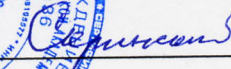




УТВЕРЖДАЮ  
И.о. директора ИЯФ СО РАН

  
Скринский А.Н.

## ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ УНУ «Комплекс ДОЛ» НА 2015-2020 ГОДЫ

### Раздел 1. Характеристика УНУ

#### 1.1. Краткое описание УНУ и ее основные параметры и характеристики

Уникальный комплекс открытых магнитных ловушек для исследования физики удержания и нагрева термоядерной плазмы «ДОЛ» (Длинные Открытые Ловушки) расположен в Институте ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН (г. Новосибирск) и представляет собой единый комплекс электрофизических установок, которые имеют общую инфраструктуру. В настоящее время в состав УНУ «Комплекс ДОЛ» входят две крупные линейные магнитные ловушки ГДЛ и ГОЛ-3. Ловушки оснащены мощными системами нагрева плазмы, которые позволяют достигать субтермоядерных параметров плазмы. Эти плазменные установки являются уникальными объектами научной инфраструктуры Российской Федерации и не имеют аналогов в нашей стране.

#### 1.2. Обоснование необходимости модернизации УНУ и улучшения ее параметров (характеристик)

В настоящее время актуальной научной и технологической задачей физики плазмы является создание простого и надёжного объёмного источника термоядерных нейтронов, который в зависимости от конфигурации может быть использован как драйвер безопасного подкритического реактора, элемент трансмутатора радиоактивных отходов, система ядерного материаловедения с большой удельной мощностью нейтронного потока. Существуют проекты такого источника нейтронов на основе открытых ловушек, технико-экономическая привлекательность которых существенно улучшается в случае применения дополнительных секций с многопробочным магнитным полем, значительно сокращающих потери частиц и энергии из основной области удержания плазмы. Разработка физических основ мощного плазменного нейтронного источника на основе открытой ловушки требует создания его рабочего прототипа – квазистационарной открытой ловушки следующего поколения ГДМЛ на основе комплекса ДОЛ. Для этого требуется модернизировать энергоцентр комплекса, изготовить стационарную систему нагрева плазмы, сверхпроводящую магнитную систему и систему вакуумной откачки большой производительности.

#### 1.3. Перечень приоритетных направлений развития науки и технологий, в рамках которых работает УНУ

Приоритетное направление «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» в соответствии с Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899.

Приоритетное направление «Исследование и разработка физических принципов и технических решений эффективной и безопасной гибридной ядерной энергетики» по Перечню приоритетных научных задач, решение которых требует использования возможностей центров коллективного пользования научным оборудованием (утвержден президиумом Совета при Президенте РФ по науке и образованию, протокол № 10 от 24 февраля 2014 г).

Приоритетное направление «Современные проблемы физики плазмы, включая физику высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза, физику астрофизической плазмы и основы ее применения в технологических процессах» по Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы (утверждена распоряжением Правительства РФ от 3 декабря 2012 г. № 2237-р).

Критическая технология «Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом» в соответствии с Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899.

#### **1.4. Основные направления научных исследований, проводимых с использованием УНУ**

Программа научных исследований на базе УНУ «Комплекс ДОЛ» направлена на создание конкурентоспособных плазменных нейтронных генераторов и реакторов управляемого ядерного синтеза на основе линейных систем с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы (открытых ловушек).

Основными направлениями программы является получение новых знаний и разработка новых технических решений в таких областях, как:

- физика плазмы и управляемого термоядерного синтеза;
- термоядерная энергетика и гибридная ядерная энергетика;
- взаимодействие плазмы с поверхностью материалов;
- физика и техника мощных атомарных, ионных и электронных пучков;
- генерация мощного миллиметрового и субмиллиметрового излучения при пучково-плазменном взаимодействии и в пространственно-распределенных электродинамических системах с релятивистскими электронными пучками.

#### **1.5. Использование УНУ в мероприятиях по подготовке кадров высшей квалификации**

УНУ «Комплекс ДОЛ» является экспериментальной базой двух образовательных учреждений высшего профессионального образования – Новосибирского национального исследовательского государственного университета (НГУ) и Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). Указанные организации с самого момента создания УНУ Комплекс ДОЛ являются ее пользователями. На установках Комплекса проводят исследования научные коллективы, включающие преподавателей, студентов, аспирантов и докторантов этих университетов. Кроме того, базовая организация УНУ (ИЯФ СО РАН) имеет свою собственную аспирантуру, аспиранты которой принимают непосредственное участие в работах на установках Комплекса. По результатам, полученным с использованием УНУ, ежегодно проходят защиты курсовых, дипломных, квалификационных и диссертационных работ всех уровней.

