

Создание установки для проведения измерений с тестовыми пучками
электронов в ЛЯП

ЛИНАК-200

04-2-1126-2015/2020

ЛЯП: Акоста Э., Баранов В.Ю., Бруква А.Е., Будагов Ю.А., Гаранжа Н.И., Глаголев В.В., Госткин М.И., Грицай К.И., Давыдов Ю.И., Демин Д.В., Дятлов А.С., Жемчугов А.С., Кобец В.В., Коровяков В.Д., Красноперов А.В., Ноздрин А.А., Пороховой С.Ю., Сорокин А.Г., Шабратов В.Г., Ширков Г.Д., Шокин Д.С., Юненко К.Е.

ЛФВЭ: Следнева А.С.

УНЦ: Белозеров Д.С., Верламов К.А., Гикал К.Б., Злыденный Д.А., Ноздрин М.А.

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА КОБЕЦ В.В.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА ГОСТКИН М.И.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА ШИРКОВ Г.Д.

ДАТА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА В НОО _____

ДАТА НТС ЛАБОРАТОРИИ _____ НОМЕР ДОКУМЕНТА _____

ДАТА НАЧАЛА ПРОЕКТА _____

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА

Создание установки для проведения измерений с тестовыми пучками
электронов в ЛЯП

ЛИНАК-200

04-2-1126-2015/2020

Кобец Валерий Васильевич

УТВЕРЖДЕН ДИРЕКТОРОМ ОИЯИ

СОГЛАСОВАНО

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ОИЯИ

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР

НАЧАЛЬНИК НОО

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

ЗАМ. РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА

ОДОБРЕН

ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

Содержание

Аннотация.....	4
Введение.....	5
Доступные тестовые пучки электронов.....	6
Историческая справка и текущее состояние установки ЛИНАК-200.....	7
Характеристики ускорителя ЛИНАК-200.....	7
Цель и задачи проекта.....	8
Монтаж, пусконаладка и запуск ускорительных станций А05-А12.....	9
Модернизация систем ускорителя для достижения требуемых характеристик тестовых пучков электронов.....	9
Создание каналов для вывода пучка электронов.....	10
План работ.....	10
Образовательная программа.....	11
Кадровые ресурсы.....	11
Краткий ССВУ-анализ.....	11
Смета затрат по проекту.....	14

Аннотация

Научно-методические исследования детекторов элементарных частиц являются необходимым условием прогресса ядерной физики и физики высоких энергий. Подготовка экспериментов на будущих ускорителях требует создания новых типов детекторов, способных справляться с большими нагрузками и обеспечивать требуемую точность и эффективность регистрации частиц. Разработка новых детекторов также важна для прикладных исследований, опирающихся на использование источников синхротронного излучения и интенсивных рентгеновских установок. В частности, начало исследований на комплексе XFEL и создание в странах-участницах ОИЯИ новых источников СИ и сверхмощных лазеров обуславливают создание экспериментальных станций на основе детекторов с высоким пространственным и энергетическим разрешением.

Возможность тестирования прототипов детекторов на тестовых пучках играет решающую роль при научно-методических исследованиях. Отсутствие установок с тестовыми пучками электронов в ОИЯИ значительно замедляет прогресс в создании новых типов электромагнитных калориметров, фотонных детекторов изображений и радиационно-стойких детекторов для будущих коллайдерных экспериментов. Целью представленного проекта является модернизация линейного ускорителя электронов ЛИНАК-200 и создание на его основе тестовых пучков электронов с энергиями до 800 МэВ. Предусматривается использование установки ЛИНАК-200 для прикладных исследований (радиационное материаловедение, радиационная генетика и т.п.), а также в образовательных целях.

Авторский коллектив включает в себя специалистов в области ускорительной техники, осуществивших в 2017 году физический пуск установки ЛИНАК-200 на энергии 220 МэВ, а также физиков-экспериментаторов и специалистов в области разработки и создания детекторов элементарных частиц.

Бюджет проекта составляет 805 kUSD на 2019-2021 год.

