**Приложение 3.**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор Института**

**/ /**

**“ “ 202**\_ **г.**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ / ПРОДЛЕНИЯ**

**ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КРУПНОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА**

**ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

**1.1. Шифр темы 04-2-1126**

**1.2. Шифр проекта**

**1.2. Лаборатория** ЛЯП

**1.3. Научное направление:** Ускоритель/детектор, НИР и прикладные исследования (VIII)

**1.4. Наименование проекта: «Прецизионная Лазерная Метрология для Ускорителей**

**и Детекторных Комплексов»**

**1.5. Руководители проекта В.В. Глаголев М.В. Ляблин**

**1.6. Заместитель(и) руководителя темы / КИП**

**2. Научное обоснование и организационная структура**

**2.1. Аннотация**

Реализация проекта направлена на определение угловых колебаний элементов коллайдеров (в частности NICA) от микросейсмических шумов индустриального и природного происхождения с целью их компенсации для повышения светимости коллайдеров.

Не менее важной составляющей проекта являются работы по созданию компактного инклинометра, способного измерять изменения углов наклона поверхности с точностью порядка 10-8 радиан на протяжении года. И, далее, построение сети из таких инклинометров в сейсмоопасных регионах для определения зон накопления энергии и потенциально сейсмоопасных областей.

В проекте представлен малогабаритный прецизионный лазерный инклинометр (МПЛИ) и результаты измерений угловых микросейсмических колебаний поверхности Земли в зале MPD NICA. Представленные данные указывают на значимость метрологического сопровождения коллайдера НИКА развертыванием сети из МПЛИ.

В рамках проекта планируется изготовление необходимого количества МПЛИ, их установка в тоннеле коллайдера НИКА, синхронизация работы установленных инклинометров, создание необходимых компьютерных программ, онлайн визуализация деформации поверхности Земли поверхностными микросейсмическими волнами. Система стабилизации фокусов пучков частиц в коллайдере НИКА для повышения светимости может быть создана при оперативном использовании данных от сети МПЛИ.

Другая задача проекта – создание модернизированного варианта МПЛИ, способного к бесперебойной работе по измерению углов наклона поверхности с точностью порядка 10-8 радиан на протяжении года. Прототипы таких МПЛИ размещены в Армении и на Камчатке, на очереди Беларусь и Узбекистан.

В качестве дополнительной метрологической активности планируются работы по разработке лазерной реперной линии (ЛРЛ) для линейного ускорителя ЛЯП и сейсмоизолированной от угловых колебаний поверхности Земли платформы.

**2.2. Научное обоснование**

**Цель проекта**

Во время предыдущих исследований по проекту «Прецизионная Лазерная Метрология Для Ускорителей и Детекторных Комплексов» 2015-2023 определился круг ближайших задач для применения создаваемых инклинометров:

* В коллайдерах угловые колебания поверхности Земли влияют на траектории частиц в коллайдерах, что приводит к ухудшению фокусировок в местах столкновений пучков и, соответственно, к уменьшению светимости в коллайдерных экспериментах.
* Долговременное измерение ландшафта поверхности Земли позволит определить участки земной поверхности с ускоренным изменением её геометрических параметров. Это позволит определить зоны накопления сейсмической энергии и продвинуться в прогнозировании землетрясений.
* В интерферометрических гравитационных антеннах (ИГА, VIRGO) существует острая необходимость уменьшения влияния угловых колебаний поверхности Земли на стабильность подвесов интерферометрических элементов. По поверхности Земли распространяются микросейсмические волны, частотный диапазон которых, пересекается с частотным диапазоном собственных частот подвесов в ИГА. Такая особенность усложняет работу ИГА ограничивает её чувствительность.

Для решения поставленных задач предлагается использовать инновационный способ измерения угловых колебаний поверхности Земли– прецизионный лазерный инклинометр (ПЛИ). Эта технология создана и развита в Объединённом Институте Ядерных Исследований в рамках предыдущего проекта [1-22]. Созданный в ОИЯИ малогабаритный ПЛИ, позволяет измерять угловые колебания поверхности Земли в двух ортогональных плоскостях в частотном диапазоне 3x10-9-20 Гц с чувствительностью 10-8÷10-9 рад. Габариты МПЛИ составляют 20×20×20см и вес 15кг.

Для определения деформации физических установок, которые возникают в результате угловых колебаний поверхности Земли нами предлагается использовать распределённую измерительную сеть из МПЛИ.

После определения деформаций поверхности Земли требуется решить задачу онлайн компенсации их влияния на физическую установку.

Фактически требуется определить изменение геометрии поверхности Земли в трёх частотных диапазонах:

* 3·10-8- 10-3 Гц - в этом частотном диапазоне требуется измерение изменения ландшафта поверхности Земли для прогноза землетрясений и вулканизма.

