**Приложение 3.**

***Форма открытия (продления) Проекта / (Подпроекта КИП)***

**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор Института**

**“ “ \_\_\_ 2023 г.**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ / ПРОДЛЕНИЯ**

**ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КРУПНОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА**

**ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

**1. Общие сведения о проекте / подпроекте крупного инфраструктурного проекта (далее КИП)**

**1.1. Шифр темы / КИП** (для продлеваемых проектов) *– шифр темы включает дату открытия, дата окончания не указывается, т. к. она определяется сроками завершения проектов в теме.*

**1.2. Шифр проекта / подпроекта КИП** (для продлеваемых проектов и подпроектов)

**1.3. Лаборатория:** ЛНФ

**1.4. Научное направление:** Ядерная физика

**1.5. Наименование проекта / подпроекта КИП:**

«Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры»

**1.6. Руководитель(и) проекта / подпроекта КИП**

Дорошкевич А.С.

**1.7. Заместитель(и) руководителя проекта / подпроекта КИП (научный руководитель проекта/ подпроекта КИП)**

**2. Научное обоснование и организационная структура**

**2.1. Аннотация**

Проект направлен на модернизацию основных систем электростатического ускорителя заряженных частиц ЭГ-5, развитие ионно-лучевых и комплементарных им методов исследования элементного состава и физических свойств приповерхностных слоев твердых тел.

**Цель проекта:** обеспечение технической возможности для реализации научной программы ПТП ОИЯИ по исследованию реакций с быстрыми квазимоноэнергетическими нейтронами, развитие ядерно-физических методов исследования элементного состава, решение задач нейтронного радиационного материаловедения, реализация практических приложений нейтронной физики; обеспечение технической возможности для реализации уникальных опций микропучкового спектрометра

**Задачи проекта.** Основной технической задачей Проекта является восстановление диапазона энергий ускоренных частиц: 900 кэВ - 4,1 МэВ и повышение тока ионного пучка до 100-250мкА при сохранении энергетической стабильности ионного пучка на уровне не хуже 15 эВ, обеспечение пространственной стабильности ионного пучка, достаточной для реализации опции микропучкового спектрометра / ядерного микрозонда.

Основной организационной задачей является закладка и развитие кадрового потенциала для обеспечения полноценного выполнения проекта в перспективе минимум 3-х семилеток.

В задачи проекта, так же входит обновление экспериментальной инфраструктуры ускорительного комплекса, в частности, развитие новых методов исследования физических свойств поверхности материалов, способных дополнить и повысить качество получаемой научной продукции, нтенсификация международного научно-технического сотрудничества, организация юзерской политики, формирование базе ЛНФ ОИЯИ межлабораторного ускорительного центра для решения широкого спектра уникальных научно-технологических задач.

Основными критериями успешного выполнения проекта является: получение потока нейтронов, достаточного для проведения ядерно-физических экспериментов с быстрыми нейтронами энергетической стабильности ионного пучка, достаточной для создания микропучкового спектрометра / ядерного микрозонда.

**Актуальность** проекта продиктована востребованностью данной установки в составе научно- технической инфраструктуры ЛНФ ОИЯИ, в частности, необходимостью возобновления исследований ядерных реакций с быстрыми нейтронами, реализации на ускорителе ЭГ-5 уникальной опции – микропучкового спектрометра (ядерного микрозонда), проведения экспериментов с быстрыми нейтронами. Ввод в эксплуатацию на номинальной мощности ускорителя позволит увеличить объем проводимых в ЛНФ научных исследований в рамках Дорожной карты ОИЯИ и ПТП ОИЯИ, обеспечит возможность осуществления юзерской политики на установке ЭГ-5.

**Пути решения задач.** Для решения поставленных задач и достижения цели Проекта с составе сектора СИНЯВ ОЯФ создана отдельная группа «Установка ЭГ-5», включающая опытных специалистов в области разработки ускорительной техники (проф. Таскаев С.Ю.), ионно-лучевых методов исследования твердых тел (Фан Лыонг Туан), молодых сотрудников – студентов и высококлассных инженерно – технических работников. В настоящий момент проводится обучение молодых сотрудников навыкам работы с ускорителем и элементами его экспериментальной инфраструктуры.

При участии специалистов из Института ядерной физики имени Г.И.Будкера СО РАН планируется провести замену утратившей рабочие характеристики высоковольтной ускорительной трубки, источника ионов; выполнить настройку ионной оптики ЭСУ, чем обеспечить требуемые технические параметры ускорителя. В процессе реализации проекта будет проведен косметический ремонт помещений ускорительного комплекса, установлена лаборатория для подготовки образцов и их исследования методами, комплементарными ядерно-физическим.

Предполагается организация круглосуточной работы ускорителя и создание устойчивой колаборации с партнерами из РФ, ближнего и дальнего зарубежья, увеличение выхода научной продукции ЛНФ ОИЯИ.

**Оценочная стоимость проекта** модернизации составляет $615 тыс. **Срок выполнения Проекта** составляет 3 года (2024-2026гг).

**2.2. Научно-техническое обоснование (**цель, актуальность и научная новизна, методы и подходы, методики, ожидаемые результаты, риски)

**Актуальность. Тематический план исследований в ЛНФ, связанных с ускорителем ЭГ-5 (сектор востребованности ускорителя ЭГ-5).** В настоящий момент крайне актуальными являются ядерно-физические исследования с использованием электростатических ускорителей. Актуальные данные о характеристиках нейтрон-ядерных взаимодействий необходимы для понимания механизмов ядерных реакций. Исследования структуры атомных ядер важны для моделирования новых ядерно-физических установок и для ядерной энергетики. Ионно-лучевые спектрометры, построенные на базе электростатических ускорителей, обладают высокой точностью и необходимы в современных исследованиях, сопряженных с нанотехнологиями. Крайне перспективным и жизненно важным направлением науки является радиационная медицина. Требуются новые знания о взаимодействии частиц энергий 1-20 МэВ с биологическими объектами. В тоже время, микропучковые ионно-лучевые инструменты позволяют проникнуть внутрь биологической клетки и изучить радиационные эффекты на микроскопическом уровне, проводить сканирующие спектроскопические исследования твердотельных объектов (в том числе, объекты микроскопического масштаба, предметы исторического наследия) на микроскопическом масштабном уровне, проводить ионное легирование микроскопических областей в полупроводниковых кристаллах (наноэлектроника и микросистемная техника).