Введение

Научно-методические исследования по созданию новых типов детекторов являются необходимым условием дальнейшего развития экспериментальной физики атомного ядра и элементарных частиц. В частности, подготовка экспериментов на ускорителях нового поколения (ILC, CLIC, CEPC, HL-LHC) требует разработки новых типов детекторов, способных работать в условиях высокой загрузки и обеспечить при этом требуемые быстродействие, точность и эффективность регистрации [1-4]. В отличие от экспериментов на LEP, Тэватроне и LHC, на первое место среди требований часто выходит радиационная стойкость, что обусловлено как длительным временем работы проектируемых установок, так и гораздо более высокой, по сравнению с существующими ускорительными комплексами, загрузкой в результате высокой энергии пучков и светимости будущих ускорителей.

Очевидно, что разработки новых детекторов не ограничиваются только будущими коллайдерными экспериментами. В качестве примеров можно привести эксперименты по поиску безнейтринной конверсии мюона в электрон, в которых требуется выделение крайне слабого сигнала от электронов с определенной энергией [5, 6], а также нейтринные эксперименты нового поколения, для которых разрабатываются детекторы с высоким временным разрешением, способные значительно подавить фоновые события за счёт выделения направления движения нейтрино путём разделения черенковского света и фотонов от сцинтилляции [7]. При испытании детекторов такого рода представляет трудность высокая интенсивность пучка существующих ускорителей, приводящая к наложениям сигналов от многих ускоренных частиц. Для устранения этой проблемы важно иметь возможность получать пучки ускоренных частиц с низкой интенсивностью (несколько десятков или сотен электронов в секунду), что позволит регистрировать отклик детектора на единичную падающую частицу.

Создание новых типов детекторов элементарных частиц важно не только для физики высоких энергий. Будущее таких наук, как биология, материаловедение и медицина сегодня тесно связано с исследованиями с помощью источников синхротронного, рентгеновского излучения и других ядерно-физических методов. В ближайшее десятилетие ожидается не только рост экспериментов на комплексе XFEL, но и запуск новых синхротронных источников и сверхмощных импульсных лазеров, создаваемых в государствах-членах ОИЯИ.

При изучении характеристик прототипов детекторов в ходе научно-методических исследований, а также при контроле качества во время мелкосерийного производства непременно используются источники элементарных частиц. Наиболее доступными и распространёнными являются космические лучи и радионуклидные источники, однако использование пучков заряженных частиц на ускорителе обладает рядом неопределимых преимуществ, таких как высокая энергия и плотность потока частиц, возможность их надёжной идентификации, возможность контроля энергии частиц, временная и координатная привязка. Некоторые характеристики детекторов просто невозможно определить без использования пучков частиц с ускорителей. Однако, в настоящее время возможности тестовых пучков частиц в ЛЯП и в ОИЯИ в целом крайне ограничены. Получение частиц с энергией 100 МэВ и выше возможно лишь на нуклотроне и фазотроне, при этом доступны только пучки протонов и тяжёлых ионов. Источник электронов высокой энергии и хорошего качества в ОИЯИ отсутствует. Географически ближайшим источником электронов такого рода является синхротрон С-25Р «Пахра» ФИАН на энергию 1 ГэВ, запущенный в 1974 году, который не имеет оборудованных тестовых пучков.

Технические характеристики ускорителя ЛИНАК-200 позволяют создать на его основе развитую систему тестовых пучков для научно-методических исследований детекторов в интересах ЛЯП, а также других лабораторий и государств-членов Института, и тем самым превратить его в новую базовую установку ОИЯИ.

Доступные тестовые пучки электронов

В настоящее время в мире существует около десятка ускорительных центров, в которых возможны измерения с тестовыми пучками электронов (см. таблицу). Однако, работа на тестовых пучках в международных центрах влечёт за собой затраты на перевозку и обслуживание оборудования, а также задержки, поскольку смены на тестовых пучках, как правило, распределены на годы вперёд.

