

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора НИЯУ МИФИ

Н.И. Каргин

" 27 "

20 16 г.



ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ

Уникальной научной установки «Экспериментальный комплекс НЕВОД» на 2016 – 2020 гг.

Уникальная научная установка «Экспериментальный комплекс НЕВОД» (УНУ НЕВОД) – единственная в мире установка, которая позволяет регистрировать и исследовать космические лучи в рекордном интервале энергий $10^{10} - 10^{19}$ эВ во всем диапазоне зенитных ($0^\circ - 180^\circ$) и азимутальных ($0^\circ - 360^\circ$) углов. Вся установка в целом и каждый детектор, входящий в ее состав, являются уникальными, не имеющими аналогов ни в России, ни за рубежом.

УНУ НЕВОД позволяет проводить как фундаментальные (происхождение, распространение и взаимодействие КЛ), так и прикладные (мюонная диагностика гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли) исследования. Полученные на УНУ НЕВОД результаты позволили занять лидирующие позиции в области фундаментальных исследований космических лучей сверхвысоких энергий (обнаружение избытка групп мюонов, увеличивающегося с ростом энергии первичных частиц, существование которого было подтверждено на крупнейшей в мире установке "Пьер Оже") и в области прикладных исследований вариаций мюонов космических лучей (мюонная диагностика процессов в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере Земли, их раннее обнаружение и прогнозирование дальнейшего развития).

Для сохранения этих лидирующих позиций на период 10-20 лет требуется дальнейшее развитие уникальной научной установки с целью улучшения ее параметров и характеристик, которые обеспечат повышение точности проводимых исследований и расширение перечня решаемых задач.

Концепция развития УНУ НЕВОД предусматривает проведение следующих мероприятий:

1. Создание нового координатно-трекового детектора ТРЕК из дрейфовых камер площадью 250 кв. м. При этом ТРЕК будет представлять собой единый массив дрейфовых камер с нечувствительными областями ~ 1 см (стенки камер), что уменьшает нечувствительную зону по сравнению с существующим детектором ДЕКОР в 100 раз. Разрешение детектора ТРЕК будет ~ 1 мм, что в 10 раз лучше, чем у детектора ДЕКОР, и соответственно разрешение двух близких частиц улучшится на порядок, что позволит проводить исследования в области больших множественностей и соответственно более высоких энергий. С другой стороны, большая площадь детектора позволит снизить нижний порог регистрируемых событий. В итоге динамический диапазон исследуемых энергий первичных частиц расширится примерно на порядок.

2. Создание ливневой установки НЕВОД-ШАЛ из сцинтилляционных счетчиков, которые будут размещены на крышах зданий. Общая площадь установки, определяемая размерами территории МИФИ, может составить $\sim 0,2$ кв. км. Центральная часть установки создается из сцинтилляционных детекторов, которые ранее работали в установке КАСКАДЕ-Гранде, и были переданы НИЯУ МИФИ в соответствии с Соглашением с Туринским университетом и Национальным институтом ядерной физики Италии (Туринское отделение). Периферийная часть установки будет создана из детекторов, разработанных в ИФВЭ. Создание установки НЕВОД-ШАЛ даст возможность, во-первых, определять положение осей регистрируемых ШАЛ и тем самым в несколько раз (3 – 5) уменьшить неопределенность перехода от зарегистрированного числа мюонов в группе к оценке энергии первичных частиц, а во-вторых, провести энергетическую привязку оценки энергии ШАЛ по плотности мюонов в группах и традиционным методом по полному количеству частиц, зарегистрированных ливневой установкой.
3. Создание установки УРАН, предназначенной для регистрации атмосферных нейтронов, генерируемых адронной компонентой, позволит впервые получить информацию об этой компоненте по всей площади ШАЛ. В настоящее время в составе Экспериментального комплекса НЕВОД работает прототип такой установки ПРИЗМА-32, состоящий из 32 детекторов тепловых нейтронов, который был создан в сотрудничестве с Институтом ядерных исследований РАН. Опыт работы ПРИЗМА-32 будет использован при создании полномасштабной установки УРАН.
4. Модернизация черенковского водного калориметра (ЧВК), объем которого будет вначале увеличен с 800 до 1200 куб. м, а впоследствии до 2000 куб.м. При этом основные элементы ЧВК изменяться не будут, так как они доказали свою надежность и эффективность. Естественно, расширение ЧВК потребует соответствующего расширения системы калибровочных телескопов (СКТ) для обеспечения калибровки вводимых в состав ЧВК измерительных модулей. Соответственно расширятся возможности регистрации ШАЛ детекторами СКТ.
5. В перспективе предполагается заменить существующий мюонный годоскоп УРАГАН, созданный, так же как и координатный детектор ДЕКОР, из стримерных трубок, которые в настоящее время не производятся, а имеющийся запас для их замены неуклонно уменьшается. К тому же использование стримерных трубок требует непрерывной работы сложной газовой системы и постоянного расхода газовой смеси, а эффективность их работы зависит от атмосферных условий (давление, температура, влажность), т.е. от параметров, которые являются предметом изучения. Следующее поколение мюонных годоскопов целесообразно создавать на базе сцинтилляционных стрипов с оптоволоконным съемом информации в виде отдельных независимых модулей. Такой годоскоп не имеет недостатков, присущих МГ на стримерных трубках. Он легко перемещается и в дальнейшем на базе такой конструкции может быть развернута сеть мюонных годоскопов на территории Российской Федерации.