Таким образом, в настоящий момент имеется широкий спектр актуальных для ряда отраслей народного хозяйства прикладных и фундаментальных научных задач, которые сопряжены с ядерными реакциями на быстрых нейтронах и взаимодействием высокоэнергетических заряженных частиц с живой и неживой материей. Эти задачи требуют для своего решения использования электростатических ускорителей (ЭСУ).

**2.2.1. Научная программа группы ЭГ-5.** В ПТП ОИЯИ сформулировано три основных направления, которые мы планируем развивать с использованием электростатического ускорителя.

**1.** Ядерная физика. (Исследование свойств возбужденных ядер, реакций, в том числе, с вылетом заряженных частиц, физики деления, получения актуальных данных для астрофизики, ядерной энергетики и проблемы трансмутации ядерных отходов с помощью нейтрон- и гамма индуцированных реакций).

**2.** Физика конденсированного состояния (нанотехнологии, радиационное материаловедение, биологические исследования с использованием ионизирующего излучения различной природы, индуцируемого с помощью ЭСУ).

**3.** Прикладные и методические исследования (применение методов нейтронной физики в технологии (микроэлектроника), других областях науки и техники).

**Ядерная физика.** Научная программа ускорительного комплекса очень насыщена. Предполагается исследование целого спектра ядерных реакций с быстрыми квазимоноэнергетическими нейтронами, включая:

- исследование деления быстрыми нейтронами: измерения спектров *мгновенных нейтронов деления* (МНД) и полных кинетических энергий(ТКЕ) в реакциях 235U(n,f), 238U(n,f), 237Np(n,f) в области энергий нейтронов 1-5 МэВ/ядро;

- исследование множественности МНД в этих реакциях на быстрых нейтронах в геометрии с высокой эффективностью регистрации МНД;

- измерение спектров заряженных частиц из реакций (n,α) и (n,p) в зависимости от энергии нейтронов в области до 5 МэВ и выше;

- измерение интегрального и дифференциального сечений этих реакций в зависимости от энергии нейтронов;

- исследование спектра и угловых распределений заряженных частиц при энергии нейтронов ~20 МэВ с целью изучения нестатистических эффектов;

- изучение реакций (α, n) и (p, n) в сочетании, соответственно, с реакциями (n, α) и (n,p);

- исследование упругого и неупругого рассеяния быстрых нейтронов атомными ядрами, измерение выходов гамма-квантов, излучаемых продуктами реакций;

- использование методики TOF в импульсном режиме работы ускорителя (f~ 1 MHz).

**Физика конденсированных сред.** С использованием электростатического ускорителя запланированы исследования:

- глубинных элементных профилей приповерхностных слоев твердых тел(многослойные полупроводниковые архитектуры типа TiO2 / SiO2 / Si, SiO2 / TiO2 / Si, [GaAs](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84952815159&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=kulik&st2=m.&nlo=1&nlr=20&nls=count-f&sid=B303A0D9C49C41AA6E7D5BCE1145A49D.mw4ft95QGjz1tIFG9A1uw%3A63&sot=anl&sdt=aut&sl=41&s=AU-ID() и др.);

- процессов структурной релаксации поверхностных слоев твердых тел, сопровождающихся окислением или гидрогенизацией (металлические (Fe, Cu ) и металл-оксидные (ZrO2, CuO, ZnO, SnO2) твердые растворы - керамики и др)

- исследования кислородной подсистемы поверхностных слоев материалов по методу ядерных реакций (E >3,1МэВ, NRA).

Также планируются работы с биологическими объектами, в частности, исследование воздействия атмосферных нейтронов на мутации живых организмов на примере культур риса, тритикале и др., мониторинг хромосомных аберраций в лимфоцитах крови человека.

Предполагается развитие новых методов элементного анализа материалов, в частности, с использованием неупругого рассеяния нейтронов, а также, комбинации ядерно-физических и других методов исследования поверхности материалов.

Научные и методические исследования требуют развития методов обработки данных, постановки экспериментов и экспериментальной инфраструктуры, необходимых для проведения научных работ с использованием техники ЭСУ.

**2.2.2. Уникальные возможности ускорителя.** Созданный на основе генератора Ван де Граафа электростатический ускоритель ЭГ-5 стационарно действует в ЛНФ с 1965 года. Благодаря относительной простоте и надежности конструкции а, так же характерным для одноступенчатых электростатических ускорителей уникальным параметрам ускоренного ионного пучка (высокая пространственная и энергетическая стабильность при относительно большом токе), ускоритель ЭГ-5 в настоящий момент безальтернативно остается наиболее эффективным и удобным ядерно-физическим инструментом для решения широкого спектра актуальных научных задач физики ядра, физики конденсированных сред, биологии, электроники, медицины. Относительно высокий ток ионного пучка (до 10мкА) позволяет получать в результате облучения дейтериевой мишени дейтронами (реакция D(d,n)3He) широкий спектр нейтронов для ядерно-физических исследований в области энергий до 5,5 МэВ. Как видно из списка наиболее актуальных задач современной ядерной физики (Nuclear Data High Priority Request List, Табл. 1), данный диапазон энергий является наиболее востребованным в современных исследованиях физики ядра. Следует отметить, что эти задачи трудно и дорого решать на других типах нейтронных установок.