Научный центр	Год создания ускорителя/пучков	Тип частиц	Диапазон энергий [МэВ]	dP/P [%]	Количество оборудованных линий
BTf (Фраскати, Италия)	1997/2003	e^{\pm}	25-750	1	1
ELPH (Тохоку, Япония)	1997/2006	e^{\pm}	< 850	1	1
БЕРС-II (ИФВЭ АН КНР, Пекин)	2008	e^{-} e^{\pm} (втор.)	1100 - 1500 400 - 1200	1	3
FTBL (КЕК, Япония)	1998/2007	e^{-}	500-3400	0,4	1
DESY-II (Германия)		e^{-}	1000-6000	1	3
CERN PS (Швейцария)	1960	e , адроны, μ	$(1-15)*10^3$		4
CERN SPS (Швейцария)	1976	e , адроны, μ	$(10-400)*10^3$		4
FTBF (FNAL, США)	1999	e^{-} , π^{-} , μ	$(1-66)*10^3$		1
SLAC (США)	1999	e^{-} e , адроны (втор.)	$13,6*10^3$ (0,1- $13,6)*10^3$	0,1- 1,3	1
ИФВЭ (Протвино, РФ)	1967	e , адроны, μ	$(1-45)*10^3$		4
ИЯФ СО РАН (Новосибирск, РФ)	1994/2012	e^{-}	100-3500	1,8-2	1
ФИАН (Троицк, РФ)	1974	e^{-}	300-1300		0
ЕрФИ (Армения)	1967	e^{-}	75 6000		0
<i>LINAC-200 (ОИЯИ)</i>	<i>1975/2020</i>	<i>e^{-}</i>	<i>20 - 800</i>	<i>1</i>	<i>6</i>

Историческая справка и текущее состояние установки ЛИНАК-200.

Линейный ускоритель электронов ЛИНАК-200 создаётся на основе ускорителя MEA, перевезённого в ОИЯИ из NIKHEF (Нидерланды) в 1999-2000 г. Ускоритель MEA (Medium Energy Accelerator) с проектной энергией 800 МэВ был произведён корпорацией Haimson Research (США) в 1975 году как часть будущего ускорительного комплекса NIKHEF. В 1980 году ускоритель MEA был введён в эксплуатацию с энергией электронов 700 МэВ и применялся для ядерно-физических исследований в NIKHEF до 1990 года. В 1990 году после модернизации ускоритель MEA использовался для заполнения накопительного кольца AmPS. В конце 1998 года ускорительный комплекс был выведен из эксплуатации. Оборудование ускорителя MEA и кольца AmPS было безвозмездно передано в ОИЯИ, для создания на его основе источника синхротронного излучения третьего поколения DELSY. В рамках проекта DELSY в 2003 году был начат монтаж первой очереди линейного ускорителя MEA в помещении ускорителя ЛИУ-30 в зд. 118 ЛНФ. Однако, по причине недостаточного финансирования проект DELSY в 2005 году был остановлен, а линейный ускоритель электронов было предложено использовать для создания на его основе лазера на свободных электронах (установка ЛИНАК-800). В 2007 г. была смонтирована электронная пушка и получен ток электронов 30 мА при рабочем напряжении 50 кВ. Годом позже был запущен высоковольтный источник питания пушки на 400 кВ. В 2011 году была смонтирована ускорительная станция №1 и осуществлена проводка пучка через первую ускоряющую секцию. В 2015 году была смонтирована ускорительная станция №2 и достигнута энергия электронов 60 МэВ. В 2016 году были смонтированы ускорительные станции №3 и №4, и в августе 2017 года осуществлён физический пуск установки ЛИНАК-200 (первой очереди установки ЛИНАК-800) с энергией электронов 220 МэВ.

Параллельно с проведением пусконаладочных работ на установке ЛИНАК-200 с 2014 года ведутся научно методические работы по исследованию прототипов детекторов группами Mu2e, Medipix и ТРИТОН (ЛЯП). Кроме того, силами научно-инженерной группы УНЦ в 2014-2016 году был создан "учебный" пучок электронов и ведётся подготовка образовательных программ с его использованием для обучения студентов и повышения квалификации специалистов из ОИЯИ и государств-членов Института.