#### **1.6. Перечень услуг, оказываемых УНУ внешним и внутренним пользователям**

- Проведение исследований в области физики высокотемпературной плазмы;

- Проведение исследований в области физического материаловедения;
- Проведение исследований в области физики и техники атомарных, ионных и электронных пучков;
- Проведение исследований в области физики и техники генерации электромагнитного излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов.

## **Раздел 2. Цель и задачи Программы**

### **2.1. Цель программы**

Работы по развитию УНУ Комплекс ДОЛ направлены на расширении ее функциональных возможностей и повышении научно-технического уровня проводимых исследований. В результате выполнения программы развития УНУ планируется довести характеристики Комплекса и используемые методы исследований до уровня, соответствующего мировому, по масштабу и качеству проводимых научных работ и обеспечивающего ведущую роль Комплекса ДОЛ в национальной и мировой системах фундаментальных и прикладных исследований. Целью программы развития также является повышение конкурентоспособности УНУ «Комплекс ДОЛ» на рынке исследований и разработок, обеспечение эффективного функционирования, способствующего развитию Института ядерной физики им. Г.И. Будкера, а также отечественных и зарубежных организаций – партнеров.

### **2.2. Задачи программы и основные мероприятия, направленные на ее решение задачи**

Основными научными задачами работы УНУ «Комплекс ДОЛ» на период до 2020 года будут являться:

- разработка физических основ для создания безопасного гибридного реактора с подкритической активной зоной и плазменным источником термоядерных нейтронов на базе осесимметричной открытой ловушки;
- разработка проекта и создание квазистационарной открытой ловушки следующего поколения - ГДМЛ;
- дальнейший рост основных плазменных параметров эксперимента на действующих установках комплекса: газодинамической ловушке ГДЛ и многопробочной ловушке ГОЛ-3;
- развитие возможностей Комплекса ДОЛ по проведению экспериментов по смежным научным направлениям, в частности, по программе испытания конструкционных материалов под воздействием мощных плазменных и тепловых потоков, и по программе генерации излучения терагерцового диапазона из турбулентной плазмы, нагреваемой электронным пучком;
- развития возможностей установок комплекса для предоставления услуг по проведению экспериментов по научным программам внешних пользователей;
- подготовки научных и инженерных кадров высшей квалификации.

Выполнение изложенных основных научных задач будет обеспечиваться различными научно-техническими и технологическими мероприятиями, направленными на сохранение уникальности и превосходства УНУ «Комплекс ДОЛ».

Разработка концептуального проекта открытой ловушки нового поколения ГДМЛ – как прототипа конкурентоспособного источника нейтронов и термоядерного реактора – выходит на первый план и становится основным результатом в Программе научных

исследований на УНУ. Подавляющее большинство других задач Программы фактически нацелено на физическое и инженерно-техническое обоснование проекта ГДМЛ. Этот проект будет синтезом фундаментально-научных и технических разработок, выполняемых в рамках взаимно пересекающихся исследовательских программ составных частей УНУ Комплекс ДОЛ: установок ГДЛ и ГОЛ-3.

Основной целью Концепции развития УНУ на период до 2020 года будет создание установки ГДМЛ, подготовка и проведение цикла экспериментов, направленных на доказательство перспективности использования осесимметричных открытых ловушек в качестве источников нейтронов для конкурентоспособных гибридных ядерных реакторов с возможностью в дальнейшем создания на их основе «чистого» термоядерного реактора.

### **Раздел 3. Мероприятия Программы**

Программа развития УНУ Комплекс ДОЛ предусматривает выполнение работ в рамках 8 основных мероприятий:

#### **3.1. Дооснащение объекта научной инфраструктуры необходимыми материалами и оборудованием**

Закупка современных приборов, оборудования и материалов для выполнения задач развития УНУ «Комплекс ДОЛ», перечисленных в пп. 3.2 – 3.8 данной Программы.

