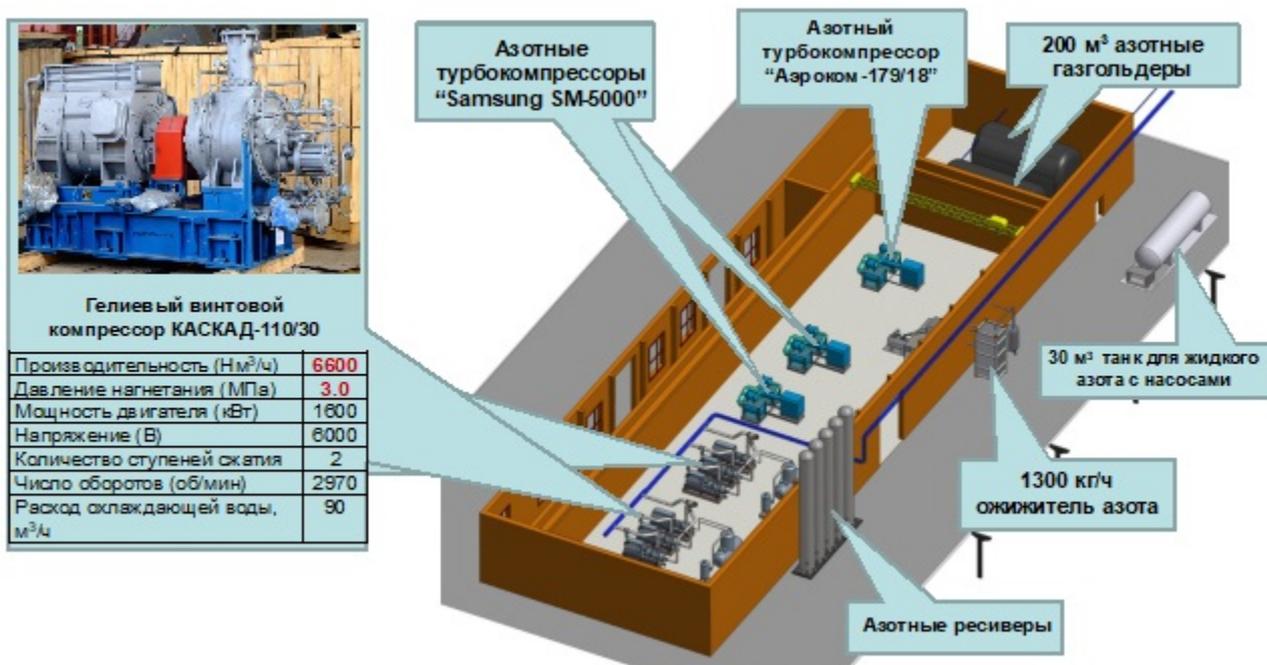


Рис. 49. Схема новой компрессорной станции криогенного комплекса.

В 1-ом квартале 2018 года будет завершено изготовление транспортной цистерны для перевозки и хранения жидкого гелия объемом 40 м³ и системы масло-влагоочистки сжатого гелия, состоящей из 4-х блоков МО-800. Два из них доставлены в ОИЯИ. Приобретены и смонтированы два мягких гелиевых газгольдера общим объёмом 200 м³. Ввод в действие этого оборудования запланирован на 2018 год.

Изготовлено оборудование системы реконденсации азота:

- емкости для хранения жидкого азота объемом 30 м<sup>3</sup> (3 шт);
- реконденсатор азота для бустера и Нуклотрона;
- ресиверы газообразного азота (5 шт);

Заключен договор и ведется проектирование трех спутниковых гелиевых рефрижераторов для бустера и коллайдера. Холодопроизводительность каждого из них – 2000 Вт при температуре 4,5 К.

Ввод в эксплуатацию криогенного комплекса в полной конфигурации запланирован на середину 2020 года.

### 5.3.5. Инфраструктура энергообеспечивающих и энергосберегающих инженерных систем

Большой объем работ выполнен в рамках проекта создания Комплекса по энергообеспечению всех объектов создаваемой научно-исследовательской инфраструктуры.

Успешно реконструирована и введена в эксплуатацию после получения акта Ростехнадзора электроподстанция №42 (рис. 50, слева, реконструирована и готова к вводу в эксплуатацию в начале 2018 года электроподстанция №13 (рис. 50, в середине). Подготовлен проект и закуплено в Польше оборудование для реконструкции электроподстанции №11 (рис. 50, справа).