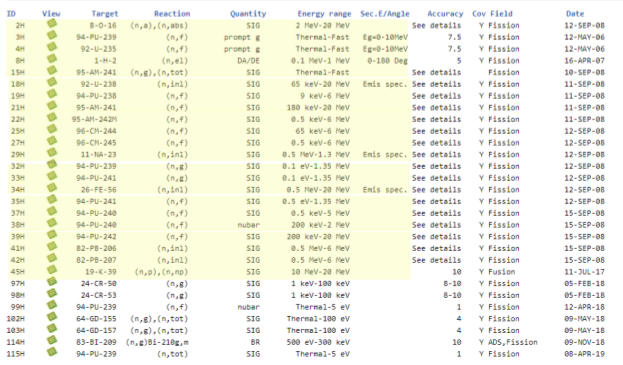
Исследования индуцированных нейтронами реакций с вылетом заряженных частиц дают ценную информацию о механизмах протекания ядерных реакций и структуре атомного ядра, процессах звездного нуклеосинтеза и т.д.

Наиболее уникальное свойство одноступенчатого ускорителя – высокая энергетическая стабильность (свыше 0,01%) ионного пучка позволяет с очень высокой точностью проводить исследования элементного состава поверхностных слоев материалов и обусловливает возможность создания на основе ЭГ-5 уникального микропучкового спектрометра с диаметром пучка менее 1мкм. Такие пучки не могут быть получены, например, на популярных сейчас перезарядных ускорителях - тандетронах.

Единственный в настоящий момент в РФ микропучковый спектрометр, произведенный в Институте прикладной физики НАНУ (г. Сумы, Украина) находится в г. Сарове и, по известным причинам, является труднодоступным для большинства пользователей. Энергетическая стабильность, обусловленная отсутствием перезарядной мишени, является важным фактором для достижения высокой разрешающей способности в исследованиях тонких поверхностных слоев.

**Таблица 1.**

Список наиболее актуальных задач современной ядерной физики «Nuclear Data High Priority Request List» [2].



С развитием нанотехнологий и приложений ядерной физики расширяется спектр прикладных исследовательских задач для электростатических ускорительных комплексов типа ЭГ-5. Ионно-лучевой «микрозонд» диаметром порядка 1мкм существенно расширяет возможности ядерно-физических методов, доступных ЛНФ ОИЯИ в области естественных наук, незаменим при решении задач нанофизики и бионанотехнологии. Таким образом, ЭГ-5, в настоящий момент является единственным в ОИЯИ ускорителем, который по своим техническим возможностям потенциально подходит для решения современных научных задач экспериментальной ядерной физики, ядерной астрофизики (звездный нуклеосинтез) [3] и бионанотехнологий, обозначенных в ПТП ОИЯИ.

**2.2.3. Проблема, на решение которой направлен проект.** К сожалению, в настоящий момент в РФ и странах участницах ОИЯИ имеется всего один микропучковый спектрометр в г. Сарове [3], и не более пяти действующих ускорителей, пригодных для производства быстрых нейтронов [4], что существенно ограничивает исследовательские возможности в области современной радиационной биологии, медицины, физики конденсированного состояния и физики атомного ядра.

**Реакции с быстрыми нейтронами.** Из-за исчерпания технического ресурса ускорителя ЭГ-5 в настоящий момент в ОИЯИ практически остановлены или вынесены за границы РФ исследования реакций с квазимоноэнергетическими быстрыми нейтронами. Существующие данные о характеристиках таких реакций зачастую неполны и существенно отличаются друг от друга. Последние весомые результаты, указывающие на необходимость уточнения имеющихся представлений об основном источнике нейтронов в астрофизических процессах - реакции 22Ne(α,n)25Mg были получены группой под руководством профессора Ю.М. Гледенова на аналогичном ускорителе в Пекинском Университете [5]. В течение последних трех лет нашей группой на быстрых нейтронах были измерены сечения (n,α) – реакций для элементов 144Sm, 66Zn, 10B, 25Mg, 54,56 Fe, 58, 60, 61Ni и в настоящий момент вместе с Обнинским «ГНЦ РФ – ФЭИ» ведутся работы над Российской библиотекой ядерных данных BROND по ряду ядер (6Li, 14N, 35Cl, 91Zr и 56Fe).

**Ионно-лучевая спектрометрия.** С использованием установки ЭГ-5 на пучках ионов гелия в настоящий момент проводятся неразрушающие экспериментальные исследования глубинных профилей элементов с разрешением по глубине около 10 нанометров. Имеется уникальная возможность исследования слоистых структур. Для анализа используются неразрушающие методики RBS, ERD и PIXE, базирующиеся на пучках ионов гелия с энергиями от 1 до 3 МэВ / ядро. Выполняются исследования многослойных высокотемпературных сверхпроводниковых систем [6]. Кроме того, активно ведутся работы по исследованию процессов ионной имплантации поверхности твердых тел (GaAs, слоистых систем TiO2 / SiO2 / Si, SiO2 / TiO2 / Si) ионами N2+, Ar+, Xe+, Bi+, N2+, Al+, In+ и индуцированных облучением и последующим термическим отжигом (при температурах: 500°С, 700°С и 900°С) процессов структурной релаксации [7, 8], сопровождающейся окислением [9,10] или гидрогенизацией [11] поверхностных слоев.

**Биологические исследования.** В настоящий момент ввиду потери интенсивности потока частиц отсутствует возможность проведения исследований влияния нейтронного излучения на с биологические объекты. В частности, пробные эксперименты по облучению образцов крови нейтронами (d,d реакция) на ускорителе ЭГ-5 на расстоянии 1см от выхода, проводившиеся в мае 2018 г показали, неудовлетворительную для работы с биологическими образцами интенсивность. При токе пучка 0.1мкА длительность облучения для накопления требуемой дозы 0.4 Гр заняла более 4 ч, что оказалось неприемлемо и привело к гибели биологических образцов. Для проведения дальнейших работ с биологическими объектами предполагаемый ток пучка должен составлять не менее 1мкА, а энергия нейтронов ~ 5 МэВ)

**2.2.4. Методы и подходы к достижению цели проекта.** Проблематика проектаимеет организационно – технический характер и связана с физическим износом основных узлов и систем установки, моральным устареванием научно-экспериментальной базы, утратой кооперационных связей и общим снижением эффективности работы группы, осуществляющей научное сопровождение ускорительной тематики в ЛНФ ОИЯИ.