#### **3.2. Модернизация, содержание и ремонт оборудования УНУ**

Проведение регламентных и ремонтных работ, срочных работы по конструированию и изготовлению новых элементов и узлов, требуемых при проведении утверждённой программы экспериментов. Обеспечение безаварийной и надёжной текущей эксплуатации и выполнения Программы научных исследований УНУ «Комплекс ДОЛ», включая:

- Модернизация вакуумной системы установки ГДЛ
- Модернизация пучково-спектроскопической диагностики на основе динамического эффекта Штарка
- Модернизация системы дисперсионных интерферометров установки ГДЛ.
- Модернизация магнитной системы установки ГДЛ
- Модернизация системы зондовых диагностик установки ГДЛ.
- Модернизация систем управления, сбора и обработки данных установки ГДЛ
- Изготовление системы питания атомарных инжекторов установки ГОЛ-3.
- Проведение модернизации системы вакуумной откачки установки ГОЛ-3.
- Модернизация автономного сегмента сети Ethernet установки ГОЛ-3.
- Изготовление системы управления атомарных инжекторов установки ГОЛ-3
- Создание источника низкотемпературной предварительной плазмы на базе геликонного разряда на частоте 2,45 ГГц.
- Модернизация системы вакуумных измерений установки ГОЛ-3.
- Создание аналоговой части 16-канальной системы регистрации рассеянного лазерного излучения для диагностики температуры и плотности плазмы по томсоновскому рассеянию на установке ГОЛ-3.
- Модернизация системы управления установкой ГОЛ-3.
- Модернизация системы измерения технологических параметров установки ГОЛ-3.
- Проектирование и изготовление узлов и элементов рабочей станции для изучения процессов взаимодействия мощных потоков плазмы с поверхностью.

### **3.3. Разработка и освоение новых методик исследований или измерений**

Разработка и освоение системы лазерного (томсоновского) рассеяния для измерения временной эволюции радиальных профилей электронной плотности и температуры плазмы.

Разработка и освоение измерителя потенциала плазмы на основе пучка тяжелых ионов.

Разработка и освоение диагностики для измерения пространственного распределения плотности потока частиц и энергии, а также электрического потенциала на поверхности торцевых поглотителей плазмы.

Разработка и освоение спектроскопической системы для изучения пространственного распределения нейтрального газа в расширителе ГДЛ и измерения скоростей частиц покидающих ловушку.

Разработка и освоение методики контроля процесса магнитного сжатия электронного пучка по рентгеновскому излучению электронов периферии пучка, попадающих на обрезающую диафрагму установки ГОЛ-3

Разработка и освоение методики по наблюдению состояния поверхности по рассеянию от неё лазерного излучения на установке ГОЛ-3

Разработка и освоение методики характеристики потока микрочастиц по рассеянию света (рассеяние Ми) для установки ГОЛ-3

Разработка и освоение методики измерения плотности плазмы при помощи дисперсионного интерферометра для установки ГОЛ-3

### **3.4. Метрологическое обеспечение функционирования УНУ.**

Повышение точности и надёжности измерений сигналов существующих систем диагностики плазмы на УНУ «Комплекс ДОЛ».

Обеспечение измерительным оборудованием новых каналов регистрации системы томсоновского рассеяния.

Обеспечение измерительным оборудованием новых систем диагностики плазмы УНУ «Комплекс ДОЛ».

Обеспечение измерительным оборудованием новых каналов регистрации высокочастотных диагностик УНУ «Комплекс ДОЛ».

### **3.5. Повышение доступности УНУ для внешних и внутренних пользователей**

Подготовка новых рабочих мест пользователей на территории комплекса, создание и информационное наполнение интернет-сайта, поиск и информирование потенциальных пользователей о порядке доступа к УНУ, информирование о возможностях УНУ и получаемых научных результатах на национальных и международных конференциях. Обеспечение возможности одновременного проведения исследований по двум независимым научным тематикам на установке ГОЛ-3 комплекса ДОЛ.

### **3.6. Расширение перечня оказываемых с использованием УНУ услуг**

Создание новых специализированных стендов и рабочих станций для формирования новых научных тематик для привлечения внешних пользователей в рамках общей научной тематики УНУ «Комплекс ДОЛ». Предоставление возможности точных измерений спектров излучения плазмы в области частот 0 – 3 ТГц. Предоставление возможности проведения экспериментов по воздействию мощных импульсных потоков плазмы на конструкционные материалы в частотном режиме. Создание пользовательских рабочих станций обработки экспериментальной информации. Предоставление современного метрологического оборудования для измерения электрических сигналов, формируемых диагностическим оборудованием внешних пользователей.

### 3.7. Развитие внутренней и международной кооперации УНУ

Привлечение сторонних пользователей из Новосибирского государственного университета (НГУ) и Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) для выполнения научных исследований на УНУ «Комплекс ДОЛ».