Реализация программы развития УНУ «Экспериментальный комплекс НЕВОД» в 2014 – 2015 гг.

Создание новых детекторов

1. *Координатно-трековый детектор ТРЕК:*
 - разработан проект установки и ее основных блоков и элементов;
 - созданы стенды для исследования и тестирования дрейфовых камер;
 - создан прототип детектора ТРЕК площадью 30 кв. м;
 - разработан проект размещения дрейфовых камер детектора ТРЕК с внешней стороны здания НЕВОД.
2. *Установка для исследования широких атмосферных ливней (НЕВОД-ШАЛ):*
 - разработана конфигурация детектора;

- разработаны системы сбора и обработки данных;
 - создан первый кластер;
 - создана центральная часть НЕВОД-ШАЛ.
3. *Установка для регистрации нейтронов в атмосфере (УРАН)*
- разработан нейтронный детектор на основе бора-10;
 - разработана система сбора и обработки информации;
 - создана первая очередь УРАН.

Модернизация существующих технологических систем

4. Модернизированы системы водоподготовки и термостабилизации экспериментального зала.

Эти работы были выполнены в соответствии с договором с Минобрнауки РФ о поддержке и развитии УНУ НЕВОД (№14.591.21.0002 от 19 августа 2014 г.).

Реализация программы развития УНУ «Экспериментальный комплекс НЕВОД» в 2016 гг.

Создание новых детекторов

1. *Координатно-трековый детектор ТРЕК*
 - проведены методические и тестовые серии измерений на КТУДК (координатно-трековая установка на дрейфовых камерах) – прототипе детектора ТРЕК;
 - проведена экспертиза проекта размещения дрейфовых камер детектора ТРЕК.
2. *Установка НЕВОД-ШАЛ*
 - проведена наладка и запуск кластеров центральной части установки;
 - проведены методические и тестовые измерения;
 - осуществлена регистрация широких атмосферных ливней и восстановлены направления их прихода кластерным методом.
3. *Установка УРАН*
 - проведена наладка и запуск нейтронных детекторов;
 - сопоставлены данные по регистрации нейтронов установками УРАН и ПРИЗМА-32.

Эти работы были выполнены за счет собственных средств НИЯУ МИФИ.

Основные мероприятия по развитию УНУ «Экспериментальный комплекс НЕВОД» в 2017 – 2020 г.

2017 – 2018

Создание новых детекторов

1. *Координатно-трековый детектор ТРЕК:*
 - создание внешнего монтажного бокса;
 - монтаж дрейфовых камер, газовых и электронных коммуникаций;
2. *Установка НЕВОД-ШАЛ:*
 - расширение центральной части за счет дополнительных наземных кластеров;
 - разработка новых детекторов для периферийной части установки НЕВОД-ШАЛ;
 - создание первой очереди периферийной части установки НЕВОД-ШАЛ.
3. *Установка для регистрации атмосферных нейтронов (УРАН).*
 - увеличение эффективности регистрации нейтронов счетчиками на основе бора-10 (сцинтилляторы и ФЭУ);
 - разработка проекта создания второй очереди УРАН;
 - изготовление нейтронных детекторов для второй очереди.