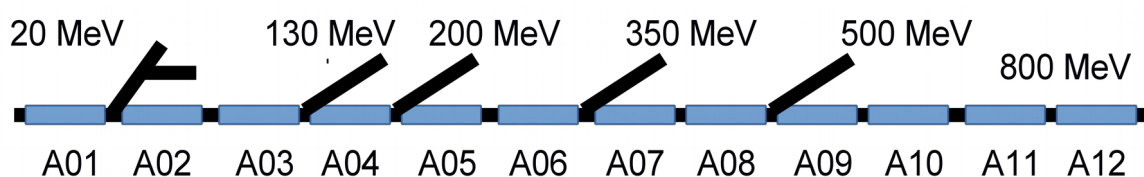


Рис. 1 Схема ускорителя ЛИНАК-200.

Характеристики ускорителя ЛИНАК-200

Линейный ускоритель с системами инженерного обеспечения размещается в зд. 118 площадки ЛЯП на месте устаревшего демонтированного ускорителя электронов ЛИУ-30. На первом этаже здания, в защитном бетонном каньоне размещены ускоряющие структуры ЛИНАК-200. На втором этаже размещены модуляторы и ВЧ-системы ускорителя. Инжекторная часть ускорителя располагается со стороны реактора ИБР-2. Длина линейного ускорителя составляет 180 метров.

Линейный ускоритель электронов ЛИНАК-200 состоит из инжектора, группирователя и 12 ускорительных станций. В составе 12 ускорительных станций ЛИНАК-200 способен ускорять электроны до энергии 800 МэВ. В настоящее время

смонтированы инжектор, группирователь и 4 ускоряющих станции (A01-A04), способные ускорять электроны до энергии 220 МэВ. Установка дополнительных резонаторов системы компрессии энергии (СКЭ) позволяет достичь энергии 2 ГэВ за счёт снижения интенсивности пучка. Структура пучка импульсная, с импульсами длительностью 0,1-3 мкс. Ток в импульсе может быть задан в широком диапазоне значений, от 40 мА до практически нулевых значений. Частота следования импульсов задаётся в диапазоне от 1 до 100 Гц, что соответствует интенсивности электронов от единиц до 10^{13} е/с. Возможность изменения интенсивности электронов в таких широких пределах является одним из основных преимуществ ускорителя ЛИНАК-200, позволяющим проводить исследования как детекторов с предельно малыми нагрузками (например, детекторов электронных нейтрино или калориметров для экспериментов по поиску безнейтринной конверсии мюона в электрон), так и детекторов, важным требованием к которым является высокая радиационная стойкость (например, детекторы для экспериментов на будущих электрон-позитронных коллайдерах). При достижении энергии пучка 800 МэВ и выше возможно создание источника синхротронного и переходного излучения в мягком рентгеновском диапазоне для изучения характеристик детекторов изображений и проведения прикладных исследований.

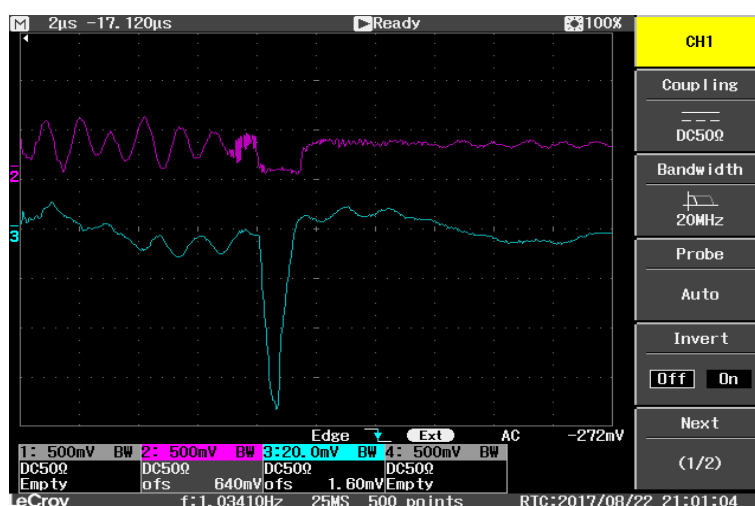


Рис. 2: Физический пуск станции A04 (верхний луч - ток пучка электронов после 1-й ускорительной станции, энергия 20 МэВ, нижний луч – после 4-й ускорительной станции, энергия 220 МэВ.)

Цель и задачи проекта

Целью предлагаемого проекта является создание на базе линейного ускорителя ЛИНАК-200 установки для проведения измерений с тестовыми пучками электронов с энергией до 800 МэВ и доведение доступного для экспериментов времени до 500 часов в 2021 году.