Технической проблемой в настоящий момент является физический износ основных узлов и систем установки и моральное старение научно-экспериментальной базы. Потеря мощности ускорителем (ток пучка снизился с 50мкА до 1мкА) привела к невозможности его использования для генерации нейтронов, изучения ядерных реакций и для разработки на его основе микропучкового спектрометра – опций, которые являются в настоящий момент уникальными в ОИЯИ и в РФ.

Следует отметить, что проблема устаревания и остановки ускорителей за последние 30 лет в РФ имела системный характер. Только за период с 1990 по 2014 г. количество ускорителей сократилось с 27 до 12 – 15 единиц. В РФ практически прекратились разработки и производство собственных ускорителей (кроме г. Сарова и Новосибирска), тогда как лидирующие позиции по производству и количеству ускорителей закрепились за США. Для решения указанной технической проблемы в ЛНФ предполагается реализация данного проекта по модернизации ускорителя ЭГ – 5 и его экспериментальной инфраструктуры.

**Задачи проекта и мероприятия, предполагаемые к проведению для их решения.**

**Задача 1**. Главной технической задачей проекта является достижение технологических параметров ускорителем ЭГ-5: напряжения на кондукторе 4,1 МВ при токе пучка до 250 мкА. (Задача 1).

В качестве подзадачи 1.1. следует отметить замену ускоряющей трубки, ионного источника с системой управления (с оптоволоконным каналом связи), ремонт помещений, в которых находятся системы ускорительного комплекса (зал ускорителя, правый и левый экспериментальные залы). Обеспечение достаточно высокого уровня чистоты в помещениях (хотя бы класс ISO-9) при условии кондиционирования воздуха в зале ускорителя позволит повысить до 20% напряжение на кондукторе ускорителя и энергию ускоряемых частиц.

Подзадача 1.2. включает в себя комплексную проверку, чистку и ремонт элементов высоковольтной структуры и оборудования, обеспечивающего высокое напряжение на кондукторе ускорителя, замену устаревших приборов современными аналогами, автоматизация ускорительного комплекса.

Следует отметить, что обеспечение надлежащего уровня безопасности работы с ускорителем и элементами его инфраструктуры, пожарной и радиационной безопасности также является подзадачей (подзадача 1.3.) первой задачи.

**Задача 2.** Не менее важной задачей является **развитие экспериментальной инфраструктуры** ускорительного комплекса, что позволит максимально использовать его производственный потенциал, повысить выход научной продукции и расширить область применимости имеющихся исследовательских методов **(Задача 2)**.

Подзадача 2.1. – проверка работоспособности и приведение в надлежащее функциональное состояние всех узлов и систем ускорителя. В качестве подзадачи 2.2. следует отметить автоматизацию и модернизацию функциональных узлов и сервисных систем ускорителя. Необходимость выполнения этой задачи диктуется необходимостью повышения степени контроля и удержания параметров пучка. В частности, для планируемого к установке микропучкового спектрометра требуется обеспечить высокую степень не только энергетической, но и пространственной стабилизации пучка, для чего необходимо создание автоматической прецезионной системы позиционирования пучка. Автоматизация также позволит сократить количество персонала в смене и перейти на планируемый круглосуточный режим работы ЭСУ.

**RBS–камера.** Оборудование, используемое в настоящий момент для исследований элементного состава материалов, было разработано и произведено более 50 лет назад. Оно сильно устарело в моральном плане. Современные ионно-лучевые спектрометрические измерительные системы имеют существенно более высокую производительность. С целью повысить эффективность исследований объектов и выход научной продукции, предлагается существенно модернизировать камеру ионно-лучевого анализа (ИЛА, методы RBS, ERD, NRA и PIXE) путемзамены системы загрузки образцов (роботизированный манипулятор), замены вакуумной системы (установки системы безмасляной откачки), установки модуля ИЛА на вибростойкий фундамент. Это позволит увеличить производительность камеры, энергетическое разрешение спектрометров RBS, ERD, NRA, полностью автоматизировать процесс съемки образцов и обработки данных.

**Лаборатория для изготовления образцов.** Предполагается монтаж новой лаборатории для формирования монолитных объектов из порошковых материалов (подзадача 2.4.). Лаборатория предназначена для выполнения работ по подготовке экспериментальных образцов в виде монолитных объектов, тонких и толстых пленок и из широкого спектра твердотельных материалов, включая порошковые, для исследований ядерно-физическими методами RBS, ERD и PIXE. Планируется оснастить новую лабораторию методиками, комплементарными ядерно-физическим методам исследования (подзадача 2.5.), в частности, методами исследования электрических, оптических и электронных свойств поверхности и приповерхностных слоев исследуемых объектов (методы спектроскопии электрохимического импеданса; вольтамперометрии, эллипсометрии). Лаборатория позволит проводить коррекцию и подготовку образцов на месте, проводить независимые исследования, сопряженные с исследовательскими методами ЭГ-5.

**Задача 3 (персонал)** предполагает закладку кадрового потенциала, который обеспечит продуктивную работу ускорителя на наработку научной продукции в перспективе 20 – 30 лет. Предполагается обучение сотрудников ионно-лучевым методам исследования материалов и сервисному обслуживанию ускорителя (подзадача 3.1.), привлечение в группу и обучение молодых специалистов из числа студентов местных и ведущих ВУЗов с хорошей успеваемостью, привлечение высококлассных специалистов по ускорительной технике, организация конференций и симпозиумов международного уровня на базе ЛНФ ОИЯИ, формирование центра компетенции в области ускорительной техники и сопряженных с ней экспериментальных методик (подзадача 3.2).