Рис. 50. Реконструированные электроподстанции №42 (слева) и №13 (посередине), а также оборудование, закупленное для подстанции №11 (справа).

Проведен конкурс и оформляется договор на проектные работы по реконструкции электроподстанции №21, запуск в эксплуатацию которой планируется на середину 2019 года.

Реконструированы электрораспределительные щиты (РЩ) в корпусах, используемых подсистемами и технологическими участками производства элементов Комплекса NICA. На рис. 51 слева показан модернизированный РЩ корпуса 205, в котором расположена установка VM@N, справа – РЩ корпуса 217 технологического участка производства и сертификации сверхпроводящих

магнитов ускорительного блока Комплекса, введенные в эксплуатацию в 2017 году. Закуплено оборудование для РЩ системы электронного охлаждения пучка бустера и РЩ корпуса 216, в котором расположены компьютерный off-line кластер и технологические участки сборки элементов кремниевых детекторов (рис. 52, слева), сдать в эксплуатацию которые планируется к 3-му кварталу 2018 года. Реконструируется система оперативного тока, в рамках работ по которой закуплено оборудование для корпусов ускорительного блока 2, 1А, а также для 205 (см. пример на рис. 52, слева).



Рис. 51. Реконструированные РЩ корпусов 205 (слева) и 217 (справа).



Рис. 52. Оборудование для реконструкции системы оперативного тока.

Проведен конкурс и подготовлен договор на проектные работы по новой системе электропитания магнитных элементов каналов транспортировки пучков в корпусе №205, запуск в эксплуатацию которой планируется в конце 2020 года.

Работы в рамках развития энергообеспечивающих и энергосберегающих инженерных систем предполагают модернизацию объектов наружных сетей, работа по которым ведется постоянно.

## 5.4. Инновационный блок

### 5.4.1. Каналы и зоны для проведения инновационных и прикладных исследований

Подготовлено задание на проектирование новых каналов и зон для проведения инновационных прикладных исследований. Новые каналы транспортировки пучков с энергиями ионов 0,25 - 0,8 ГэВ/н и две экспериментальные установки, предназначены для медико-биологических исследований и облучения микроэлектронных компонентов для космических приложений будут размещены в «Измерительном павильоне» корпуса №1 (рис. 53). В корпусе №205 проектируется установка для проведения исследований в области энергетики и энергосбережения с использованием пучков ионов с энергиями 1 - 4,5 ГэВ/н.

Новые каналы и три установки для инновационных прикладных исследований будут введены в эксплуатацию в 2020 году.

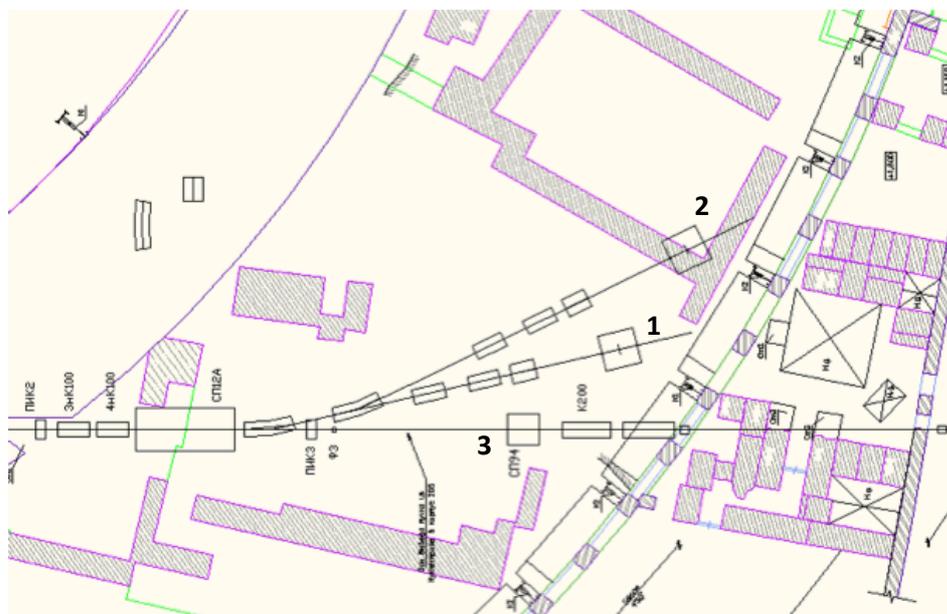


Рис. 53. Схема расположения экспериментальных установок и каналов транспортировки пучков к ним (слева): 1 - пучковый канал и установка для медико-биологических исследований; 2 - пучковый канал и установка для космических приложений; 3 - пучковый канал в корпус №205 и установка для проведения исследований в области энергетики и энергосбережения.