Для достижения этой цели должны быть решены следующие задачи:

1. Монтаж, пусконаладка и запуск 8 ускорительных станций (A05-A12).
2. Модернизация систем ускорителя для достижения требуемых характеристик тестовых пучков электронов.
3. Создание 4 каналов для вывода пучка электронов в атмосферу, оборудованных необходимыми средствами измерения характеристик пучка, креплениями и защитой.

Монтаж, пусконаладка и запуск ускорительных станций А05-А12.

Основные элементы ускорительных станций А05-А12 также были переданы в ОИЯИ из NIKHEF и хранятся в зд.118. Для запуска ускорительных станций должно быть приобретено оборудование для системы термостабилизации ускоряющих секций и электроника управления модуляторами. Кроме того, требуется расширение существующей системы синхронизации станций. Непосредственно для монтажа оставшихся секций ускорителя необходимо подготовить отверстия для волноводов и труб системы термостабилизации в бетонном перекрытии между ускорительным и модуляторным залами. Монтаж, пусконаладка и физический пуск станций А05-А12 может быть выполнен в течение двух лет.

Модернизация систем ускорителя для достижения требуемых характеристик тестовых пучков электронов.

Устаревшими и требующими модернизации являются:

- а) вакуумная система;
- б) автоматизированная система управления и контроля (АСКУ);
- в) инструменты диагностики пучка.

Вакуумная системы ускорителя ЛИНАК-200 построена по модульному принципу: каждый модуль системы обеспечивает откачку одной ускорительной станции. Кроме того, откачными агрегатами обеспечены пушка с первым участком дрейфа, межстанционные дрейфовые участки и линия настройки пучка.

В качестве основных откачных средств используются геттероионные магнитоэлектрические вакуумные насосы. За исключением трёх агрегатов General Electric 22TP250, 100 л/сек, установленных на пушке, первом дрейфовом участке и на входе в группирователь, все остальные агрегаты представляют собой насосы фирмы VARIAN: типа 911-5032 производительностью 30 л/сек (волноводы, дрейфовые участки), типа 911-5043 производительностью 60 л/сек (входы в секции) и 100 л/сек (линия настройки пучка). Вакуумные насосы выработали свой ресурс и являются основной причиной отказов при эксплуатации ускорителя. В ходе выполнения проекта предполагается поэтапная замена всех вакуумных насосов, а также установка вакуумметров с возможностью автоматизированного сбора показаний.

Основными задачами автоматизированной системы управления и контроля ускорителя ЛИНАК-200 являются: мониторинг и контроль рабочих параметров оборудования ускорителя и каналов вывода пучка, мониторинг параметров пучка (положение, профиль, эмиттанс, ток, разброс энергии и т.д.), контроль радиационной обстановки, а также защита элементов ускорителя и персонала при выходе параметров за установленные пределы. АСКУ ЛИНАК-200 будет построена на основе SCADA-системы Tango-Controls [8]. Контроль и управление основным оборудованием ускорительных станций будут осуществляться с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК) Weltek. Каждая ускорительная станция обслуживается одним ПЛК. Планируется приём информации с СВЧ-детекторов, вакуумметров, диагностических датчиков и автоматизированное управление источниками питания поворотных магнитов, квадрупольных линз, фокусирующих соленоидов и корректирующих катушек.

Диагностика пучка осуществляется с помощью детекторов, установленных в дрейфовых промежутках. Система диагностики пучка включает в себя датчики горизонтального и вертикального положения пучка, комптоновский детектор потерь пучка, индукционный датчик. Дополнительно могут использоваться монитор

фокусного пятна и система измерения профиля пучка. Для съёма информации с диагностических датчиков требуется разработать систему автоматизированного сбора данных, сопряжённую с АСКУ.

Создание каналов для вывода пучка электронов

В настоящее время существует два канала вывода пучка из дрейфового промежутка после ускорительной станции А01. Один из этих каналов предназначен для реализации образовательных программ. Второй канал позволяет проводить измерения с тестовым пучком электронов с энергий 20 МэВ.

