

**Резюме проекта, выполняемого в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»
за 2014 год**

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.590.21.0001

Тема: «Развитие уникальной научной установки "Кластер экспериментально-диагностических электрофизических модулей "Пучок-М" для исследования экстремальных состояний вещества при многофакторном воздействии экстремальной плотности мощности (когерентное и широкополосное излучение, пучки заряженных и нейтральных частиц, ускоренные плазменные потоки, сильные ударные волны) на вещество различных агрегатных состояний, в том числе в поле лазерных импульсов ультракороткой длительности»

Приоритетное направление: Энергетика и энергосбережение

Критическая технология:

«Базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии»,

«Нанотехнологии и наноматериалы»,

«Технологии новых и возобновляемых источников энергии»,

«Технологии создания новых поколений ракетно-космической, авиационной и морской техники»,

«Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем».

Период выполнения: 08.2014 – 12.2015

Ключевые слова: экстремальные состояния вещества, экспериментально-диагностический кластер, многофакторное воздействие, когерентное и широкополосное излучение, ускоренные плазменные потоки, сильные ударные волны, пучки заряженных и нейтральных частиц, оптоплазмодинамические механизмы генерации, нагрева и ускорения, оптические и теплофизические свойства

1. Цель проекта

1.1 Целями выполнения работы являются:

1.1.1 Развитие уникальной научной установки «Кластера экспериментально-диагностических электрофизических модулей «Пучок-М» (УНУ «Пучок-М») и обеспечение высокого уровня ее параметров и характеристик, соответствующего уровню лучших мировых аналогов посредством реализации Программы развития УНУ на 2014-2015 годы.

1.1.2 Обеспечение проведения с использованием УНУ «Пучок-М» научных исследований посредством выполнения Программы научных исследований в течение периода реализации проекта.

1.2 Задачами работы являются:

1.2.1 Включение уникальной научной установки «Кластер экспериментально-диагностических электрофизических модулей «Пучок-М» в реализацию комплексных междисциплинарных исследовательских проектов, в том числе в кооперации с ведущими мировыми научными и исследовательскими центрами.

1.2.2 Предоставление научно-исследовательским организациям новых и эффективных методов и средств проведения исследований; повышение эффективности применения находящегося в эксплуатации уникального оборудования; реализация форм коллективного пользования УНУ для проведения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

1.2.3 Выполнение фундаментальных и прикладных исследований, направленных на решение приоритетных научных задач (ПНЗ) (в соответствии с Перечнем, утвержденным президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, протокол № 10 от 24 февраля 2014 г.), в том числе:

1.2.3.1 исследование структуры и фундаментальных свойств материи, в том числе в экстремальных состояниях, на базе уникальных установок мега-класса с целью создания принципиально новых плазменно-пучковых и плазменно-фотонных технологий;

1.2.3.2 исследование и разработка физических принципов и технических решений эффективной и безопасной гибридной ядерной энергетики;

1.2.3.3 исследование и синтез материалов с принципиально новыми свойствами на основе методов атомно-молекулярного конструирования;

1.2.3.4 разработка новых методов переработки и использования возобновляемого и техногенного сырья, ориентированных на решение научных и опытно-конструкторских задач разработок прин-

ципиально новых систем плазменной и фотонной энергетики и радиационно-плазмодинамической технологии.

1.2.4 Подготовка научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации для научных организаций, университетов и промышленности на современной экспериментально-диагностической приборной аналитической базе.

1.2.5 Долгосрочной целью проекта развития УНУ является сохранение за УНУ «Пучок-М» лидирующих позиций и увеличение периода сохранения ее уникальности.

2 Основные результаты, полученные в отчётный период

В соответствии с программой развития УНУ на 2014 г. был выполнен цикл работ по дооснащению установки необходимыми материалами и оборудованием, модернизации, содержанию и ремонту оборудования «Кластера экспериментально-диагностических электрофизических модулей «Пучок-М»; выполнена вся цепочка конкурсных процедур в соответствии с 44-ФЗ, осуществлена поставка и частичная пуско-наладка нового оборудования, обучение персонала, получены улучшенные и новые значения параметров и характеристик за счет развития и модернизации объекта научной инфраструктуры.

Приобретенное в 2014 году оборудование и компоненты позволили:

- пикосекундный лазерный комплекс, сопряженный с имеющимися газовакуумными платформами стенда и средствами диагностики (Лазер Lotis TP LS-2151, генераторы 3-й–5-й гармоник, система поддержания синхронизма 4-й гармоники) – достигнуть параметры сверхпорогового воздействия в пикосекундном диапазоне, заполнить отсутствующий в настоящее время диапазон спектрально-динамических воздействий пикосекундной длительности;

- электрофизический газовакуумный комплекс с оптомеханической подосновой, включая генераторы вакуума с управляемой скоростью дифференциальной откачки и масспектрометрии в широком диапазоне давлений (агрегат вакуумный безмасленный Leybold PT 151 DRY, насос ионно-геттерный Vacom 45S-CV-2H-SC-220-N, камера вакуумная с заглушками ZK-ISOK500-CF100-304-10062078-10, патрубок комбинированный SPE-10061413-15, необходимые вакуумные компоненты и газо-вакуумная арматура, электрические и оптические гермовводы, вибродемпфирующие оптические платформы) – создать новый оптический газо-вакуумный экспериментальный стенд для проведения прецизионных экспериментальных исследований теплофизических, опто-плазмодинамических процессов, динамики и макроструктуры газоплазменных образований в зоне многофакторного воздействия;

- оборудование для оптоэлектрофизического комплекса на основе сверхвысокоскоростных электронных устройств, включая многоканальные, высоковольтные, сильноточные генераторы синхроимпульсов – увеличить число каналов синхронизации в 4 раза, расширить диапазон токов толкающих импульсов до 6 А и улучшить временное разрешение до 250 фс, повысить точность измерения электротехнических параметров до 0,0001%;

- микродозировочные устройства MicroFab MJ-AB-01-020-DLC, MJ-ABL-01-120-DLC, MJ-AT-01-010-DLC, MJ-AT-01-040-DLC, MJ-SF-04-020-DLC, MJ-SF-04-080-DLC – осуществлять дозировку жидких и легкоплавких рабочих веществ с точностью до 5 пл при температурах от 20 до 240°C;

- оптические, электромеханические и оптомеханические элементы и компоненты – создать модуль системы визуализации больших оптических полей, повышения чувствительности регистрирующей аппаратуры и продвижения в новый диапазон n_e , T_e , увеличить в 3 раза число прецизионных (до 0,083 мкм, 0,0016°) электромеханических подвижек с различными степенями свободы;

- импульсный источник электронов Specs EQ22/35 – уменьшить длительность токового импульса в диапазоне энергий электронов от 2 до 10 кэВ до 2 нс.

Выполнен цикл работ по созданию, освоению и реализации новых методик исследований (Методика подачи рабочего вещества в генератор плазмы с использованием светоотверждаемых полимерных композиций) и измерений (Методика псевдоголографической поляризационной спеклинтерферометрии), что позволяет расширить круг решаемых УНУ "Пучок-М" задач и перечень оказываемых с использованием УНУ услуг.

Выполнены работы по развитию кадрового потенциала УНУ путем закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий и повышения процентной численности молодых исследователей работающих на УНУ, работы по повышению доступности УНУ для внешних и внут-

ренных пользователей, развитие внутренней и международной кооперации УНУ и расширение перечня оказываемых с использованием УНУ услуг.

3. Достижение заданных значений индикаторов и показателей реализации работ - подготовлено 6 статей, 3 из них опубликовано, 3 сдано в печать в журналах, индексируемых в базе данных Web of Science и Scopus, привлечено к исследованиям на УНУ 10 организаций, в том числе 1 иностранная организация-пользователь объектом научной инфраструктуры.

Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей, выполняющих работы с использованием УНУ составляет 41,18%.

4. Выполняется программа научных исследований, включая разработку теории и методологии исследования. На УНУ "Пучок-М" выполняются работы по грантам РФФИ, президента РФ, в рамках госзадания.

По результатам выполненных исследований отметим следующие результаты.

Впервые предложена технология и методика применения фотополимеризующихся композиций (ФПК) для решения практических задач, связанных с лазерной генерацией газоплазменных потоков, которая имеет ряд преимуществ: воздействие осуществляется, как правило, на поверхность твердых тел при этом достигается высокая объемная плотность энергии излучения в веществе, а потери в большинстве случаев связаны лишь с рассеянием тепла в объеме мишени. Исследованы эффективность лазерной абляции и особенности применения фотополимеризующихся композиций (ФПК) в качестве рабочих веществ лазерно-плазменных установок различного назначения. Предложенный подход позволяет сочетать преимущества транспортировки и прецизионной дозировки (с точностью до $\sim 10^{-12}$ л) жидких рабочих сред и высокую эффективность лазерного воздействия – на твердые.

Для жидкой и отвержденной фаз показано существенное различие порогов и упомянутых критериев эффективности лазерной абляции. Наибольшая энергетическая эффективность лазерной абляции (~ 22.6 %) достигается при воздействии на изначально жидкий полимер излучения с оптимальной для фотополимеризации длиной волны (в данном случае 365 ± 15 нм). Показано, что импульсное воздействие достаточной интенсивности излучения с длиной волны, соответствующей оптимальной для фотополимеризации, приводит к сверхбыстрому отверждению ФПК и повышению эффективности лазерной абляции.

Выполнен цикл экспериментальных исследований комбинированного (электрооптического) пробоя газовых смесей сложного химического состава в низком вакууме ($p \sim 10^1 - 10^5$ Па) при одновременном воздействии наносекундных лазерных импульсов ($\lambda \sim 213, 266, 355, 532, 1064$ нм, $\tau_{0,5} \sim 18$ нс, $I_0 \sim 10^9 - 10^{11}$ Дж/см²) и постоянного электрического ($E \sim 0 - 13,2$ кВ/см) поля. Получено существенное изменение соотношения оптической и электрической составляющих порога пробоя $I_0(E)$ для различных давлений газа и энергии кванта излучения и наличие синергетического эффекта, проявляющегося в многократном снижении пороговых значений составляющих комбинированного воздействия. Полученные результаты могут быть использованы для повышения энергетической эффективности пробойных процессов в газоразрядных устройствах.

5. Обеспечено проведения исследований для сторонних организаций с использованием УНУ.