В этом диапазоне также требуется долговременное измерение изменения деформации геометрии коллайдера.

* 10-3- 20 Гц - в этом частотном диапазоне требуется измерение угловых колебаний поверхности Земли для уменьшения их влияния на шумовое колебание подвесов чувствительных элементов гравитационных антенн.
* 1-10 Гц - в этом частотном диапазоне требуется измерение изменения ландшафта поверхности Земли для стабилизации фокусов пучков частиц коллайдера.

Для достижения целей проекта необходимо создать

* Сеть из МПЛИ
* программное обеспечение работы сети МПЛИ,
* программное обеспечение регистрации изменения ландшафта поверхности Земли в реальном режиме времени
* передачу данных для обеспечения онлайн стабилизации элементов физических установок.

Решение поставленных задач актуально, поскольку позволяет улучшить работу физических установок, уменьшить их шумы и повысить точность измерения физических величин. Все поставленные задачи обладают научной новизной.

**Методы и подходы, методики при осуществлении проекта**

1. Метод -Прецизионный Лазерный Инклинометр

* .Принцип работы малогабаритный лазерного инклинометра
* Малогабаритный ПЛИ
* Точность измерения.

1. Результаты измерения МПЛИ на различных участках земной поверхности
2. Стабилизация положения коллайдера НИКА при помощи сети МПЛИ

* Зависимость светимости коллайдера от угловых колебаний поверхности Земли.
* Регистрация угловых колебаний поверхности Земли в зоне расположения детектора MPD на ускорителе -коллайдере НИКА.
* Одновременная регистрация сигналов двумя разнесёнными МПЛИ
* Необходимость создания “следящей” системы на коллайдере НИКА, компенсирующей влияние угловых микросейсмов.

1. Алгоритмы создания программы визуализации угловых колебаний поверхности Земли
2. Сопутствующая метрологическая активность

* Сейсмоизолированная от угловых колебаний поверхности Земли платформа.
* Развитие сети МПЛИ на территории России Армении, Белоруссии и Узбекистана.
* Лазерная реперная линия.

**Метод- Прецизионный Лазерный Инклинометр**

Суть метода состоит в том, что измеряется угловое положение лазерного луча отраженного от поверхности жидкости. Изменение углового положения лазерного луча пропорционально наклону земной поверхности. На рис.1 показана кювета с жидкостью лазер и позиционно-чувствительное фото- приемное устройство (ПФЧУ). Все элементы инклинометра закреплены на бетонном основании. В силу явления горизонтализации поверхности жидкости при наклоне земной поверхности на угол γ, отраженный от поверхности лазерный луч испытывает угловое смещение 2γ относительно ПЧФУ.

γ

γ

2γ

Horizontal liquid surface

Cuvette with a liquid

Laser

PSD

Before movement

After movement

Рис.1 Метод Прецизионного Лазерного Инклинометра

Этот метод дополняется использованием тонкого слоя жидкости в кювете.

**Стабилизация положения коллайдера НИКА при помощи сети МПЛИ**

*Ведение*

Как уже указывалось в целях проекта задача проекта - это организация сети инклинометров для регистрации изменения ландшафта поверхности Земли под действием микросейсмических колебаний.

Одна из целей нашего проекта - стабилизация положения фокусов пучков частиц коллайдера НИКА от действия угловых колебания поверхности Земли.

Коллайдер НИКА находится в зоне интенсивных индустриальных шумов. Эти шумы в основном связаны с производственным циклом предприятий окружающих ЛВЭ и также являются основным фактором влияющим на стабильность положения фокусов пучков частиц.

Нами было проведено исследование микросейсмов поверхности Земли в зоне расположения коллайдера НИКА. В качестве точки измерения выбран зал МПД.