**2.2.5. Ожидаемые результаты**

В результате выполнения Проекта будут восстановлены технические параметры ускорителя (энергия ускоряемых частиц 4,1 МэВ при максимальном токе не ниже 100мкА, табл. 2.), что позволит проводить в ОИЯИ исследования реакций с быстрыми нейтронами, обеспечит технические условия для установки микропучкового спектрометра. К имеющемуся нейтронному генератору на основе газовой мишени будет добавлен нейтронный генератор на основе твердотельной литиевой мишени с замедлителем, модифицирована камера облучения образцов потоками ионов. Перечень основных возможностей ускорительного комплекса после выполнения проекта модернизации приведен в табл. 3. **Ожидаемые технические параметры ускорителя ЭГ-5 после модернизации.** Технические параметры ускорителя до и после модернизации приведены в табл. 2.

Будет создана новая специализированная лаборатория для подготовки объектов исследования, укомплектованная комплементарными методами исследования оптических и электронных свойств поверхности, как эллипсометрия, оптическая и электронная микроскопия, методиками исследования электрических свойств на постоянном и переменном токе (вольтамперометрия импедансметрия, табл. 3).

Кроме модернизации и расширения приборной базы ускорительного комплекса будет проведена закладка кадрового потенциала на ближайшие 20-30 лет. К имеющимся методам элементного анализа добавятся методы анализа на основе мгновенных гамма-квантов от неупругого рассеяния нейтронов и нейтронно-активационный анализ.

**Таблица 2.**

**Технические параметры ускорителя ЭГ-5 до и после модернизации.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Before modernization** | **After modernization** |
| Terminal voltage - 2,1 MV  Beam current – 100nA  Ion Energy – 2,9 MeV  Neutron energies – 3.3-5,1MeV  Neutron fluxes- 106 | Terminal voltage - 4,1 MV  Beam current – 100 - 250mkA  Ion Energy – 4,1 MeV  Neutron energies – 21-800keV, 3.3-5,1MeV  Neutron fluxes- 108-109 |
| - Nuclear physics experiments conducting is **not possible**,  - NRA (3,1 MeV) - **not possible** | - Nuclear physics experiments conducting is **possible**,  - NRA (3,1 MeV) - **possible** |
| Microbeam option installing – **not possible** | Microbeam option installing –  **possible**; |
| Work with biological objects - **not possible** | Work with biological objects – **possible** |

**Таблица 3.**

**Методические возможности ускорительного комплекса до и после выполнения проекта модернизации.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Before modernization** | **After modernization** |
| - Nuclear physics experiments - **not possible**  - NRA (3,1 MeV) - **not possible** | Nuclear physics experiments - **possible**,  - NRA (3,1 MeV) - **possible***.* |
| Microbeam option installIng – **not possible** | Microbeam option installing – **possible**; |
| Work with biological objects - **not possible** | Work with biological objects - **possible** |
| The performance of EG-5 spectrometers:  - **3** samples / per day,  **Methods:**  1. Rutherford backscattering (RBS);  2. Elastic Recoil Detection (ERD);  3. Particle Induced X-Ray Emission (PIXE).  4. Nuclear Reaction Analysis (NRA); | The performance of EG-5 spectrometers:  **- 32** samples / per day,  **Methods:**  1. Rutherford backscattering (RBS);  2. Elastic Recoil Detection (ERD);  3. Particle Induced X-Ray Emission (PIXE).  4. Nuclear Reaction Analysis (NRA); |
| **Complementary methods** | **Complementary methods**  5. Fast neutron analysis (FNAA);  6. Neutron activation analysis (NAA);  7. Electrochemical impedance  spectrometry (EIS);  8. Voltammetry (V-I);  9. Optical Ellipsometry (OE). |

Модернизация ЭГ-5 в ОИЯИ, где имеются высококвалифицированные специалисты, хорошая детектирующая аппаратура и ценные наработки по исследованию атомных ядер нейтронами, даст возможность проведения в краткосрочной перспективе ряда новых, уникальных экспериментов по измерению энергетических спектров и угловых распределений заряженных частиц из реакций (n, α) и (n, p) / (α, n) и (p, n) и интегрального и дифференциального сечений последних в интервале энергий нейтронов до ~6 МэВ, процессов деления атомных ядер быстрыми нейтронами, [активационного анализа](https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/007/841.htm) [12, 13], проведение экспериментов в области нейтронного материаловедения и др.

2.2.6. **Состояние исследований по заявленной научной проблеме (имеющийся задел)**

**Ремонт ускорителя, проведенная работа.** Для решения задачи 1 руководством ЛНФ до начала проекта было проведено ряд мероприятий (консультационного характера), направленных на выявление причин потери ускорителем работоспособности и путей устранения выявленных технических проблем. По заказу ЛНФ группой экспертов из Института прикладной физики НАНУ (Сумы, Украина), специализирующейся на разработке ускорительной техники под руководством проф. А.Г. Пономарева была проведена научно-техническая работа «Анализ технического состояния и измерение параметров электростатического ускорителя ЭГ-5 ЛНФ ОИЯИ», позволившая установить основные причины снижения эффективности работы ускорителя. Независимо, ведущим экспертом в области ЭСУ проф. Романовым В.А. по месту было проведено исследование режимов работы и технического состояния основных узлов установки. Полученные рекомендации были положены в основу плана работ по ремонту ускорителя (задачи 1, 2).

**Ядерный микрозонд.** В 2015 году сотрудниками Института прикладной физики НАН Украины (г. Сумы) были выполнены расчетно-проектные работы на канал микрозонда (Устоявшийся термин Nuclear microprobe) на базе ускорителя ЭГ-5 ЛНФ ОИЯИ. Конструкторская документация в полном объеме находится в ЛНФ.