В ходе выполнения данного проекта планируется создание ещё 4 каналов вывода пучка: из дрейфового промежутка после ускорительной станции А03 (энергия электронов 130 МэВ), А04 (энергия 200 МэВ), А06 (энергия 350 МэВ) и А08 (энергия 500 МэВ). Энергетический разброс пучка не должен превышать 1%. Должна быть обеспечена возможность фокусировки пучка с размером фокусного пятна менее 1 мм, а также возможность дефокусировки для обеспечения равномерной засветки в области размером 20 см x 20 см. Интенсивность пучка должна варьироваться в от диапазоне единиц до 10^{13} е/с и изменяться не более чем на 5% при проведении измерений.

Каждый канал вывода пучка включают в себя поворотный магнит, квадрупольные линзы для фокусировки пучка, горизонтальный и вертикальный коллиматоры и вакуумный тракт для транспортировки пучка и вывода его в атмосферу. Каждый тестовый пучок должен быть оборудован аппаратурой для измерения и мониторинга характеристик пучка (энергии, координаты и направления, интенсивности). Для этого будут применяться калориметры на основе ВГО, координатные годоскопы и детекторы измерения профиля пучка, цилиндры Фарадея и индукционные датчики. Тестовые пучки должны иметь необходимый набор штатных креплений для облучения детекторов и необходимую локальную защиту для уменьшения радиационной нагрузки и улучшения фоновых условий при проведении измерений.

Важной задачей при создании каналов вывода тестовых пучков является систематическое исследование характеристик пучка и моделирование для оптимизации условий измерений.

План работ

2018 год - подготовка технического проекта модернизации установки ЛИНАК-200 и тестовых пучков

В 2019 году планируется выполнить следующие работы:

- Модернизация вакуумной системы на станциях А01-А04
- Создание АСКУ ускорителя
- Оборудование канала вывода пучка после станции А01 средствами диагностики
- Исследование свойств выведенного пучка и получение необходимых режимов работы ускорителя
- 200 часов ускорительного времени для исследований детекторов
- Начало занятий на "учебном" пучке

В 2020 году планируется выполнить следующие работы:

- Монтаж и пусконаладочные работы на ускорительных станциях А05-А08
- Создание каналов вывода пучка после станций А03 и А04

- Исследование свойств выведенного пучка после станций А03 и А04 и получение необходимых режимов работы ускорителя
- 300 часов ускорительного времени для исследований детекторов

В 2021 году планируется выполнить следующие работы:

- Монтаж и пусконаладочные работы на ускорительных станциях А09-А12
- Создание каналов вывода пучка после станций А06 и А08
- Исследование свойств выведенного пучка после станций А06 и А08 и получение необходимых режимов работы ускорителя
- 500 часов ускорительного времени для исследований детекторов

Образовательная программа

На "учебном" канале пучка установки ЛИНАК-200 возможно проведение следующих практических занятий: работа с элементами вакуумного тракта; изучение магнитной оптики (диполь, квадрупольные линзы, секступоль); диагностика пучка, определение эмиттанса.

Кроме того, на установке ЛИНАК-200 можно проводить практические занятия по исследованию отклика детекторов элементарных частиц. В перспективе, планируются лабораторные работы по измерению рассеяния электронов на ядрах, исследованию гигантских резонансов и т.д.

Кадровые ресурсы.

Все работы в рамках проекта будут выполняться сотрудниками сектора №4 НЭОВП ЛЯП. Штатная численность сектора 18 человек. В состав сектора входят две группы: группа модуляторов и ВЧ-систем и технологическая группа. В ходе реализации проекта предусматривается привлечение в сектор молодых специалистов в области ускорительной техники, вакуумной и ВЧ-техники, автоматизации физических установок.

Реализация образовательной программы с использованием установки ЛИНАК-200 будет выполняться силами Научно-инженерной группы УНЦ.

Краткий ССВУ¹-анализ

Сильные стороны проекта

1. Установка ЛИНАК-200 является единственным источником тестовых пучков электронов высокой энергии в ОИЯИ. Реализация проекта позволит в значительной степени закрыть потребности научных групп Института (в первую очередь, ЛЯП и ЛФВЭ) в электронных пучках для исследований разрабатываемых в ОИЯИ детекторов элементарных частиц.