## 5.5. Компьютерно-информационный блок

### 5.5.1. Информационно-вычислительный комплекс

Распределенный информационно-вычислительный комплекс комплекса NICA в его базовой конфигурации должен обеспечить обработку и хранение до 10 петабайт данных в год. Комплекс состоит из территориально распределенных on-line и трех off-line кластеров, связанных между собой высокоскоростной компьютерной сетью с пропускной способностью до 100 ГВ/с. Прототипы всех кластеров реализованы. В 2015 году введен в эксплуатацию on-line кластер установки VM@N (рис. 54) и построен прототип on-line кластера установки MPD. На данный момент on-line кластер состоит из 576 ядер CPU, 9 ТБ RAM, 7 ТБ Flash памяти, 140 ТБ дисковой памяти для сырых данных. On-line кластер соединен напрямую по оптоволоконным линиям связи пропускной способностью 110 Gb/s с действующей системой сбора данных установки VM@N и тестовыми стендами детекторов установки MPD.



Рис. 54. Прототип on-line кластера комплекса NICA.

Прототипы off-line кластеров ЛФВЭ (рис. 55, слева) и ЛИТ (хранилище данных кластера ЛИТ на рис. 55, в середине) способны обеспечить в настоящее время обработку и хранение до одного петабайта данных. В составе прототипа кластера ЛИТ – до 500 CPU и 1 ПБ дисковой и ленточной памяти, кластера ЛФВЭ - около 400 CPU и до 200 ТБ дисковой памяти. Реализуемый в

настоящее время кластер ЛФВЭ (рис. 55, справа) рассчитан на 1000 CPU ядер и 0,5 ПБ дисков в 2017 году и на 5000 CPU ядер 5,0 ПБ в 2020 году.



Рис. 55. Прототип *off-line* кластера ЛФВЭ (слева), хранилище данных кластера ЛИТ (в середине) и создаваемый *off-line* кластер ЛФВЭ (справа).

Главный элемент информационно-компьютерного комплекса проекта NICA проектируется в составе нового корпуса Центра NICA. Комплекс планируется вводить в эксплуатацию поэтапно с 2018 до 2020 года, достигнув в 2020 году его проектных параметров.

### 5.6. Динамические характеристики влияния проекта NICA на расширение сотрудничества и вовлечения новых участников в проект

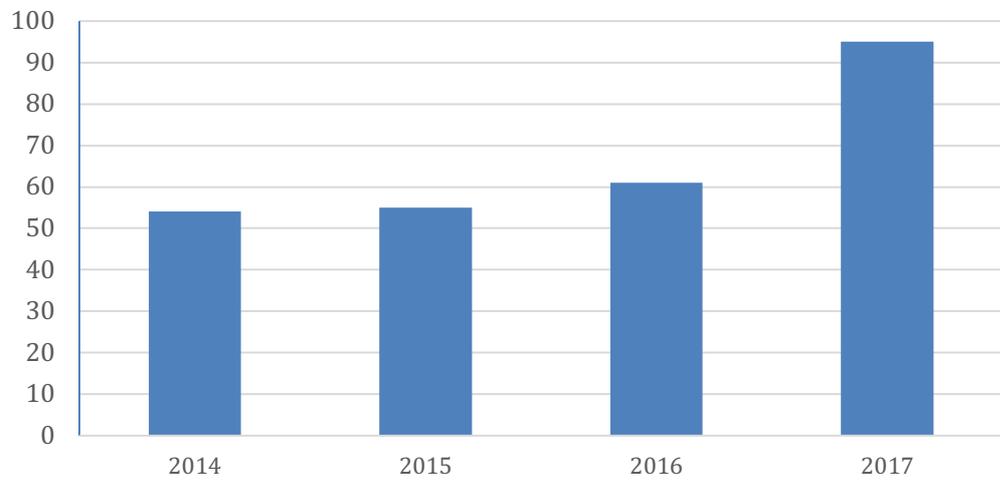
Некоторые динамические характеристики расширения сотрудничества и вовлечения новых участников в проект NICA приведены в таблице 9 и на графиках этого раздела отчета.

Таблица 9.