Модернизация существующих детекторов

4. *Черенковский водный калориметр:*
 - проект расширения ЧВК до объема 1200 куб. м;
 - проект затенения водной поверхности детектора и его реализация.
5. *Система калибровочных телескопов СКТ:*
 - разработка счетчика СКТ с большим динамическим диапазоном;
 - изготовление первой партии корпусов, сцинтилляторов и электроники.
6. *Мюонный годоскоп:*
 - разработка проекта МГ на сцинтилляционных стрипах с регистрацией на SiPM;
 - создание прототипа МГ на 16 каналов.

Эти работы предполагаются выполнить за счет средств мероприятия 3.1.1. «Поддержка и развитие уникальных научных установок» ФЦП «Исследования и разработки...» Минобрнауки.

2019 – 2020

Создание новых детекторов

1. *Координатно-трековый детектор ТРЕК:*
 - наладка детектора и проведение методических измерений;
 - проведение совместных методических и физических исследований совместно с другими детекторами.
2. *Установка НЕВОД-ШАЛ:*
 - изготовление детекторов для периферийной части;
 - размещение второй очереди периферийной части установки и включение ее в состав экспериментального комплекса.
3. *Установка УРАН:*
 - наладка и размещение нейтронных детекторов второй очереди;
 - запуск установки в полном объеме и проведение измерений совместно с другими детекторами ЭК НЕВОД.

Модернизация существующих детекторов

4. *ЧВК:*
 - перестройка структуры ЧВК с увеличением его объема в 1,5 раза;
 - проведение совместных методических и физических исследований совместно с другими детекторами.
5. *СКТ:*
 - изготовление, сборка и наладка 36 счетчиков;
 - размещение 18 счетчиков на дне и 18 счетчиков на крышке водного бассейна;
 - запуск СКТ в полном объеме.
6. *Мюонный годоскоп:*
 - изготовление корпусов, стрипов, электроники и монтаж базовых модулей.

Эти работы предполагаются выполнить за счет средств мероприятия 3.1.1. «Поддержка и развитие уникальных научных установок» ФЦП «Исследования и разработки...» Минобрнауки.

Дальнейшие планы увеличения объема ЧВК до максимальной величины 2000 куб. м, расширения СКТ до 188 счетчиков и создания супермодулей мюонных годоскопов будут определяться масштабами финансирования УНУ.

Обоснование реализуемости Программы

Экспериментальный комплекс НЕВОД был включен в перечень уникальных научных установок в конце 1994 года вскоре после сдачи в эксплуатацию его первой очереди (НЕВОД-91).

За 20 лет УНУ НЕВОД был дооснащен двумя новыми детекторами ДЕКОР (1999 г.) и УРАГАН (2005 – 2006 гг.), дважды были модернизированы ЧВД и СКТ (2000 и 2010 гг.), создано много автоматизированных стендов и современных технологических систем, в том числе термостабилизации (2011 г.), водоподготовки (2013 г.) и газообеспечения (2013 г.). В 2011 году начал работать прототип установки для регистрации нейтронов ПРИЗМА-32. В 2014 – 2016 были созданы и запущены в эксплуатацию центральная часть установки НЕВОД-ШАЛ, первая очередь УРАН и установка КТУДК – прототип детектора ТРЕК.

Таким образом, в течение более 20 лет существования уникальной установки "Экспериментальный комплекс НЕВОД" она постоянно модернизировалась и дополнялась новыми детекторами и системами. При этом большинство работ проводилось без выключения установки при высокой эффективности ее использования. Это показывает, что коллектив УНУ способен выполнить работы, включенные в программу развития УНУ НЕВОД.

Ожидаемый результат:

Конечной целью программы развития и модернизации УНУ "Экспериментальный комплекс НЕВОД" является достижение мирового уровня параметров и характеристик создаваемых и модернизируемых детекторов и превращение ее к 2020 году в установку Мегасайнс-класса для проведения фундаментальных, поисковых и прикладных исследований космических лучей в рекордном диапазоне энергий $10^{10} - 10^{19}$ эВ и в полном телесном угле.

Реализация программы развития УНУ НЕВОД обеспечит сохранение ее уникальности на 10 – 20 лет позднее 2020 года, а новые параметры и характеристики УНУ позволят существенно расширить круг решаемых задач по актуальным проблемам фундаментальных и прикладных исследований космических лучей.

Руководитель УНУ НЕВОД _____ А.А. Петрухин