2. Установка ЛИНАК-200 создаётся на основе ускорителя МЕА, имеющего проверенную конструкцию и богатый опыт эксплуатации. Первая очередь установки уже смонтирована и осуществлён физический пуск на энергии 220 МэВ. Коллектив авторов проекта имеет опыт монтажа и пусконаладки элементов ускорителя, детально знаком с конструкцией и характеристиками отдельных его узлов.

3. Установку можно использовать в образовательных целях для подготовки кадров из ОИЯИ и государств-членов Института.

Слабые стороны проекта

¹ ССВУ (англ. SWOT) — сильные, слабые стороны, возможности, угрозы

1. Установка создаётся на основе ускорителя МЕА, который был произведён более 40 лет назад. Несмотря на ряд модернизаций, произведённых в НИКНЕФ, часть оборудования ускорителя является устаревшей и нуждается в замене. Некоторые системы, в частности система автоматизации и управления, должны быть разработаны и созданы заново.

2. Команда, осуществляющая монтаж, пусконаладку и в перспективе эксплуатацию ускорителя, нуждается в притоке молодых специалистов в области ускорительной техники, вакуумной и ВЧ-техники, автоматизации физических установок.

Возможности

1. Возможен доступ к тестовым пучкам для научных групп из государств-членов ОИЯИ.

2. Установка может использоваться для подготовки кадров в области ускорительной техники, вакуумной и ВЧ-техники, автоматизации физических установок, включая обучение студентов и повышение квалификации инженеров и научных сотрудников.

3. На базе установки ЛИНАК-200 технически возможно создание источника СИ, лазера на свободных электронах, а также повышение энергии электронов до 2,0 ГэВ.

Угрозы

1. Ограничение финансирования, которое не позволит завершить пусконаладочные работы и изготовление оборудования, необходимого для создания тестовых пучков электронов.

Литература

1. Brau J. et al., ILC Reference Design Report Volume 1 - Executive Summary (2007) arXiv:0712.1950

2. Linssen L. et al., Physics and Detectors at CLIC: CLIC Conceptual Design Report (2012) CERN-2012-003, ANL-HEP-TR-12-01, DESY-12-008, KEK-REPORT-2011-7, arXiv:1202.5940

3. CEPC-SPPC Preliminary Conceptual Design Report. 1. Physics and Detector (2015) IHEP-CEPC-DR-2015-01, IHEP-TH-2015-01, IHEP-EP-2015-01

4. D.Contardo, Detector R&D for the HL-LHC upgrade (2015) PoS (EPS-HEP2015) 018

5. Abrams R.J. et al., Mu2e Conceptual Design Report (2012) Fermilab-TM-2545, arXiv:1211.7019

6. Cui Y.G. et al., Conceptual design report for experimental search for lepton flavor violating $\mu^- \rightarrow e^-$ conversion at sensitivity of 10^{-16} with a slow-extracted bunched proton beam (COMET) (2009) KEK-2009-10

7. Alonso J.R. et al., Advanced Scintillator Detector Concept (ASDC): A Concept Paper on the Physics Potential of Water-Based Liquid Scintillator (2014) BNL-106082-2014-JA, arXiv:1409.5864

8. <http://www.tango-controls.org/>

**ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПЛАН-ГРАФИК И НЕОБХОДИМЫЕ РЕСУРСЫ
ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЕКТА:
СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ТЕСТОВЫМИ
ПУЧКАМИ ЭЛЕКТРОНОВ В ЛЯП (ЛИНАК-200)**