Организация междисциплинарных исследований по проблеме воздействия импульсных потоков энергии на конструкционные материалы с межлабораторной кооперацией внутри ИЯФ СО РАН.

Привлечение сотрудников ИПФ РАН в выполнении научных исследований на УНУ «Комплекс ДОЛ», участие сотрудников ИЯФ СО РАН (базовая организация) в ежегодной школе-конференции по микроволновому излучению, организуемой ИПФ РАН.

Привлечение зарубежных сторонних пользователей из ведущих научных центров: IPP Garching (Германия), KIT (Карлсруэ, Германия), FZ Juelich (Германия), Университет г. Мэдисон (США), компании TAЕ (США) и других.

### 3.8. Развитие кадрового потенциала УНУ

Организация и проведение ежегодной школы-семинара для молодых ученых, выполняющих научные исследования на УНУ (включая иногородних участников).

Проведение конкурса научных работ молодых ученых в рамках школы-семинара. Премирование победителей.

Стимулирование сотрудников и аспирантов, выполняющих исследования на УНУ к защите диссертаций на соискание ученой степени, путем премирования по результатам защит.

## Раздел 4. Результаты реализации Программы, оценка ее эффективности

### 4.1. Ожидаемые значения показателей реализации Программы развития УНУ на 2015-2020 годы.

№ п/п	Наименование показателя	Фактические значения 2014 году	Ожидаемые значения в 2020 году
1	Удельный вес сотрудников УНУ, имеющих ученую степень, %	35	40
2	Удельный вес времени работы УНУ в интересах внешних пользователей в общем объеме фонда рабочего времени УНУ, %	70	75
3	Количество организаций-пользователей за год и/или организаций-участников проводимых совместных экспериментов, ед.	12	16
4	Публикационная активность (статьи, подготовленные по результатам исследований, проведенных с использованием УНУ в научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science или Scopus), публ. в год	15	22
5	Удельный вес исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей, выполняющих работы на уникальных научных установках, %	49	50

#### 4.2. Индикаторы и показатели развития УНУ

№ п/п	Наименование параметра (характеристики) УНУ	Значения параметров (характеристик) УНУ на момент подачи заявки	Ожидаемые значения основных параметров (характеристик) УНУ в результате реализации Программы развития УНУ	Значения параметров (характеристик) лучших мировых аналогов УНУ
1	Энергоемкость конденсаторных накопителей системы питания катушек магнитного поля ГДЛ.	5 МДж	6,5 МДж	-
2	Точность измерений напряженности локального магнитного поля в плазме методом MSE.	0,02 Тл с временным разрешением 1 мс	0,01 Тл с временным разрешением 0,1 мс	0,05 Тл с временным разрешением 0,1 мс
3.	Характеристики системы лазерного томсоновского рассеяния	1 точка в пространстве в один момент времени. Пространственное разрешение диагностики: вдоль оси ГДЛ – 2 мм; вдоль радиуса – 20 мм. Диапазон измерений электронной температуры: 50 – 400 эВ при погрешности измерений - 10%.	6 точек по радиусу с пространственным разрешением: вдоль оси ГДЛ – 2 мм; вдоль радиуса – 10 мм. 10 точек по времени с периодом от 200 мкс. Диапазон измерений электронной температуры: 50 – 1000 эВ при погрешности измерений - не более 5%.	Характеристики соответствуют лучшим мировым аналогам.
4.	Температура электронов, удерживаемых в открытой ловушке в квазистационарном режиме	0,4 кэВ	0,5 кэВ	0,28 кэВ
5	Характеристики измерителя спектров ТГц-ового излучения плазмы	Непостоянная чувствительность в области частот 0 – 0,4 ТГц, с временным разрешением 5 нс	Постоянная чувствительность в области частот 0 – 3 ТГц, с временным разрешением 1 нс и низким уровнем шума	Характеристики соответствуют лучшим мировым аналогам
6	Плотность мощности теплового потока плазмы на поверхности образца в квазистационарном режиме.	250 МВт/м <sup>2</sup>	300 МВт/м <sup>2</sup>	Соответствует лучшим мировым аналогам.
7	Мощность атомарной инжекции на установке ГОЛ-3	нет	1,5 МВт	40 МВт (установка TFTR)
8	Длительность стадии нагрева плазмы в многопробочной ловушке	100 мкс	1 мс	не имеет аналогов