**Группа «Установка ЭГ-5».** Для решения поставленных в проекте задач в составе сектора СИНЯВ ОЯФ в сентябре 2019г создана отдельная группа «Установка ЭГ-5», включающая ведущих ученых – профильных специалистов (Др. А.П. Кобзев, Др. М. Кулик), высококлассных инженерно-технических работников (А.Н. Лихачев, Ткаченко С.В., Кудрявцев В.П. Зайцев И.А.) и молодых сотрудников – студентов и аспирантов университета Дубна (9 человек). В настоящий момент проводится обучение будущих специалистов особенностям работы приборов ускорительного комплекса. Организованы еженедельные лекции - семинары и индивидуальные практические занятия по методу RBS. Проводится ознакомление с техническими принципами работы ускорителя и его сервисных систем (А.Н. Лихачев). Ребята активно принимают участие в научных конференциях различного уровня, занимают лидирующие позиции на университетских олимпиадах. С целью повышения уровня компетенции группы в технических вопросах на должность Советника директора ЛНФ принят ведущий специалист в области разработки ускорительной техники проф. В.А. Романов, которого затем сменил поф. С.Ю. Таскаев из Новосибирского ИЯФа. Техническая часть группы усилена приходом двух молодых сотрудников на должности ведущего инженера и лаборанта с соответствующим распределением вакантных трудовых функций.

**2.2.7. Описание предлагаемого исследования / Описание хода работ**

Исходя из экспертной оценки состояния ускорителя проф. В.А, Романовым, проф. С.Ю Таскаевым и данным из отчета проф. А.Г. Пономарева (Сумы, Украина) по научно-технической работе «Анализ технического состояния и измерение параметров электростатического ускорителя ЭГ-5 ЛНФ ОИЯИ» был сформирован приводимый далее план работ.

**Этапы работ с указанием сроков выполнения**

**2023-2024гг**

1. **Проведение мероприятий для повышения безопасности работ с ускорителем.**
   1. Установка централизованной системы радиационного контроля в залах ЭСУ и помещениях контролируемой зоны (совместно со специалистами ИРЕН).
   2. Составление актуальной технологической схемы ЭСУ *(компания «Промэкспертиза»*.
   3. Замена редуктора газокомпрессорного хозяйства автоматическим аналогом *(компания «Промэкспертиза»*).
   4. Получение СЭЗ и ввод ускорителя в эксплуатацию (совместно со специалистами ИРЕН).
   5. Покраска ионопровода в яркую краску.
   6. Установка защиты и сигнализации потенциально опасных мест в Зале ускорителя.
   7. Установка ограждений вокруг открытых технологических окон на съемной ремонтной площадке ускорителя.
2. **Проведение мероприятий по повышению электрической прочности газовых сред ускорителя, включая воздух в помещениях.** 
   1. Ремонт и приведение служебных помещений ускорителя в соответствие санитарным нормам.
   2. Установка входных фильтров от масла в систему подготовки диэлектрического газа.
   3. Очистка доступных участков вакуумной системы от нагара и паров масла.
   4. Переход на турбомолекулярные наносы.
3. **Устранение факторов, ухудшающих качество работы установки (снижающих предельное напряжение и ток пучка, увеличивающих энергетический разброс), проведение подготовительных мероприятий к замене высоковольтной ускоряющей трубки.** 
   1. Ремонт полов, устранение наклона магнита анализатора. Компенсация отклонения пучка от горизонтали постоянными магнитами **(**2023-2024гг).
   2. Очистка поверхности высоковольтного терминала (области коронирующего триода), высоковольтных изоляторов колонны (градиентных колец) растворителем и плавиковой кислотой (для получения наименьшего коэффициента рекомбинации ионов Н+) **(**2024г).
   3. Очистка зарядной ленты **(**2023-2024гг).
   4. Сглаживание перехода с малого диаметра экрана колонны на большой для нивелирования градиента поля и устранения пробоев **(**2024г).
   5. Усиление изоляции пружин, удерживающих трубку в колонне (посредством тефлоновых трубок) **(**2024г).
   6. Регулировка (строго в одной плоскости) и частичная замена игл в коронирующем триоде **(**2025г).
   7. Регулировка зазора на разрядных щетках **(**2025г).
   8. Изменение конфигурации перезарядных щеток: разделение монолитных пластин на три секции, что позволит снизить давление на ленту и ее износ (2026).
   9. Ревизия резисторов делителя с изменившимися в процессе эксплуатации номиналами. Замена резисторов на компенсирующем участке (5 секций после участка с прямыми полями) (2024г).
   10. Замена ускоряющей трубки, резистивного делителя и ионного источника с помощью специалистов из Института ядерной физики имени Г.И.Будкера СО РАН (2024г).
   11. Тренировка источника высоковольтной системы высоким напряжением (2024г).
   12. Проверка формы пучка на входе и на выходе ускорительной трубки (2024г).
   13. Согласование ионной оптики ЭСУ с помощью специалистов из Института ядерной физики имени Г.И.Будкера СО РАН (2024-2025гг.).
   14. Косметический ремонт в правом экспериментальном зале (2025г).
   15. Установка пассивной системы подавления вибраций (плиты – основания для микропучкового спектрометра на песчаной подушке, развязанной механически от пола в зале спектрометров).
4. **Монтаж лаборатории для приготовления объектов для исследований ионно-лучевыми методами** (2025-2026гг).
5. **Монтаж оборудования для ионной имплантации пластин кремния совместно с АО «Микрон»** (2024г).
6. **Установка новой высокопроизводительной камеры для ионно-лучевых исследований материалов** (RBS, ERD, PIXE) (2024-2025гг).
7. **Модернизация сервисного оборудования. Автоматизация узлов ускорителя, крайне важных для реализации функций микропучкового спектрометра и генератора квазимоноэнергетических нейтронов**.
   1. Автоматизация системы позиционирования и пространственной стабилизации пучка (2024 2025гг)
   2. Установка системы контроля координат пучка с документальной фиксацией (2024 – 2025гг).
8. **Замена морально устаревших приборов на Пульте управления ЭГ-5 (2025г).**
9. **Подготовка персонала для работы на установке из числа молодых сотрудников, интенсификация международного сотрудничества, организация пользовательской программы** (2023-2026гг).
10. **Укомлектование экспериментальной инфраструктуры комплементарными методами исследования поверхностных слоев материалов** (электронный микроскоп, 2026г).
11. **Переход на дистанционно – управляемые вакуумные затворы с целью обеспечения аварийного отсечения ускорительной трубки** (2023 - 2024).