	Стоимость узлов (тыс.долл.) Потребности в ресурсах	Предложения лабораторий по распределению финансирования и ресурсов.		
		2019	2020	2021
Материалы	75	25	25	25
Оборудование	720	240	240	240
Монтаж и пусконаладка станций А05-А12	240	80	80	80
<i>ремонт катушек клистронов</i>	<i>60</i>	<i>20</i>	<i>20</i>	<i>20</i>
<i>система охлаждения и термостабилизации</i>	<i>180</i>	<i>60</i>	<i>60</i>	<i>60</i>
Модернизация ускорителя	330	110	110	110
Замена вакуумных насосов	240	80	80	80
Разработка АСКУ	60	20	20	20
Диагностика пучка	30	10	10	10
Создание каналов вывода пучка	150	50	50	50
Магниты и коллиматоры	54	18	18	18
Детекторы	36	12	12	12
Вакуумный тракт	60	20	20	20
Командировочные расходы	10	2	4	4
Необходимые ресурсы (нормо-часы).				
ОП ОИЯИ:	---	--	--	--
ЛЯП: - мастерские; КО	3000	1000	1000	1000
Ускоритель, Реактор	---	--	--	--
ЭВМ	---	--	--	--
Эксплуатационные расходы	---	--	--	--
Источники финансирования (kUSD)				
Бюджет ОИЯИ	805	267	269	269
Внебюджетные средства	---	--	--	--

Руководитель проекта

В.В.Кобец

Заместитель руководителя проекта

М.И.Госткин

Смета затрат по проекту

СОЗДАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ТЕСТОВЫМИ
ПУЧКАМИ ЭЛЕКТРОНОВ В ЛЯП (ЛИНАК-200)

ШИФР ТЕМЫ: 04-2-1126-2015/2020

№	Наименование статей затрат	Полная сумма	2019	2020	2021
	Прямые расходы на проект				
1	Ускоритель, реактор	--	--	--	--
2	ЭВМ	--	--	--	--
3	Материалы	75	25	25	25
4	Оборудование	720	240	240	240
5	НИОКР	--	--	--	--
7	Командировочные расходы				
	а) в страны нерублёвой зоны	5	1	2	2
	б) в страны рублевой зоны	5	1	2	2
	Итого по прямым расходам :	805	267	269	269

Руководитель проекта

В.В.Кобец

Заместитель руководителя проекта

М.И.Госткин

Директор Лаборатории

В.А.Бедняков

Ведущий инженер-экономист Лаборатории

Г.А.Усова

**Proposed Time-Schedule and Necessary Resources
for implementation of Project
ELECTRON TESTBEAM FACILITY FOR DETECTOR R&D (LINAC-200)**

Parts and systems of set-up, resources and sources of financial support.	Cost of parts of set-up. Required financial support.	Profile proposed by Laboratory.		
Main parts and equipment (kUSD)				
		2019	2020	2021
Materials	75	25	25	25
Equipment	720	240	240	240
A05-A12 station commissioning	240	80	80	80
<i>clystron coils recovery</i>	60	20	20	20
<i>cooling and heat setting system</i>	180	60	60	60
Accelerator upgrade	330	110	110	110
<i>Vacuum pumps replacement</i>	240	80	80	80
<i>Monitoring and control</i>	60	20	20	20
<i>Beam diagnostics</i>	30	10	10	10
Testbeam construction (4 beams)	150	50	50	50
<i>Magnets and collimators</i>	54	18	18	18
<i>Detectors</i>	36	12	12	12
<i>Vacuum pipes, valves and windows</i>	60	20	20	20
Travel costs	10	2	4	4
Necessary manpower support (man-hours)				
JINR Central workshop:	---	--	--	--
LNP: - workshop; - design bureau	3000	1000	1000	1000
Accelerator, Reactor	---	--	--	--
Computer	---	--	--	--
Maintenance & Operational	---	--	--	--
Sources of financial support (kUSD)				
JINR budget	805	267	269	269
Extra – budgetary (grants, agreements, sponsors etc.)	---	--	--	--

Project Leader

V.Kobets

Deputy Project Leader

M.Gostkin

1. Financial Resources Needed for Project realization

ELECTRON TESTBEAM FACILITY FOR DETECTOR R&D (LINAC-200)

No	TASKS	Total value	2019	2020	2021
	Direct costs of the Project				
1	Accelerator, reactor	--	--	--	--
2	Computer	--	--	--	--
3	Materials	75	25	25	25
4	Equipment	720	240	240	240
5	R&D	--	--	--	--
7	Travel resources				
	a) in non-ruble area	5	1	2	2
	b) in ruble area	5	1	2	2
	Total direct cost:	805	267	269	269

Project Leader

V. Kobets

Deputy Project Leader

M. Gostkin

Director of the Laboratory

V. Bednyakov

Main planning engineer of the Laboratory

G. Usova