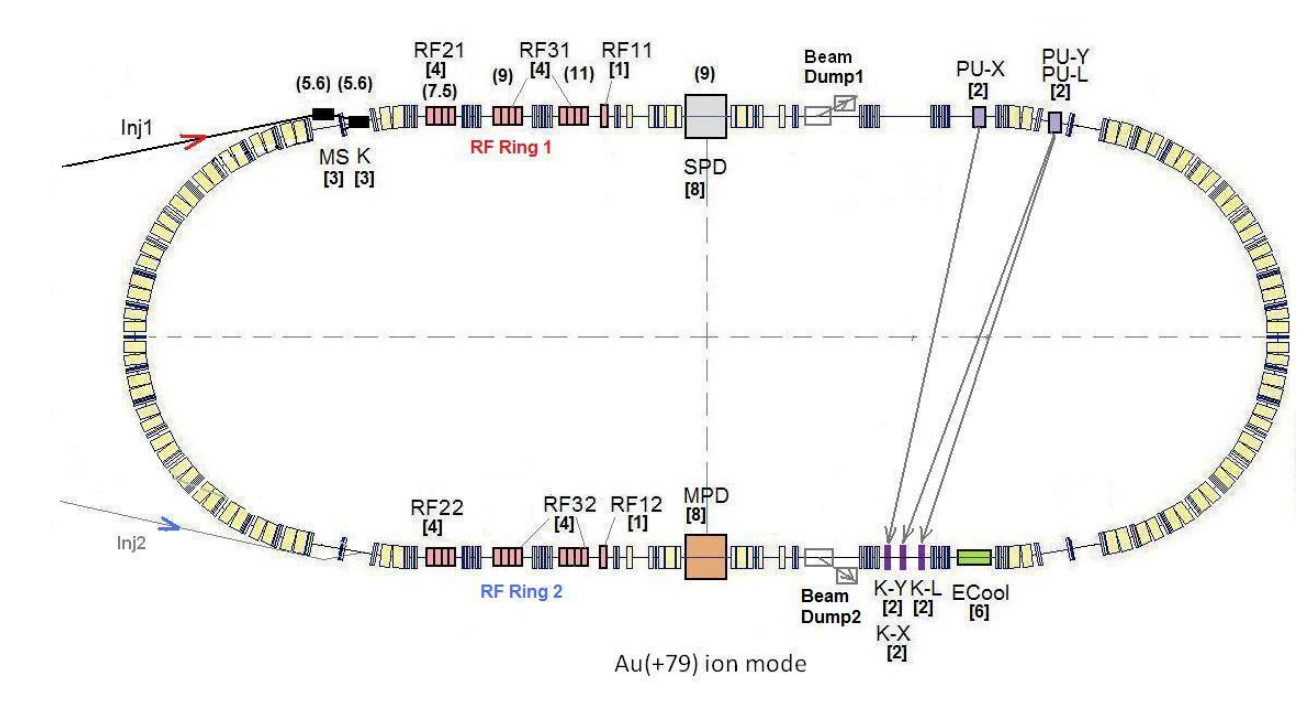
В этом зале имеется бетонное углубление для расположения детектора МПД в НИКА.

Для обслуживания детектора и его установки имеются рельсы, расположенные на расстоянии 6 м друг от друга. На концах этих рельс мы установили два МПЛИ. Был организован суточный угловой микросейсмической мониторинг активности поверхности Земли.

Основная задача мониторинга - определить уровень микросейсмов, их частотный диапазон и амплитуду в течение суток.

**Влияние прохождения поверхностных волн на смещение фокусов коллайдера**

Коллайдер НИКА (Рис.2) обеспечивает циркулирование двух пучков частиц. В зоне экспериментов происходит фокусировка пучков до диаметра D=800 мкм. Расстояние между последними ускоряющими секциями составляет 110 м. Таким образом зона столкновения отстоит от последних ускорительных секций на расстоянии 55м. После выхода пучков частиц из ускорителя их движение происходит по касательной к точке последнего ускорительного элемента. И при наклоне последних секций ускорителя происходит угловое смещение пучков частиц.



SPD

MPD

110m

Рис.2 Расположение Коллайдера НИКА на поверхности Земли

Это возможно при наклонах земной поверхности, вызванной поверхностными сейсмическими волнами.

Особенностью распространения поверхностных волн является частотная дисперсия их скорости распространения. На Рис.15 показано изменение скорости распространения поверхностной волны в частотном диапазоне 0.1-5Гц [13].



Рис.3 Зависимость скорости распространения поверхностных волн от частоты. Формула для фита на графике применена в диапазоне частот 0.2-5 Гц.

Как видно из Рис. 3 основное изменение скорости поверхностной волны происходит в частотном диапазоне 0.1-1.5Гц. Скорость распространения поверхностной волны в этом диапазоне изменяется от 2км/сек до 400м/сек Начиная с 2 Гц скорость поверхностной волны выходит на плато в 400 м/секунду. В диапазоне частот 2-5 Гц примем среднюю скорость распространения поверхностной волны равной 400 м/сек.

На рис.4 показан Фурье анализ угловых колебаний поверхности Земли, зарегистрированный в Метрологической Лаборатории ЛЯП.



Рис.4 Характерный спектр угловых колебаний поверхности Земли, измеренный при помощи МПЛИ в метрологической лаборатории ЛЯП

В спектре угловых колебаний (Рис. 4) поверхностных волн наблюдаются две основных активности: «Микросейсмический Пик» диапазоне частот от 0.1 – 1Гц и колебания поверхности Земли, вызванные индустриальными шумами в диапазоне частот 1 - 5 Гц. Именно частотный диапазон индустриальных шумов будет нам интересен при дальнейшем рассмотрении.

На Рис. 5 показано изменение положения пучков частиц в коллайдере, при промежутке между ближайшими к точке взаимодействия ускоряющими секциями равном 110м (случай коллайдера NICA).