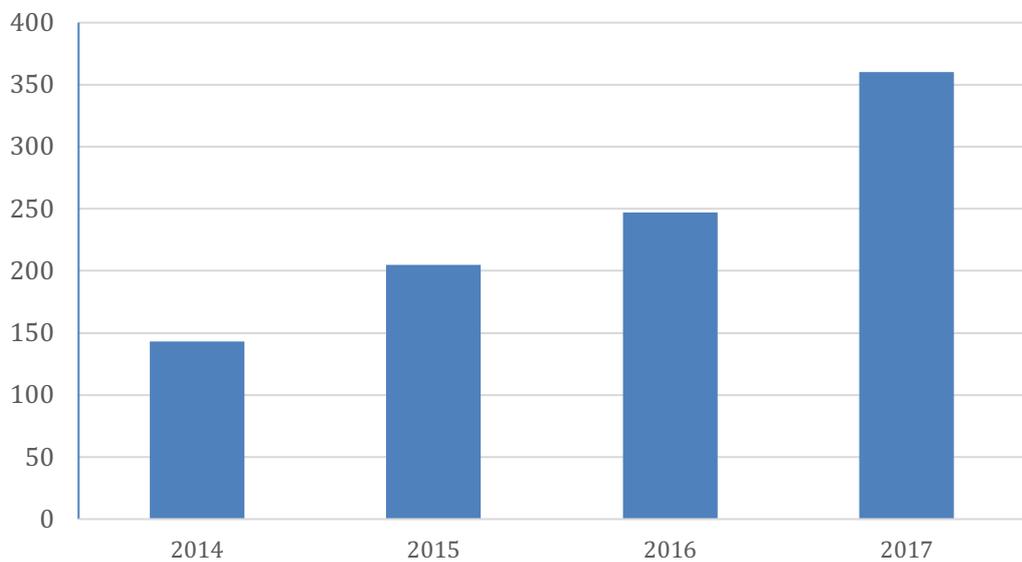
Динамика расширения сотрудничества в проектах ЛФВЭ 2014-2017 годах.

	Годы				Итого
	2014	2015	2016	2017	Итого
Участие студентов в практиках	54	55	61	95	265
Краткосрочные командировки представителей университетов и организаций стран членов ОИЯИ	111	131	175	247	664
Краткосрочные командировки представителей университетов и организаций других стран	32	74	72	113	291
Общее количество визитеров	143	205	247	360	955
Прием на работу сотрудников 18-35 лет	24	34	41	44	143

Количество студенческих практик



Количество визитеров





### 5.7. Организационное и финансовое обеспечение работ

В соответствии с требованиями Соглашения между Правительством РФ и ОИЯИ приказом по ОИЯИ №767 от 18.11.2016 г. создан Наблюдательный совет проекта «Комплекс NICA» и утверждено Положение о Наблюдательном совете. Состав Наблюдательного совета расширен приказом по ОИЯИ №774 от 20.11.2017 г. На первом заседании Наблюдательного совета избран его председатель – директор ОИЯИ В.А.Матвеев, согласованы кандидатуры руководителя проекта В.Д.Кекелидзе и руководителя дирекции проекта Р.Ледницки. Создана дирекция проекта (приказ по ОИЯИ №798 от 29.11.2017 г.). С 2013 года работает Координационный комитет (приказ по ОИЯИ №2 от 11.01.2011 г.), состав которого расширен в 2017 году (приказ по ОИЯИ № 799 от 29.11.2017 г.).

С конца 2016 года финансирование работ осуществляется в соответствии с откорректированными и одобренными Наблюдательным советом планами расходования средств по проекту.

При реализации проекта «Комплекс NICA широко используется система управления крупными проектами EVM, разработанная в ЦЕРН. В 2010 году в соответствии с подписанным Соглашением с ЦЕРН эта система была адаптирована совместными усилиями под работы, выполняемые в ОИЯИ, и внедрена с 2014 года в проект. Приводимые далее финансовые данные и информация о выполнении работ по созданию отдельных блоков и объектов комплекса получена с ее использованием.

Суммарные расходы по исполненным или находящимся на стадии исполнения заключенным договорам и контрактам составляют 11 241,4 млн. руб. в фактических ценах, необходимые затраты на 2018 – 2020 годы для полной реализации проекта базовой конфигурации комплекса NICA в этих же

ценах – 15 907,4 млн. руб. Таким образом, полная стоимость проекта «Комплекс NICA», реализуемого в рамках Соглашения – 27 148,8 млн. руб.

### **Заключение**

Работа над реализацией базовой конфигурации Комплекса NICA в рамках проекта класса мега-сайенс «Комплекс сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов» (Комплекс NICA) проводится в соответствии с заключенным Соглашением между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ и выполняется в соответствии с намеченными планами.