**2.2.8. Краткий ССВУ - анализ проекта**

**Сильные стороны проекта.**

1. Подходящая конструкция ускорителя ЭГ-5 для решения поставленных задач (создание ядерного микрозонда и нейтронного генератора). В проекте будут в полной мере реализованы уникальные возможности ускорителя ЭГ-5, в частности, возможность получения большой величины тока ионного пучка (до 250мкА) и его малого разброса (<10эВ), что не может быть реализовано на установках тандемного типа.

2. Низкая эксплуатационная стоимость установки ЭГ-5. Отличная ремонтопригодность конструкции ускорителя ЭГ – 5 и наличие ресурсной базы позволяют провести модернизацию с минимальными затратами и обеспечить автономную работу ускорительного комплекса в течение длительного времени. В ОИЯИ имеется вся необходимая производственная инфраструктура и материальная база (запзачасти, жидкий азот, сервисные системы и т.д.), необходимые для поддержания своими силами работоспособности установки продолжительный период времени после замены трубки. ЭГ-5 не требует использования дорогостоящих материалов и оборудования, не содержит узлов с неизвестными параметрами (программируемые микропроцессорные модули системы управления сервисным оборудованием и т.д.), не требует для проведения ремонтов и сервисных работ приглашения иностранных специалистов.

3. Повышение квалификации собственных инженерных кадров в процессе модернизации, формирование кадрового потенциала на длительный срок эксплуатации ускорителя. В процессе реализации проекта будет проведено формирование кадровых ресурсов из выпускников ВУЗов, их обучение работе с элементами инфраструктуры ускорителя и ознакомление со спецификой научной работы в группе.

4. Развитие полноценной экспериментальной инфраструктуры ускорительного комплекса. Экономия ресурсов за счет наличия собственной инфраструктуры позволит направить средства на открытие новых направлений исследований. Установка обновленного комплекса ионно-лучевых спектрометров, монтаж лаборатории для формирования объектов исследования позволит существенно расширить спектр исследуемых объектов, чем - существенно повысить выход научной продукции.

5. Данный вариант решения основной задачи является менее затратным в финансовом плане по сравнению с покупкой нового ускорителя и созданию на его основе экспериментальной инфраструктуры.

**Слабые стороны проекта.**

1. Моральное и техническое устаревание сервисных систем и экспериментальной базы ускорителя. Потребуются значительные временные ресурсы для ревизии и модернизации всех систем ускорителя.

2. Ограниченный набор функций, потребуются ресурсы для разработки ПО, которое позволит согласовать работу систем ускорителя после автоматизации.

3. Скважность импульсов в импульсном режиме будет иметь фиксированную величину.

4. Отсутствует возможность ускорения ионов тяжелее 4He.

**Основные риски,** которые могут повлечь невыполнение поставленных задач в срок или недостижение требуемых технических параметров ускорителем могут быть связаны с:

- ошибками при проектировании ускорительной трубки ;

- ошибками при установке новой ускорительной трубки;

- ошибки персонала при очистке вакуумной системы от масла, которая может привести к загрязнению нового оборудования и потере качества вакуума;

- критическое рассогласовании ионной оптики ЭСУ после замены элементов;

- проблемами с закупкой изоляторов в Китае;

- наличием дополнительных неучтенных неисправностей в ускорителе помимо потери параметров ускорительной трубкой;

**2.3. Предполагаемый срок выполнения** 2024-2026гг.

**2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ:** ЛНФ

Потребности в ресурсах МИВК:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вычислительные ресурсы** | **Распределение по годам** |  |  |  |  |
|  | **1 год** | **2 год** | **3 год** |  |  |
| Хранение данных (ТБ)  - EOS  - Ленты | 0 | 0 | 0 |  |  |
| Tier 1 (ядро-час) | 0 | 0 | 0 |  |  |
| Tier 2 (ядро-час) | 0 | 0 | 0 |  |  |
| СК «Говорун» (ядро-час)  - CPU  - GPU | 0 | 0 | 0 |  |  |
| Облака (CPU ядер) | 0 | 0 | 0 |  |  |

**2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации:**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Организация** | **Страна** | **Город** | **Участники** | **Тип соглашения** |
| **ОИЯИ** | **Россия** | **Дубна** |  |  |
|  |  |  |  |  |

**2.6. Организации-соисполнители** *(те сотрудничающие организации/партнеры без финансового, инфраструктурного участия которых выполнение программы исследований невозможно. Пример — участие ОИЯИ в экспериментах LHC в CERN).* – Нет

**3. Кадровое обеспечение**

**3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Категория работника** |  |  |  | **Основной персонал, Сумма FTE** |  |  |  |
| научные работники |  |  |  | 1,9 |  |  |  |
| инженеры |  |  |  | 5,5 |  |  |  |
| специалисты |  |  |  | 3 |  |  |  |
| служащие |  |  |  | - |  |  |  |
| рабочие |  |  |  | - |  |  |  |
| **Итого:** |  |  |  | 10,4 |  |  |  |
| Руководители |  |  |  | 1,1 |  |  |  |

* 1. **Доступные кадровые ресурсы**

Коллектив проекта включает специалистов мирового уровня в области разработки ЭСУ – техники (проф. С.Ю. Таскаев) и электроники (Семенов В.Н.), 6 инженерно-технических работников с многолетним опытом обслуживания и ремонта всех узлов установки ЭГ-5, прочих специалистов. Группа содержит в своем составе более 50% молодых сотрудников, способных оперативно решать текущие технические задачи.

**3.2.1. Основной персонал ОИЯИ**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Категория | ФИО | Подразделение | Должность | FTE |
| 1. | Научные работники | Дорошкевич А.С., + 18 чел. | ЛНФ | начальник группы |  |
|  | Итого |  |  |  |  |

**3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Категория работников** | **Организация-партнер** | **Сумма FTE** |
| Научные  работники |  |  |
| инженеры |  |  |
| специалисты |  |  |
| рабочие |  |  |
| **Итого:** |  |  |

**4. Финансовое обеспечение**

**4.1. Полная сметная стоимость проекта/ подпроекта КИП**

Прогноз полной сметной стоимости (указать суммарно за весь срок, за исключением ФЗП).