Рис.5 Движение пучков частиц в коллайдере при интенсивной деформации поверхности Земли поверхностными микросейсмическими волнами.

На расстоянии 55 м от выхода пучков частиц происходит их столкновение. Как видно из Рис.5, при длине поверхностной волны равной расстоянию между последними ускоряющими секциями коллайдера 110м (частота 3.6Гц) наблюдается максимальное смещение пучков частиц в зоне их фокусов. В этом случае мы видим расхождение пучков вызванные поверхностными волнами значительно больше их амплитуды (0.09мм) волны.

Определим величину смещения из формулы {1}

При максимальном угле наклона поверхностной волны 5 10-6 рад будут наблюдается смещение пучков частиц 0.55мм. При таком смещении фокусы пучков частиц разойдутся практически на величину диаметра фокусов.

Смещения фокусов коллайдера поверхностной волной произвольной частоты определяется по формуле

Где l-расстояние между последним ускоряющим модулем коллайдера и точкой столкновения, ν-частота поверхностной волны, V-скорость поверхностной волны, θ-максимальный угол наклона поверхности Земли.

На Рис.6 показаны результаты вычислений максимальных значений в зависимости от частоты поверхностной волны.



Рис.6 Зависимость максимального взаимного смещения фокусов пучков частиц в коллайдере НИКА от частоты поверхностной микросейсмической волны

Как видно из Рис.6 частотные диапазоны поверхностных волн в которых будут эффективно смещаться фокусы пучков частиц (>0.2мм) равны 2.3-5Гц, 6-8.7Гц, 9,5-12,3Гц

Учитывая гауссовское распределение плотности частиц в сечении пучков частиц от диаметра, можно говорить о серьёзном изменении светимости коллайдерного эксперимента.

**Установка двух МПЛИ в Зале МPD коллайдера НИКА**

Для определения величины микросейсмических колебаний на коллайдере НИКА были использованы два МИПЛИ. Одновременная работа двух МПЛИ необходима для контроля качества измерений в зависимости от времени работы МПЛИ при регистрации угловых колебаний поверхности Земли.

**Результаты Измерения угловой микросейсмической активности поверхности Земли в зале МPD коллайдера НИКА**

После установки двух МПЛИ в зале MPD начался посуточный мониторинг угловых наклонов земной поверхности в двух ортогональных направлениях. Направления регистрации одного МПЛИ совпадают со вторым МПЛИ. На Рис.7 показана регистрация угловых наклонов земной поверхности за 23.июня.2022(четверг).



Рис.7 Суточный мониторинг угловой микросейсмической активности в двух ортогональных направлениях в зале MPD 23.06.2022(четверг).

Как видно из Рис.7, за суточный период наблюдения выделяются две временные области с разной величиной угловых наклонов земной поверхности. В ночной период с 18-00 вечера до 7-00 утра средняя величина изменения угловых колебаний в диапазоне частот 10-3 Гц-7 Гц поверхности пола МПД составила- 0.6 мкрад. В рабочий период с 7-00 утра по 18-00 вечера – 3.7мкрад. Отчётливо видны индустриальные шумы, которые присутствуют в рабочий период. Также в период работы с 16 по 24часа наблюдается аномальная величина узкополосных индустриальных шумов с амплитудой до 1мкрад.

На Рис.8 представлен Фурье анализ угловых колебаний поверхности Земли на основе данных на Рис.7.



Рис.8 Фурье анализ суточного набора данных за 23.06.2022

Из зарегистрированных колебаний отчётливо выделяются колебания типа «Микросейсмический Пик» [0.1-1Гц], нерегулярные индустриальные шумы [1-5Гц], и область резонансных индустриальных шумов с частотами 6,44Гц, 8,33Гц и др.. Также заметен сигнал с Иваньковской ГЭС с частотой 1.6667Гц=5/3 Гц

**Одновременная регистрация сигналов двумя разнесёнными МПЛИ**

Для демонстрации достоверности зарегистрированных данных представим одновременную регистрацию угловых колебаний поверхности Земли двумя МПЛИ по совпадающим направлениям.

****

Рис.9 Измерение МПЛИ1 в направлении соответствующему вертикальному движению лазерного луча в МПЛИ



Рис.10 Измерение МПЛИ2 в направлении ответствующему вертикальному движению лазерного луча в МПЛИ

*Полученные данные говорят об устойчивости измерений МПЛИ и возможности их использования для визуализации угловых колебаний поверхности Земли на коллайдере НИКА.*

**Создание системы визуализации угловых колебания поверхности земли под коллайдером НИКА**

*Из данных измерений, проведённых в здании MPD коллайдера НИКА двумя инклинометрами, можно сделать вывод: величина угловых колебаний поверхности Земли в рабочее время может вызывать значимые смещения фокусов пучков частиц.*

На первом этапе предлагается создание системы визуализации деформации поверхности Земли под коллайдером НИКА.

Создание такой системы позволит визуализировать прохождение микросейсмических волн. По данным наблюдений можно будет определить влияние угловых микросейсмов на светимость коллайдера и в дальнейшем создать систему компенсации с обратной связью посредством передачи информации для магнитооптических элементов коллайдера и/или с помощью пьезостакеров под элементами коллайдера.

Сначала предлагается визуализировать наиболее интенсивные угловые колебания, находящиеся в диапазоне частот 1-4Гц. В этом частотном диапазоне длина поверхностной волны изменяется от 400 до 100м.

**Развитие сети МПЛИ на территории России, Армении, Белоруссии и Узбекистана**

В силу долговременной способности регистрировать угловые колебания поверхности Земли при помощи МПЛИ, можно при помощи распределённой сети из МПЛИ определить изменение ландшафта поверхности Земли. По данным измерения можно определить зоны ускоренного движения участков земной поверхности и тем самым определить зоны накопления сейсмической энергии. В дальнейшем, наблюдая за сейсмической активностью обнаруженных зон, продвинуться в прогнозе будущих землетрясений. Фактически при наличии непрерывной растущей базы данных можно составлять прогнозы интенсивности будущего землетрясения и его возможного времени.

На территории Российской Федерации, Армении, Узбекистана и Белоруссии планируются работы по созданию сети из МПЛИ с целью долговременного наблюдения изменения ландшафта поверхности Земли. В Армении и на Камчатке в настоящее время уже работают МПЛИ.

Дальнейшие работы планируется проводить в несколько этапов:

* Определение долговременного временного интервала достоверных измерений для МПЛИ. Для этих целей планируется размещение двух МПЛИ в Международной сейсмической обсерватории в Гарни и в дальнейшем двух в Гюмри (Армения). Согласованность показаний пары приборов обеспечат достоверность получаемой информации.
* Размещение пробной сети из нескольких инклинометров и определение деформации поверхности Земли этой сетью.
* Создание программно-аппаратного комплекса для синхронизации и приема поступающих с инклинометров данных. Создание системы on-line контроля за функционированием инклинометров. Визуализация данных. Разработка программного обеспечения для определения зон накопления сейсмической энергии.
* Создание полномасштабной сети в сейсмоопасных районах для точного определения зон накопления сейсмической энергии.

**Создание сети из четырёх МПЛИ в Армении для прогноза Землетрясений**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Этапы | Начало | Окончание |
| Установка МПЛИ в Международной геофизической обсерватории Гарни | 2021 | 2022 |
| Мониторинг микросейсмической активности в зоне разлома земной коры в ГАРНИ | 2022 | 2028 |
| Изготовление 3-х образцов МПЛИ (при наличии финансирования) и размещение их в геофизических центрах в Армении. | 2023 | 2025 |

Дополнительно на Камчатке планируется при помощи МПЛИ мониторинг вулканической активности. Проведение НИР по изучению корреляций работы инклинометров с другим метрологическим оборудованием.

Для создания необходимой аппаратуры в рамках проекта запланирована адаптация МПЛИ для целей прогноза землетрясений, способных длительно работать на автономных станциях, с питанием от солнечных батарей.

**Сопутствующая метрологическая активность**

**Сейсмоизолированная платформа**

В качестве сопутствующей метрологической активности мы предлагаем продолжить работы по созданию сейсмоизолированного оптического стола (платформы). Предыдущие исследования показали перспективность развиваемого направления.

Наша задача скомпенсировать угловые наклоны поверхности оптического стола в диапазоне частот 10-6-1 Гц.

**PC**

**Controller**

The CPLI measurement directions

**S**

**N**

The optical table

orientation directions

3m

**The optical table**

**A**

**C**

**B**

CPLI

Рис.11 Схема стабилизации углового положения оптического стола при помощи МПЛИ

Для эксперимента предлагается использовать имеющийся оптический стол длиной 3м и шириной 1.5 м (рис. 11).

Оптический стол устанавливается на три точки опоры: A, B и C, изменяющие своё положение по высоте при помощи пьезоэлектрических актюаторов, управляющее с помощью E-727 Digital Multi-Channel Piezo Controller. На оптическом столе располагается прецизионный лазерный инклинометр, который устанавливается на центр стола. Этот инклинометр будет показывать степень компенсации микросейсмических шумов, которые будут подавляться с помощью сигналов обратной связи, поступающих на Digital Multi-Channel Piezo Controller с другого инклинометра, расположенного на полу, рядом с оптическим столом.

**Лазерная реперная линия**

Лазерная реперная линия (ЛРЛ) является ключевым метрологическим инструментом, который позволит выставить детекторы физической установки с высокой точностью.

Предыдущие исследования, которые проводились в Метрологической Лаборатории ЛЯП, показали перспективность её создания.

Concrete floor

The CPLI

The vacuum volume

The end PSD

The non-destructive testing system

The laser beam

The laser

The PSD

Рис.12 Схема лазерной реперной линии

Примеры физической установки, в которых может быть использована ЛРЛ.

Электронный ускоритель длиной 200 м который создаётся В ЛЯП. Для него необходимо с точностью 50 мкм выставить элементы ускорительных секций и в дальнейшем иметь возможность онлайн измерений положения ускорителя за длительный период.

Развиваемая нами ЛРЛ способна измерить с точностью 10 мкм положение ускорительных элементов линейного ускорителя и в дальнейшем иметь возможность онлайн поверки их расположения.

**Ожидаемые результаты работы по проекту «Прецизионная лазерная метрологии для ускорителей и детекторных комплексов»**

Работы по проекту предполагается вести в течение 5 лет.

За указанный период планируется :

* Создать и запустить 12 МПЛИ для коллайдера NICA (для попарного контроля в 3-х местах перед выводами встречных пучков)
* Создать программное обеспечение для визуализации изменения положения поверхности Земли под коллайдером НИКА.
* Создать программно-аппаратный комплекс для синхронизации, обработки показаний МПЛИ и передачи данных для выполнения компенсации колебаний опор ускорителя с помощью элементов магнитооптики коллайдера NICA
* Модифицировать текущую версию МПЛИ для долговременной стабильной работы на протяжении 6-12 месяцев с точностью угловых измерений 10-17 рад. в условиях удаленных геодезических пунктов с питанием от солнечных батарей
* Провести НИР по созданию новой версии МПЛИ – интерферометрического ПЛИ (ИПЛИ), обладающего слабой температурной зависимостью и менее затратным производством, базирующимся на доступных компонентах
* Создать серию модифицированных МПЛИ и ИПЛИ
* На базе наборов модифицированных МПЛИ и ИПЛИ провести этапы развертывания сетей для определения регионов накопления сейсмической энергии и мониторирования объектов на территории Камчатки, Армении, Беларуси и Узбекистана
* Создать необходимое программное обеспечение для приема данных с сети ПЛИ, он-лайн контроля, визуализации поверхности Земли контролируемой сетью, алгоритмы ( включая машинное обучение, нейронные сети) для определения зон повышенного накопления сейсмической энергии

Для сопутствующей метрологической активности :

* Провести НИР по созданию сейсмоскомпенсированной от угловых колебаний поверхности Земли платформы.
* Провести НИР по созданию лазерной реперной линии.

**Риски работы по проекту**

* Для успешной реализации проекта необходимо устойчивое финансирование. Отсутствие финансирования - главный риск этого проекта. Отсутствие возможности закупки оптических комплектующих для создания МПЛИ. Ряд элементов МПЛИ производятся на зарубежных фирмах. Возникают трудности в приобретении их оборудования. Для уменьшения этого риска мы наладили изготовление оптики для МПЛИ собственными усилиями, с использованием напылительной установки.

Для кардинального решения этой проблемы мы развиваем новый тип МПЛИ изготовленный из оборудования произведённое в РФ. Этот МПЛИ будет иметь те же ТТХ, что и представленный в проекте МПЛИ.

* Проблемы с закупками электронного оборудования. Этот риск связан с трудностью закупки прецизионных АЦП, микросхем для платы управления. Для уменьшения этого риска мы начали собственное производство плат управления МПЛИ с электронными компонентами, доступными к закупке в РФ.

Для уменьшения зависимости от прецизионных АЦП мы переходим на фотовольтаический метод регистрации сигналов с фотоприёмников в МПЛИ. Это позволит использовать распространённые менее прецизионные АЦП, доступные к закупке в РФ.

**Возможный/вероятный сценарий развертывания сети в Армении, Узбекистане и других странах – закупки необходимых компонент сотрудничающими с нами организациями этих стран и сборка инклинометров «на месте».**

В рамках проекта создана группа по производству и программированию управляющих плат для МПЛИ. Это позволит полностью сосредоточить производство МПЛИ в ОИЯИ и тем самым обеспечить необходимым оборудованием создание сети из МПЛИ

**2.3. Предполагаемый срок выполнения проекта**

***Основная деятельность:***

**Создание измерительной сети из МПЛИ для онлайн визуализации движения поверхности Земли при прохождении поверхностных микросейсмических волн индустриального и природного происхождения.**

Создание сети состоит из следующих этапов:

* Согласование мест установки МПЛИ на коллайдере NICA.
* Изготовление в мастерских ЛЯП необходимого количества конструктивов МПЛИ.
* Изготовление электронных плат для МПЛИ в ЛЯП ОИЯИ
* Сборка, настройка, калибровка, установка МПЛИ и запуск сети.
* Создание программного обеспечения для приема, синхронизации данных и он-лайн контроля сети из МПЛИ
* Создание программного обеспечения для онлайн визуализации движения поверхности Земли сетью из МПЛИ.

Проект рассчитан на пятилетний период 2024-2028.

**Основные этапы по созданию сети МПЛИ ( >= 12 штук ) для коллайдера NICA.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование работ | Начало работ | Окончание работ |
| 1 | Изготовление МПЛИ | 2023 | 2027 |
| 2 | Установка МПЛИ на коллайдере НИКА | 2023 | 2028 |
| 3 | Создание программного обеспечения для приема, синхронизации данных и он-лайн контроля сети из МПЛИ | 2023 | 2024 |
| 4 | Создание программного обеспечения для онлайн визуализации движения поверхности Земли сетью из МПЛИ | 2024 | 2028 |

**Развитие сети МПЛИ на территории России, Армении, Белоруссии и Узбекистана**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование работ | Начало работ | Окончание работ |
| 1 | Модифицировать МПЛИ для долговременной стабильной работы на протяжении 6-12 месяцев с точностью угловых измерений 10-17 рад. в условиях удаленных геодезических пунктов с питанием от солнечных батарей | 2023 | 2024 |
| 2 | Создание интерферометрического ПЛИ (ИПЛИ) | 2023 | 2024 |
| 3 | Создать серию модифицированных МПЛИ и ИПЛИ | 2023 | 2028 |
| 4 | Испытание совместной работы двух МПЛИ | 2024 | 2025 |
| 5 | На базе наборов модифицированных МПЛИ и ИПЛИ провести этапы развертывания сетей для определения регионов накопления сейсмической энергии и мониторирования объектов на территории Камчатки, Армении, Беларуси и Узбекистана | 2023 | 2028 |
| 6 | Создать необходимое программное обеспечение для приема данных с сети ПЛИ, он-лайн контроля, визуализации поверхности Земли контролируемой сетью, алгоритмы ( включая машинное обучение, нейронные сети) для определения зон повышенного накопления сейсмической энергии | 2024 | 2028 |

***Сопутствующая метрологическая активность***

**Сейсмоскомпенсированная от угловых движений поверхности Земли платформа.**

Будет проведено создание такой платформы при использовании двух МПЛИ. Одного рядом с платформой – для подачи сигналов в контроллеры пьезоэлементов с целью компенсировать колебания. Второй МПЛИ, размещенный на платформе даст информацию о достигнутой степени компенсации.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование работ | Начало работ | Окончание работ |
| 1 | Написание и отладка программы на действующем прототипе с частотой до 1Гц | 2023 | 2024 |
| 2 | Изготовление действующей системы угловой сейсмоизоляции на оптическом столе 1.5х3м | 2024 | 2025 |
| 3 | Проведение физических экспериментов на сейсмоизолированном столе | 2026 | 2028 |
| 4 | Изготовление системы сейсмоизоляции для лазерного источника в ЛРЛ | 2024 | 2028 |
| 5 | Испытание сейсмоизолированного лазерного источника в составе ЛРЛ | 2027 | 2028 |

**Лазерная реперная линия**

Лазерная реперная линия является необходимым атрибутом линейных ускорителей. По мере создания ускорителя электронов ЛЯП планируется внедрение двухкоординатной Лазерной Реперной линии. Конечная длина ЛРЛ соответствует длине ускорителя -200м.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование работ | Начало работ | Окончание работ |
| 1 | Проведение исследований по распространению лазерного луча в атмосфере и в вакууме. | 2023 | 2024 |
| 2 | проведение исследований по распространению лазерного луча в вакууме на различных длинах | 2024 | 2025 |
| 3 | Установка ЛРЛ на ускорителе электронов в ЛЯП | 2024 | 2025 |
| 4 | Проведение исследований ЛРЛ с сейсмоизолированным лазерным источником на длинах более 100м | 2025 | 2027 |
| 5 | создание ЛРЛ на всю длину ускорителя и проведение на ней исследовательских работ | 2026 | 2028 |

**2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ**

В работе над проектом учувствуют следующие Лаборатории ОИЯИ :

Лаборатория Ядерных проблем, Лаборатория Высоких энергий, Лаборатория Теоретической физики, Лаборатория Ядерных реакций.

**2.4.1. Потребности в ресурсах МИВК**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вычислительные ресурсы** | **Распределение по годам** | | | | |
| 1 год | 2 год | 3 год | 4 год | 5 год |
| Хранение данных (ТБ)  - EOS  - Ленты | - | - | - | - | - |
| Tier 1 (ядро-час) | - | - | - | - | - |
| Tier 2 (ядро-час) | - | - | - | - | - |
| СК «Говорун» (ядро-час)  - CPU  - GPU | - | - | - | - | - |
| Облака (CPU ядер) |  |  |  |  |  |

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

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Организация** | **Страна** | **Город** | **Участники** | **Тип соглашения** |
| Институт геофизики и инженерной сейсмологии | Армения | Гюмри | Д.К. Карапетян | Протокол 4869-2-19/23 |
| НАН Беларуси Центр Геофизического мониторинга | Беларусь | Минск | Аронов АГ, Аронов ГА | Базовое  Соглашение  2023 |
| Институт сейсмологии АН РУз | Узбекистан | Ташкент | В.А. Рафиков | Протокол 4948 от 17.09.2020 |
| Камчатский филиал «Единая геофизическая служба РАН», КамГУ им Витуса Беринга | Россия | Петропавловск-Камчатский | Е.О. Макаров,  Д.И. Испраилов | Договор 2022 |

**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)*

**3. Кадровое обеспечение**

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

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№№ п/п** | **Категория работника** | **Основной персонал, сумма FTE** | **Ассоциированный персонал, сумма FTE** |
| 1. | научные работники | 5.4 |  |
| 2. | инженеры | 7 |  |
| 3. | специалисты | **0.5** |  |
| 4. | служащие |  |  |
| 5. | рабочие |  |  |
|  | **Итого:** | **12.9** |  |

**3.2. Доступные кадровые ресурсы**

**3.2.1. Основной персонал ОИЯИ**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№№ п/п** | **Категория работников** | **ФИО** | **Подразделение** | **Должность** | **Сумма FTE** |
| 1. | научные работники | М.В.Ляблин  В.В.Глаголев  Г.Т.Торосян  И.В.Бедняков  А.В.Красноперов  В.В.Терещенко  К.С. Бунятов | ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП | Нач. сектора  Зам.директора ЛЯП  Снс  Мнс  Снс  Нач. сектора  Зам. начальника отд | 1.0  0.7  1.0  1.0  1.0  0.5  0.2 |
| 2. | инженеры | А.М.Кузькин  С.Н.Шилов  Ю.В.Клемешов  Р.В.Ни  А.А.Плужников  К.Д.Поляков  С.А.Бедняков  С.В.Терещенко | ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП  ЛЯП | Ст. инженер  Ст. инженер  Инженер  Инженер  Инженер  Инженер  Инженер  инженер | 1.0  1.0  1.0  1.0  1.0  1.0  0.5  0.5 |
| 3. | специалисты | C.Н.Студенов | ЛЯП | Монтажник рэа и п. | 0.5 |
| 4. | рабочие |  |  |  |  |
|  | **Итого:** |  |  |  | **12.9** |

**3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№№ п/п** | **Категория работников** | **Организация-партнер** | **Сумма FTE** |
| 1. | научные работники |  |  |
| 2. | инженеры |  |  |
| 3. | специалисты |  |  |
| 4. | рабочие |  |  |
|  | **Итого:** |  |  |

**4. Финансовое обеспечение**

**4.1. Полная сметная стоимость проекта**

550 (тыс. долл)

**4.2. Внебюджетные источники финансирования**

50 (тыс. долл)

**Руководители проекта В.В. Глаголев М.В. Ляблин**

Дата представления проекта / подпроекта КИП в ДНОД \_\_\_\_\_\_Дата решения НТС Лаборатории \_\_\_\_\_\_\_\_\_, номер документа \_\_\_\_\_\_\_\_\_

Год начала проекта / подпроекта КИП \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(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 | 4 год | 5 год |
|  | | Международное сотрудничество (МНТС) | 200 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Материалы | 100 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Оборудование и услуги сторонних организаций  (пуско-наладочные работы) | 200 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Пуско-наладочные работы | - | - | - | - | - | - |
| Услуги научно-исследовательских организаций | - | - | - | - | - | - |
| Приобретение программного обеспечения | - | - | - | - | - | - |
| Проектирование/строительство | - | - | - | - | - | - |
| Сервисные расходы (*планируются в случае прямой принадлежности к проекту)* | - | - | - | - | - | - |
| **Необходимые ресурсы** | **Нормо-час** | Ресурсы |  |  |  |  |  |  |
| * сумма FTE, |  |  |  |  |  |  |
| * ускорителя/установки, |  |  |  |  |  |  |
| * реактора,….. |  |  |  |  |  |  |
| **Источники финансирования** | **Бюджетные средства** | Бюджет ОИЯИ *(статьи бюджета)* | 500 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| **Внебюджет (доп. смета)** | Вклады соисполнителей  Средства по договорам  с заказчиками  Другие источники финансирования | 50 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Руководители проекта \_\_Г.В Глаголев, М.В. Ляблин\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/

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

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП**

НАИМЕНОВАНИЕ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

ШИФР ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

ШИФР ТЕМЫ / КИП

ФИО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

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

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  ПОДПИСЬ | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ФИО | \_\_\_\_\_\_\_\_\_  ДАТА |