Детализация приводится в отдельной форме.

615 тыс. долл.

**4.2. Внебюджетные источники финансирования**

Предполагаемое финансирование со стороны соисполнителей/заказчиков - общий объем.

**Руководитель проекта (подпроекта КИП)** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/Дорошкевич А.С.

Дата представления проекта (подпроекта КИП) в ДНОД: \_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата решения НТС лаборатории: \_\_10.04.2023 номер документа: \_18\_

Год начала проекта (подпроекта КИП): 2024 г.

(для продлеваемых проектов) –– год начала работ по проекту: \_\_\_\_\_\_\_

**Предлагаемый план-график и необходимые ресурсы для осуществления Проекта / Подпроекта КИП**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименования затрат, ресурсов,**  **источников финансирования** | | | **Стоимость (тыс. долл.)**  **потребности в ресурсах** | **Стоимость,**  **распределение по годам** | | | | |
| 1 год | 2 год | 3 год |  |  |
|  | | Международное сотрудничество (МНТС) | 30 | 10 | 10 | 10 |  |  |
| Материалы | 105 | 15 | 25 | 65 |  |  |
| Оборудование и услуги сторонних организаций (пуско-наладочные работы) | 320 | 60 | 140 | 120 |  |  |
| Пуско-наладочные работы |  |  |  |  |  |  |
| Услуги научно-исследовательских организаций | 140 | 120 | 10 | 10 |  |  |
| Приобретение программного обеспечения | 20 |  | 20 |  |  |  |
| Проектирование/строительство |  |  |  |  |  |  |
| Сервисные расходы (*планируются в случае прямой принадлежности к проекту)* |  |  |  |  |  |  |
| **Необходимые ресурсы** | **Нормо-час** | Ресурсы |  |  |  |  |  |  |
| * сумма FTE, | 61308 | 20436 | 20436 | 20436 |  |  |
| * ускорителя/установки, |  |  |  |  |  |  |
| * реактора,……. |  |  |  |  |  |  |
| **Источники финансирования** | **Бюджет-ные средства** | Бюджет ОИЯИ *(статьи бюджета 4, 5, 6, 10, 11)* | 615 | 205 | 205 | 205 |  |  |
| **Внебюджет (доп.смета)** | Вклады соисполнителей  Средства по договорам с заказчиками  Другие источники финансирования |  |  |  |  |  |  |

Руководитель проекта (подпроектаКИП) \_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/

Экономист Лаборатории \_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/

**Литература**

### 1. В. Швецов. «Трансмутация отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов один из вариантов стратегического развития атомной отрасли» [Электронный ресурс] // Сайт ядерная физика в интернете. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/trans.htm> (Дата обращения: 05.11.2020).

### 2. Nuclear Data High Priority Request List [Электронный ресурс] // Сайт NEA Nuclear Energy Agency URL: <https://www.oecd-nea.org/dbdata/hprl/search.pl?vhp=on> (Дата обращения: 05.11.2020).

### 3. Miscellaneous [Электронный ресурс] // Сайт INCMTA2008 11th International conference on Nuckear Microprobe Technology and Applications URL: <http://w3.atomki.hu/atomki/IonBeam/icnmta/microprobefac.html> (Дата обращения: 05.11.2020).

### 4. Doyle B. L., Hamm R. W. Reviews of Accelerator Science and Technology Vol. 10 (2019) 93–116 c© World Scientific Publishing Company //Reviews of Accelerator Science and Technology. – 2019. – Т. 10. – С. 93-116.

### 5. Gledenov, Yu. M.; Sedysheva, M. V.; Khuukhenkhuu, G.; Bai, Huaiyong; Jiang, Haoyu; Lu, Yi; Cui, Zengqi; Chen, Jinxiang; Zhang, Guohui (2018). reaction in the 4–6 MeV region. Physical Review C, 98(3), 034605–. doi:10.1103/PhysRevC.98.034605.

### 6. Антонова Л. Х. и др. Влияние протонного облучения на критические параметры композитныхвысокотемпературных сверхпроводящих лент //Перспективные материалы. – 2014. – №. 5. – С. 34-38.

### 7. Kulik M. et al. Effect of N 2+ Ion Implantation and Thermal Annealing on Near-Surface Layers of Implanted GaAs //Acta Physica Polonica, A. – 2015. – Т. 128. – №. 5.

### 8. Kulik M. et al. Chemical composition of native oxides on noble gases implanted GaAs //Thin Solid Films. – 2016. – Т. 616. – С. 55-63.

### 9. Horodek P. et al. Slow Positron Beam Studies of the Stainless Steel Surface Exposed to Sandblasting //Acta Physica Polonica, A. – 2014. – Т. 125. – №. 3.

### 10. Horodek P. et al. Positron beam and RBS studies of thermally grown oxide films on stainless steel grade 304 //Applied Surface Science. – 2015. – Т. 333. – С. 96-103.

### 11. Rzodkiewicz W. et al. Nuclear and Optical Analyses of MOS Devices //Acta Phys. Pol. A. – 2013. – Т. 123. – №. 5. – С. 851-853.

### 12. Комар Е. Г. Основы ускорительной техники. М., Атом-издат, 1978, с. 368.

### 13. А.К. Вальтер. Электростатические ускорители заряженных частиц. Под редакцией академика АН УССР А.К. Вальтера., М., 1963 с. 302.

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП**

НАИМЕНОВАНИЕ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

**Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры**

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

**ЭГ-5**

ШИФР ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

ШИФР ТЕМЫ / КИП

**«Нейтронная ядерная физика»**

ФИО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

**Дорошкевич А.С.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| СОГЛАСОВАНО |  |  |  | |
| ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ЛАБОРАТОРИИ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ / КИП | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ / КИП | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ / КИП | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
| РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |  |
|  |  |  |  |  |
| ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА | |