



"УТВЕРЖДАЮ

Директор ФТИ им. А.Ф. Иоффе

д.ф.м.н.

С.В. Иванов

М.П.

ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ ФЦКП «Материаловедение и диагностика в передовых технологиях» НА 2019-2020 ГОДЫ

Программа развития ЦКП на 2019-2020 годы (далее - Программа) разработана с целью комплексного развития ЦКП для эффективного участия в реализации проектов, направленных на решение приоритетных научных задач, выполнения исследований и измерений по заказам научных и образовательных организаций, предприятий реального сектора экономики, а также подразделений базовой организации выполняющих исследования и разработки в интересах создания научно-технического задела для обеспечения инновационного развития экономики страны. Программа содержит комплекс мероприятий, направленных на реализацию целей и задач приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации текущего и среднесрочного характера, разработана с учетом планов перспективного развития ФТИ им. А.Ф. Иоффе, как базовой организации, развития сектора исследований и разработок, в том числе по профильному дисциплинарному направлению.

ЦКП является не только структурным подразделением ФТИ им. А.Ф. Иоффе, но и элементом научной инфраструктуры в современном секторе исследований и разработок, осуществляющий свою деятельность в рамках нескольких приоритетных направлений развития науки и технологий Российской Федерации.

Программа разработана на 2 года и утверждена руководителем ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Программа разработана под запрашиваемые в рамках конкурса средства субсидии и привлекаемые внебюджетные средства. Это достигается путем дооснащения приборно-аналитической базы ЦКП современным, дорогостоящим научным и метрологическим оборудованием, в том числе компактным анализатором потока атомов перезарядки CNPA, лазерной зондирующей системы на базе Nd:YAG лазера 330Гц, спектроанализирующим комплексом диагностики томсоновского рассеяния, двухполярным (реверсивным) источником питания 3кА на базе ШИМ преобразователя на IGBT модулях, электровакуумной печью ПЭВ 500x710-1300, энергодисперсионным спектрометром, установками для ионной и механической пробоподготовки, системами сверхвысоковакуумной откачки и рядом других диагностических систем.

Кроме этого мероприятия программы уделяют существенное внимание повышению привлекательности ЦКП для пользователей, путем повышения доступности, постоянного совершенствования методик, информационного обеспечения и развития кадрового потенциала ЦКП.

Раздел 1. Характеристика ЦКП

1.1. Приоритетные направления развития науки и технологий, а также критические технологии, в рамках которых работает ЦКП

Деятельность ЦКП направлена на обеспечение решения задач и получения результатов, сформулированных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642, п. 20б) и направленных на переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике путем создания новых источников энергии. В рамках этого направления ЦКП решает мультидисциплинарные и междисциплинарные исследовательские задачи по реализации использования управляемого термоядерного синтеза на основе установок типа сферических токамаков, как кандидатных управляемых источников нейтронов в гибридных безопасных и экологически чистых источниках энергии типа «синтез-деление». Кроме этого, работа ЦКП укладывается в рамки технологической платформы «Управляемый термоядерный синтез» и технологической платформы «Перспективные технологии возобновляемой энергетики».

Данное направление требует обеспечить поддержку пользователей услуг ЦКП из России и других стран с целью проведения ими широкого спектра мультидисциплинарных и взаимодополняемых исследований в двух основных группах направлений:

1. В области физики высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза, в том числе:

- разработка и исследование методов дополнительного нагрева плазмы и генерации безындукционного тока;
- исследование удержания частиц и энергии в плазме;
- разработка методов получения диверторных и лимитерных магнитных конфигураций;
- разработка методов реконструкции магнитного равновесия;
- исследование МГД устойчивости плазмы;
- получение и исследование плазмы с предельной плотностью и давлением;
- получение и исследование режимов с улучшенным удержанием, транспортными барьерами и исследование зональных потоков;
- исследование процессов в периферийной области плазмы;
- разработка диагностических систем.

В области систем управления, в т.ч.:

- разработка числовых и аналоговых методов автоматического управления параметрами плазмы;
- разработка программно-аппаратных комплексов для управления параметрами разряда в токамаке, в т.ч. в режиме реального времени.

В области энергетических систем и источников нейтронов на базе токамака-реактора, в том числе:

- разработка методов диагностики реакторной плазмы;
- разработка новых методов подачи топлива в горячую зону плазменного шнура;

– разработка прототипов термоядерных источников нейтронов.

В области вычислительных и компьютерных систем, в том числе:

– разработка систем сбора и обработки информации для одновременного доступа большого числа удаленных пользователей.

В области приборостроения:

– исследования работоспособности приборов и оборудования в условиях сильных магнитных полей и излучения из плазмы.

2. В области материаловедения конструкционных материалов оборудования токамака:

– изучение взаимодействия плазмы с конструкционными материалами, подвергающимися воздействию потоков плазмы различного состава, высокой температуры и большой мощности;

– разработка методов защиты обращенных к плазме поверхностей конструкционных материалов и исследование материалов для защиты первой стенки.

Также, мультидисциплинарность и широта охвата исследований и разработок, которые поддерживает ЦКП, определяется тем, что ЦКП располагает широким спектром оборудования и научно-методического оснащения для характеристики физико-химических свойств твердотельных структур, включая и наноразмерные. Кроме того, оборудование ЦКП, используемое для характеристики объектов методами растровой электронной микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии, вторично-ионной масс-спектрометрии и широкого набора рентген-дифракционных методов, внесено в государственный реестр средств измерений Российской Федерации и проходит регулярную метрологическую поверку. Вследствие этого услуги ЦКП востребованы большим количеством научно-исследовательских институтов, университетов и предприятий, ведущих исследования и разработки в микро-, нано- и опто-электронике, интегральной фотонике и квантовым методам передачи и обработки информации, т.е. выполняющих работы, приоритетность которых содержится в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. N 642, п. 20а).

1.2. Проводимые исследования и оказываемые услуги на оборудовании ЦКП

ЦКП проводит исследования и оказывает услуги по направлениям тематики ПНЗ «Исследование и разработка физических принципов и технических решений эффективной и безопасной гибридной ядерной энергетики» используя для этих целей уникальную научную установку Глобус-М, которая оснащена системой питания, комплексами для дополнительного нагрева плазмы и диагностики для создания и исследования высокотемпературной плазмы, а также метрологическим оборудованием, позволяющим проводить исследования конструкционных материалов, подвергающихся воздействию потоков плазмы различного состава, высокой температуры и большой мощности. Сферический токамак Глобус-М2 является результатом комплексной модернизации уникальной научной установки Глобус-М. Была создана новая электромагнитная система, рассчитанная на увеличение тороидального магнитного поля и тока плазмы в 2-2,5 раза до величины магнитного поля 0,8-1 Тл и тока до 0,5 МА. Были модернизированы сетевые

источники питания установки суммарной мощностью 125 МВт. Получили развитие системы дополнительного нагрева плазмы и некоторые технологические системы. Был разработан ряд измерительных диагностических методик и методик проведения плазменных экспериментов. Повышение магнитного поля и тока плазмы, а также увеличение мощности ее дополнительного нагрева, позволило приблизить основные физические параметры плазмы к параметрам проектируемых установок масштаба термоядерного источника нейтронов. Выполненные мероприятия по развитию материально-технической базы УНУ и разработка новых методик расширяют возможности проведения плазменных экспериментов различной направленности и повышают привлекательность исследований для внешних пользователей.

Исследования, проводимые в ЦКП на сферическом токамаке Глобус-М2, в значительной степени направлены на получение новых знаний и разработку экспериментальных методик и технологий в области физики высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза (далее – УТС). Сферический токамак Глобус-М2 позволяет проводить комплексные междисциплинарные исследования для задач, связанных с созданием термоядерных источников нейтронов, решения сопутствующих задач материаловедения, управления сложными быстроизменяющимися объектами. Среди направлений исследований – генерация безындукционного тока плазмы различными методами, создание диверторных конфигураций, исследования процессов переноса в диверторе, исследования материалов первой стенки, получения предельного газокINETического давления плазмы для повышения выхода нейтронного потока, исследования МГД неустойчивостей плазмы, отработка методик управления положением и формой плазменного шнура, и многие другие.

Результаты исследований являются потенциально важными и применимыми для решения проблем энергетики, в том числе атомной и термоядерной, проблем преобразования энергии в рамках решения приоритетной научной задачи «Исследование и разработка физических принципов и технических решений эффективной и безопасной гибридной ядерной энергетики». Эти исследования соответствуют направлениям развития критических технологий: технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом, технологии новых и возобновляемых источников энергии, технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Сферические токамаки рассматриваются в настоящее время как один из вариантов компактного устройства, способного генерировать поток термоядерных нейтронов с энергией 14.1 МэВ. Термоядерный источник нейтронов имеет широкое научное и техническое применение. Активно обсуждается его использование как в составе гибридного ядерного комплекса «синтез-деление», так и для переработки долгоживущих радиоактивных отходов атомных электростанций. Необходимость создания источника 14 МэВ-ных нейтронов связана также с недостатком знаний о радиационной стойкости защитных материалов и элементов конструкции будущей термоядерной электростанции. В последнее время на основе экспериментальных данных, полученных на сферических токамаках, разработан ряд устройств масштаба ТИН с малым аспектным отношением. Было показано, в частности, что в подобных устройствах могут быть использованы теплые медные обмотки для создания

тороидального магнитного поля. Условием эксплуатации таких обмоток является периодическая замена их центральной части, подверженной большим нейтронным нагрузкам.

В период 2014- 2018 годов с использованием оборудования ЦКП в рамках различных соглашений и грантов с Минобрнауки, ФАНО, РФФИ и РНФ были выполнены работы по тематикам ПНЗ. В их числе по направлению № 1: «Эффективные схемы непрерывного поддержания тока и генерации термоядерных нейтронов в компактном сферическом токамаке» проводились работы по пяти соглашениям и грантам; по направлению № 2: «Вывод продуктов термоядерного горения из сферического токамака через интерфейсы диверторного типа и разработка нейтронно-стойкой стенки генератора нейтронов» выполнялись работы по трем соглашениям и грантам; по направлению № 3: «Разработка физических принципов функционирования исследовательского источника термоядерных нейтронов» выполнялись работы по пяти соглашениям и грантам.

ЦКП оказывает услуги внешним пользователям по перечню соответствующих научных направлений ЦКП (см. п. 1.1). Услуги оказываются:

- в постановке экспериментов по заказам пользователей;
- в проведении измерений;
- в испытаниях образцов макетов приборов;
- в испытаниях конструкционных материалов и их приповерхностных слоев, подвергающихся воздействию потоков плазмы различного состава, высокой температуры и большой мощности;
- в испытаниях оборудования;
- в отработке методик измерений;
- в предоставлении экспериментальной базы данных;

Кроме этого оказываются консультационные услуги внешним пользователям, а также образовательные услуги, например, организация практики студентов и аспирантов по заявкам пользователей. Оказываются услуги по экспертизе результатов НИР и НИОКР.

1.3. Наиболее значимые научные результаты, полученные с использованием оборудования ЦКП за последние 3 года.

В ЦКП на базе сферического токамака Глобус-М2 в последние 3 года проводились комплексные исследования. Исследовался нагрев плазмы нейтральным пучком, генерация безындукционного тока пучком и ВЧ волнами в диапазоне частот нижнего гибридного резонанса. Также исследовалось взаимодействие быстрых частиц с плазменной мишенью. Исследовались различные типы неустойчивостей плазмы. Исследовались процессы взаимодействия плазмы со стенкой. Исследовался процесс большого срыва тока плазмы. Получили развитие методы реконструкции магнитного равновесия.

Была изготовлена и введена в эксплуатацию новая электромагнитная система токамака. Модернизированная установка Глобус-М2 рассчитана на следующие основные инженерные параметры:

- большой радиус плазмы, $R = 0.34-0.36$ м;
- малый радиус плазмы, $a = 0.24$ м;
- аспектное отношение тора, $A = R/a = 1.5$

- объем плазмы $0.4-0.5 \text{ м}^3$;
- площадь поперечного сечения плазмы $0.2-0.25 \text{ м}^2$;
- вытянутость плазмы в вертикальном направлении ≤ 2.1 ;
- треугольность плазмы ≤ 0.5 ;
- ток плазмы, $\leq 0,5 \text{ МА}$;
- тороидальное магнитное поле на оси плазмы $\leq 1 \text{ Тл}$;
- суммарная мощность сетевых источников питания 125 МВт (питание от городской сети 110кВ);
- мощность инжектируемых пучков, $P_b \leq 2 \text{ МВт}$;
- энергия частиц пучков, $E_b \leq 40 \text{ кэВ}$ и $E_b \leq 50 \text{ кэВ}$

В ходе выполнения проекта 2017-18 гг. завершена сборка токамака Глобус-М2, проведены комплексные испытания, осуществлен физический пуск и начаты плазменные эксперименты.

В последние три года на установке Глобус-М были получены следующие значимые научные результаты.

1. Завершение изготовления электромагнитной системы Глобус-М2, успешное дооснащение сферического токамака Глобус-М этой системой, испытание на установки на предельных параметрах. (Minaev V.B., Gusev V.K., Sakharov N.V., et al. "Spherical tokamak Globus-M2: Design, integration, construction" Nuclear Fusion, 2017, vol. 57, p. 066047)
2. Проведено исследование особенностей развития тороидальных альфвеновских мод в плазме сферического токамака Глобус-М в омическом режиме и режиме с инжекцией нейтрального пучка. Обнаружены особенности развития неустойчивостей в зависимости от изотопного состава плазмы и частиц пучка. (В.В. Буланин, В.К. Гусев, Г.С. Курскиев, и др. «Обнаружение альфвеновских колебаний на токамаке Глобус-М с использованием метода обратного доплеровского рассеяния», Письма в ЖТФ, 2017, том 43, вып. 23, с. 40 -47; Melnik A.D., Bakharev N.N., Gusev V.K. et al. "Detection of Alfvén Oscillations on the Globus-M Tokamak Using the Doppler Backscattering Method" Plasma Physics Reports, 2017, v.43, 4)
3. Впервые на токамаке Глобус-М проведены эксперименты по контр-инжекции атомов высокой энергии. Получен режим улучшенного удержания без неустойчивостей, локализованных на периферии. Обнаружен значительный рост ионной температуры и энергосодержания плазмы, что объясняется высоким уровнем потерь быстрых ионов. (Н.Н. Бахарев, П.Р. Гончаров, В.К. Гусев, и др. «Первые эксперименты по контр-инжекции атомов высокой энергии на токамаке Глобус-М». Журнал технической физики, 2017, том 87, вып. 12, с. 1814-1818).
4. Диверторные мишени из предварительно облучённых вольфрамовых плиток были изготовлены и установлены на выходе внешней ветви сепаратрисы нижнего дивертора токамака Глобус-М. Для имитации воздействия на мишень 1000—2000 срывов плазмы, ожидаемых в ИТЭР, применялся электронный пучок. (Novokhatsky A.N.,

- Gusev V.K., Ber B.Ya., Brunkov P.N., et al. Globus-M experiments with pre-damaged tungsten divertor ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2017, т. 40, вып. 4, с. 14-24).
5. Получены результаты исследований плазменного источника, основанного на коаксиальном ускорителе с щелевой геометрией канала для разгона плазмы с напуском рабочего газа в ускоритель с помощью электродинамического клапана. Технология может быть применена для сверхбыстрой подачи топлива в реактор ИТЭР. (А.В.Воронин, Н.Н. Бахарев, В.К.Гусев и др. «Разработка источника для подачи топлива в центральную зону термоядерного реактора», Журнал технической физики, 2018, том 88, вып. 5, с. 692-695).
 6. Проведено исследование влияния увеличения тороидального магнитного поля на эффективность удержания частиц и энергии плазмы сферического токамака Глобус-М. (N.N. Bakharev, V.V. Bulanin, F.V. Chernyshev, et al. «The effect of increasing toroidal magnetic field in the Globus-M spherical tokamak» Nucl. Fusion, 2018, v.58, 12, p. 126029).
 7. Выполненные эксперименты, значительно улучшили понимание взаимодействия плазменной турбулентности с потоками в период, предшествующий L-H-переходу в плазме токамака. Впервые в сферическом токамаке Глобус-М была найдена фаза колебаний предельного цикла, характерная для периода перехода в режим улучшенного удержания плазмы. (A.Yu. Yashin, V.V. Bulanin, V.K. Gusev, et al. «Phenomena of limit-cycle oscillations in the Globus-M spherical tokamak» 2018 Nucl. Fusion 58 112009).
 8. Для выяснения условий возбуждения тороидальных альфвеновских мод и их влияния на удержание быстрых частиц в сферическом токамаке Глобус-М впервые применен код KINX. Найдено, что частоты мод с доминирующими полоидальными гармониками 1 и 2 в щели континуума существенно выше, чем наблюдаемые в спектрограммах сигналов от катушек Мирнова (В.К. Гусев, А.А. Мартынов, С.Ю. Медведев, и др. «Тороидальные альфвеновские моды в плазме токамака Глобус-М» Письма в ЖТФ, 2018, том 44, вып. 2, стр. 65-71).
 9. Путем экстраполяции экспериментальных данных сделаны оценки дополнительного давления на камеру при срыве тока в модернизированной установке Глобус-М2. Показано, что срыв тока приводит к появлению изгибающих напряжений в куполах камеры. Наилучшее совпадение измеренного и расчетного поведения тока плазмы при срыве соответствует линейному во времени поступлению примеси углерода в течение всего периода срыва. (Сахаров Н.В., Гусев В.К., Кавин А.А., и др. «Анализ динамики срыва тока плазмы в сферическом токамаке Глобус-М» Физика плазмы, 2018, т. 44, Вып. 4, с.387–397).
 10. На основании экспериментальных данных Глобус-М разработан метод управления положением плазменного шнура токамака, алгоритмы которого могут быть применены для систем управления реального времени (Mitrishkin Y.V., Prokhorov A.A., Korenev P.S., Patrov M.I. «Hierarchical robust switching control method with the Improved Moving Filaments equilibrium reconstruction code in the feedback for tokamak plasma shape» Fusion Engineering And Design 2019, v.138, SI).

11. Исследовано удержание тепловой энергии на компактном сферическом токамаке Глобус-М. Зависимость времени удержания энергии от тороидального магнитного поля оказалась очень сильна. Однако зависимость времени удержания энергии от тока плазмы слабее, чем предсказывает обычное масштабирование по скейлингу ИТЭР. Зависимость времени удержания энергии от столкновительности значительно сильнее, чем при масштабировании ИТЭР, но слабее, чем полученные на сферических токамах NSTX и MAST. (Kurskiev G.S., Bakharev N.N., Bulanin V.V., et al. "Thermal energy confinement at the Globus-M spherical tokamak", 2019 Nucl. Fusion 59 066032).
12. Завершена модернизация и проведена первая серия экспериментов на сферическом токамаке Глобус-М2. Получен ток плазмы более 300 кА при тороидальном магнитном поле свыше 0,6 Тл.
13. В первой половине 2019 г., второй инжектор, способный создавать пучок мощностью до 1 МВт с энергией частиц до 50 кэВ соединен с камерой токамака Глобус-М2. Суммарная мощность инжекции в установке Глобус-М2 достигнет величины 2 МВт.

Основные результаты работ на сферическом токамаке Глобус-М2 за последние годы приведены в обзорах:

1. V.B. Minaev, V.K. Gusev, N.V. Sakharov, V.I. Varfolomeev, et al. N.N. Bakharev, V.A. Belyakov, E.N. Bondarchuk, P.N. Brunkov, F.V. Chernyshev, V.I. Davydenko, V.V. Dyachenko, A.A. Kavin, S.A. Khitrov, N.A. Khromov, E.O. Kiselev, A.N. Konovalov, V.A. Kornev, G.S. Kurskiev, A.N. Labusov, A.D. Melnik, A.B. Mineev, M.I. Mironov, I.V. Miroshnikov, M.I. Patrov, Yu.V. Petrov, V.A. Rozhansky, A.N. Saveliev, I.Yu. Senichenkov, P.B. Shchegolev, O.N. Shcherbinin, I.V. Shikhovtsev, A.D. Sladkomedova, V.V. Solokha, V.N. Tanchuk, A.Yu. Telnova, V.A. Tokarev, S.Yu. Tolstyakov and E.G. Zhilin «Spherical tokamak Globus-M2: design, integration, construction», Nucl. Fusion 57 (2017) 066047.
2. N.N. Bakharev, V.V. Bulanin, F.V. Chernyshev, V.K. Gusev, N.A. Khromov, E.O. Kiselev, G.S. Kurskiev, A.D. Melnik, V.B. Minaev, M.I. Mironov, I.V. Miroshnikov, M.I. Patrov, A.V. Petrov, Yu.V. Petrov, N.V. Sakharov, P.B. Shchegolev, A.D. Sladkomedova 1, V.V. Solokha, A.Yu. Telnova, V.A. Tokarev, S.Yu. Tolstyakov and A.Yu. Yashin «The effect of increasing toroidal magnetic field in the Globus-M spherical tokamak» Nucl. Fusion, 2018, v.58, 12, p. 126029.
3. N.N. Bakharev, G.I. Abdullina, V.I. Afanasyev, A.B. Altukhov, L.G. Askinazi, N.A. Babinov, A.N. Bazhenov, A.A. Belokurov, M.D. Blekhshtein, E.N. Bondarchuk, I.M. Bukreev, V.V. Bulanin,, An.P. Chernakov, F.V. Chernyshev, I.N. Chugunov, A.M. Dmitriev, D.N. Doinikov, V.V. Dyachenko, L.A. Esipov, D.B. Gin, A.V. Gorbunov, A.D. Gurchenko, E.Z. Gusakov, V.K. Gusev, S. Heurax, M.V. Iiasova, M.A. Irzak, S.N. Kamenshikov, A.A. Kavin, E.M. Khilkevitch, N.A. Khromov, E.O. Kiselev, T.P. Kiviniemi, A.A. Kobelev, V.A. Kornev, A.N. Koval, D.V. Kouprienko, S.V. Krikunov, O.L. Krutkin, G.S. Kurskiev, S.I. Lashkul, S.V. Lebedev, C. Lechte, S. Leerink, A.E. Litvinov, K.M. Lobanov, S.V. Masyukevich, A.A. Martynov, S.Yu. Medvedev, A.D. Melnik, V.B. Minaev, A.B. Mineev, M.I. Mironov, I.V. Miroshnikov, E.E. Mukhin, V.O. Naidenov, A.S.

Navolotsky, V.G. Nesenevich, P. Niskala, A.N. Novokhatskii, K.Yu. Oshuev, M.I. Patrov, A.V. Petrov, M.P. Petrov, S.Ya. Petrov, Yu.V. Petrov, I.A. Polunovsky, A.Yu. Popov, A.G. Razdobarin, D.V. Razumenko, V.V. Rozhdestvensky, N.V. Sakharov, D.S. Samsonov, A.N. Saveliev, V.A. Senichenkov, P.B. Shchegolev, A.E. Shevelev, A.D. Sladkomedova, A.I. Smirnov, A.S. Smirnov, V.V. Solokha, V.A. Solovei, A.Yu. Stepanov, A.Yu. Telnova, V.A. Tokarev, S.Yu. Tolstyakov, P.V. Tretinnikov, I.B. Tereschenko, A.S. Tukachinsky, E.A. Tukhmeneva, V.I. Varfolomeev, L.A. Varshavchick, A.Yu. Yashin., E.G. Zhilin and N.A. Zhubr “Tokamak research in Ioffe Institute” 2019 Nucl. Fusion in press, accepted for publication.

Следует отметить, что в ряде Российских и зарубежных термоядерных центров была определена концепция построения ТИН на основе компактного токамака и основные требования к параметрам плазмы в нем. Значительная часть из этих параметров, таких как давление плазмы, форма сечения плазменного шнура, доля безындукционного тока и ряда других достигнуты по отдельности на действующих сферических токамаках, в том числе на установке Глобус-М в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. В проведенных экспериментах были убедительно продемонстрированы все концептуальные преимущества магнитной конфигурации плазмы с малым аспектным отношением. Одной из следующих задач на пути к созданию ТИН является реализация интегрированного сценария работы, в котором требуемые параметры плазмы достигались в эксперименте одновременно. Такой результат может быть получен на исследовательской установке, например модернизированный сферический токамак Глобус-М2 с улучшенными параметрами плазмы, обладающей высокоразвитой инфраструктурой и позволяющей проводить исследования по широкому кругу тематик.

1.5. Участие в мероприятиях по подготовке кадров высшей квалификации

ЦКП активно используется в процессе подготовки кадров высшей квалификации. В работах, проводимых с использованием оборудования ЦКП, принимают участие студенты ряда ВУЗов Санкт-Петербурга и других городов, обучающиеся по программе бакалавров, магистров, специалистов – СПбПУ Петра Великого, СПбГУ, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», МИФИ, МФТИ и др. Результаты этих работ докладываются на российских и международных конференциях, публикуются в научных журналах и представляются в отчетах по действующим грантам, контрактам и соглашениям. С помощью студентов и под руководством сотрудников ЦКП создается и практически применяется уникальное диагностическое и технологическое оборудование. Было защищено более 40 диссертаций на соискание степени бакалавра и магистра.

В работе ЦКП постоянно принимают участие аспиранты и соискатели. Результаты различного рода экспериментов и расчетов вошли в 15 диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук и 7 докторских диссертаций сотрудников ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб ГУ, СПб ГПУ, НИЦ «Курчатовский институт», ТРИНИТИ (Троицк, Московская обл.), АО «НИИЭФА» (Санкт Петербург), ИЯФ СО РАН (Новосибирск).

Сотрудники ЦКП читают курсы лекций аспирантам и регулярно проводят ознакомительные экскурсии для студентов начальных курсов профильных вузов и школьников старших классов физико-математических школ Санкт Петербурга.

Молодые сотрудники, аспиранты и студенты регулярно выступают с докладами о своей исследовательской работе на научных семинарах. Они участвуют в днях науки, проводимых Правительством г. Санкт Петербурга на базе ведущих университетов и в тематических российских рабочих совещаниях и конференциях, где выступают с докладами.

Молодые ученые и аспиранты постоянно принимают участие в международных конференциях. В их числе ежегодная Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, ежегодная Конференция Европейского Физического Общества по физике плазмы, конференция МАГАТЭ по термоядерной энергии. Доклады, направляемые на научные конференции и сообщения, выполненные с использованием оборудования ЦКП и подготовленные с участием аспирантов, соискателей и молодых ученых, проходят предварительное обсуждение на научных семинарах в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. В ЦКП регулярно проводятся семинары, на которых заслушиваются сообщения молодых ученых ЦКП об их текущей деятельности.

Молодые ученые и аспиранты ЦКП регулярно участвуют в конкурсах на получение стипендий и грантов на научные исследования.

Ряд молодых ученых принимал активное участие в инженерно-технических работах по реконструкции электромагнитной системы токамака с дивертором Глобус-М. Такое участие позволяет им приобрести опыт сооружения крупных электрофизических установок и познакомиться с современным высокотехнологичным производством такого оборудования.

Раздел 2. Цель и задачи Программы

2.1 Цель программы

Цель программы состоит в комплексном развитии ЦКП, как объекта научной инфраструктуры, ориентированного на его эффективное участие в получении результатов, необходимых для реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, в том числе способствующего развитию базовой организации – ФТИ им. А.Ф. Иоффе и развитию кооперации ЦКП с ведущими мировыми научными, исследовательскими центрами и университетами.

Важной целью Программы является обеспечение успешного проведения начального этапа исследований на сферическом токамаке Глобус-М2.

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

Достижение поставленной цели Программы развития ЦКП предполагает решение следующих задач:

1. Развитие материально-технической базы ЦКП, как основной задачи на период 2019 – 2020 гг., а именно: создание инфраструктурной базы из современного, высокопроизводительного, дорогостоящего научного оборудования, увеличивающего потенциал ЦКП;

2. Развитие кадрового потенциала ЦКП;

3. Обеспечение доступности и востребованности оборудования ЦКП для проведения научно-исследовательских работ, направленных на реализацию приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, коллективами исследователей, в том числе внешними по отношению к базовой организации;

4. Развитие новых научных направлений;

5. Развитие метрологической составляющей деятельности ЦКП с целью обеспечения точности и достоверности проводимых измерений;

6. Повышение уровня сложности и расширения перечня выполняемых научно-технических услуг;

7. Разработка (освоение) новых методов и методик измерений/исследований;

8. Увеличение объемов научно-исследовательских и технологических работ, выполняемых с использованием оборудования ЦКП для внешних пользователей;

9. Усиление роли ЦКП в повышении уровня и результативности исследований и разработок, проводимых базовой организацией.

Раздел 3. Мероприятия Программы

Мероприятия Программы развития сформированы с целью поэтапного решения сформулированных в Программе целей и задач.

К наиболее важным мероприятиям Программы относится дальнейшее развитие сферического токамака Глобус-М2. Также в период 2019-2020 года установка будет оснащена современным научным и технологическим оборудованием, которое позволит повысить надежность ее эксплуатации и расширить возможности проводимых научных исследований.

Подробный перечень мероприятий приводится ниже.

3.1. Закупка современного дорогостоящего научного оборудования стоимостью свыше 1 млн. рублей

Планируется закупка следующего дорогостоящего оборудования:

1. Система ионного травления и полировки SEM Mill 1061, Fischione, США. Система предназначена для подготовки поверхности образцов твердых сплавов и тугоплавких металлов, а также делать их высокоточные поперечные спилы (cross-section) для последующего исследования методом растровой электронной и оптической микроскопии.
2. Энергодисперсионный спектрометр QUANTAX XFlash 6, Bruker, Германия. Безазотный энергодисперсионный спектрометр предназначен для проведения микроанализа в просвечивающем электронном микроскопе в ТЕМ и STEM режимах с высоким разрешением и высокой скоростью.
3. Компактный анализатор потока атомов перезарядки CNPA. Компактный анализатор потока атомов перезарядки CNPA предназначен для измерения энергетического распределения ионов плазмы в диапазоне от тепловой до энергии инжекции 50 кэВ одновременно в составе комплекса диагностик УНУ Глобус-М.
4. Лазерная зондирующая система на базе Nd:YAG лазера 330Гц. Лазерная зондирующая система будет работать в составе диагностики Томсоновского рассеяния и обеспечивать зондирование плазмы с периодичностью 3 мс для измерения электронной температуры и плотности.
5. Спектроанализирующий комплекс диагностики томсоновского рассеяния. Спектроанализирующий комплекс будет работать в составе диагностики Томсоновского рассеяния и обеспечивать измерения электронной температуры и плотности плазмы на основе анализа рассеянного излучения, возникающего при зондировании плазмы лазером.
6. Двухполярный (реверсивный) источник питания 3кА на базе ШИМ преобразователя на IGBT модулях. Двухполярные (реверсивные) источники питания предназначены для питания обмоток полоидального магнитного поля, обеспечивающих поддержание равновесия высокотемпературного плазменного шнура в токамаке Глобус-М2.
7. Электровакуумная печь ПЭВ 500x710-1300. Электровакуумная печь предназначена для вакуумно-технологической подготовки внутрикамерной защиты токамака и отжига образцов.

8. Прецизионная полуавтоматическая полировальная система MultiPrep TEM System 8" с принадлежностями производства фирмы Allied High Tech Products, Inc. (США). Полировальная система предназначена для подготовки к исследованию методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии, динамической вторично-ионной масс-спектрометрии образцов кандидатных конструкционных материалов, исследуемых в токамаке Глобус-М2 и испытавших радиационные повреждения и внедрение примесных атомов в результате контакта с высокотемпературной плазмой.
9. Системы сверхвысоковакуумной откачки колонны первичных ионных пучков и источников первичных ионов, аналитической камеры и масс-спектрометрической части вторично-ионного микрозондового масс-спектрометра IMS-7f. Оборудование предназначено для модернизации откачной системы вторично-ионного микрозондового масс-спектрометра IMS-7f с целью увеличения его производительности, необходимость которого определяется решением задач по исследованию явления радиационного повреждения высокотемпературной плазмой и содержащимися в ней примесными ионами кандидатных конструкционных материалов, исследуемых в токамаке Глобус-М2, которые после экспозиции в плазме разряда обладают повышенным газоотделением.

3.2. Разработка новых методик выполнения измерений

Будут разработаны следующие методики:

1. Методика измерения профиля ионной температуры в центральной части плазменного шнура в режимах с нейтральной инжекцией частиц высокой энергии; Методика описывает последовательность действий для измерения профиля ионной температуры в центральной части плазменного шнура с помощью сканирующей системы анализаторов атомов перезарядки в режимах нейтральной инжекцией частиц высокой энергии. Локализация измерений с помощью анализатора атомов перезарядки осуществляется за счет того, что доля «активной» части сигнала, определяемой потоком атомов из области пересечения линии наблюдения анализатора и инжектора, значительно превосходит «пассивную» долю сигнала, определяемую потоком атомов из остальных областей плазмы.
2. Методика измерения относительной концентрации изотопов водорода в плазме с помощью анализатора атомов перезарядки; Методика позволяет проводить измерения интегрального отношения изотопов водорода в плазме токамака вдоль линии наблюдения анализатора атомов перезарядки. В методике учитывается влияние эффекта экранирования для потока атомов водорода и дейтерия. Изучаемые изотопы водорода: водород, дейтерий.
3. Методика спектральной калибровки системы регистрации диагностики томсоновского рассеяния с использованием интегрирующей сфер; Методика направлена на выполнение спектральной калибровки системы регистрации диагностики томсоновского рассеяния с использованием интегрирующей сферы для определения спектральных характеристик измерительных каналов полихроматора. Методика позволяет определить коэффициенты, связывающие световой поток на входе в

полихроматор с величиной выходных электрических сигналов для диапазона длин волн регистрируемого излучения 800 -1060 нм.

4. Методика определения электронной температуры на основе данных спектральной калибровки системы регистрации диагностики томсоновского рассеяния; Методика направлена на восстановление формы спектра томсоновского рассеяния по детектируемым сигналам и определение электронной температуры в диапазоне 30 – 2000 эВ.
5. Методика (метод) измерений «Вольфрам. Определение содержания примеси атомов дейтерия методом вторично-ионной масс-спектрометрии»; Методика измерений устанавливает методику определения содержания примеси атомов дейтерия в вольфраме методом вторично-ионной масс-спектрометрии с использованием магнито-секторного вторично-ионного масс-спектрометра. Методика предназначена для исследования механизмов воздействия, в частности радиационных повреждений, высокотемпературной плазмы на вольфрам.
6. Методика (метод) измерений «Вольфрам. Определение содержания примеси атомов бора методом вторично-ионной масс-спектрометрии»; Методика измерений устанавливает методику определения содержания примеси атомов бора в вольфраме методом вторично-ионной масс-спектрометрии с использованием магнито-секторного вторично-ионного масс-спектрометра. Методика предназначена для исследования механизмов воздействия, в частности радиационных повреждений, высокотемпературной плазмы на вольфрам.

3.3. Развитие кадрового потенциала ЦКП

Проводится чтение курсов лекций для студентов и аспирантов по инженерным проблемам УТС и современным методам диагностики плазмы, физической кристаллографии, практическим методам диагностики. По итогам курсов сдаются зачеты и экзамены, готовятся курсовые работы.

3.4. Метрологическое обеспечение деятельности ЦКП

Все современное диагностическое оборудование ЦКП, используемое для решения материаловедческих задач, связанных с воздействием плазмы на конструкционные материалы: рентгеновский дифрактометр D8 DISCOVER (Bruker, Германия), рентгеновский дифрактометр D2 PHASER (Bruker, Германия), просвечивающий электронный микроскоп JEM-2100F (JEOL, Япония), сканирующий электронный микроскоп JSM-7001F (JEOL, Япония), атомно-силовой микроскоп Dimension 3100 (VEECO, США), вторично-ионный микрозондовый масс-спектрометр IMS-7f (CAMECA, Франция), - имеют свидетельства утверждения типа средств измерений и внесены в Государственный реестр средств измерений России. Оборудование проходит регулярные поверки и калибровки по процедурам установленным уполномоченным метрологическим центром с привлечением сотрудников этого центра.

3.5. Повышение доступности приборной базы ЦКП для внешних и внутренних пользователей

№ п/п	Наименование мероприятия	Содержание мероприятия
1.	Поддержание и актуализация информации, размещенной на сайте ЦКП в сети Интернет	Постоянная актуализация информации, размещенной в сети Интернет на сайте ЦКП skr.ginno.ru , в том числе, информации о предоставляемых услугах, текущей загрузке оборудования, порядке доступа к оборудованию и др.
2.	Научный семинар	Участие представителей организаций-пользователей в семинарах ЦКП – лаборатории физики высокотемпературной плазмы и лаборатории диагностики материалов и структур твердотельной электроники.
3.	Ознакомительная экскурсия в ЦКП	Организация экскурсий для студентов и/или заинтересованных специалистов, в рамках которых представляются возможности оборудования, входящего в состав ЦКП.
4.	Публикация научных статей в высокорейтинговых изданиях	Обработка экспериментальных данных, написание и последующая публикация статей в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science / Scopus
5.	Международная выставка «Фотоника»	Участие в отраслевой выставке с целью рекламы, повышения открытости, доступности и востребованности ЦКП.
6.	Международная конференция «Physica.SPb/2019»	Представление научных докладов по результатам исследований, проводимых с использованием оборудования ЦКП.
7.	XLVII международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу	Представление научных докладов по результатам исследований, проводимых с использованием оборудования ЦКП на крупнейшей конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу из проводимых в России.
8.	47-ая конференция по физике плазмы Европейского физического общества	Представление научных докладов по результатам исследований, проводимых с использованием оборудования ЦКП на конференции Европейского физического общества.
9.	Обеспечение доступа к экспериментальным данным	Обеспечение постоянного удаленного доступа к экспериментальным данным, получаемым на сферическом токамаке Глобус-М через сеть Интернет.
10.	Внедрение упрощенной модели доступа и использования оборудования ЦКП, в том числе на основании договора присоединения	Внедрение практики подачи заявки, заключения договора через сайт, дистанционного оказания услуг и выдачи результатов.

3.6. Расширение перечня оказываемых ЦКП услуг

Расширение перечня оказываемых ЦКП услуг связано, в первую очередь, с завершением модернизации и поэтапным выводом сферического токамака Глобус-М2 на проектные параметры. Согласно расчетам, увеличение основных инженерных параметров –

магнитного поля и тока плазмы в 2-2,5 раза позволит достигнуть существенно лучших физических параметров плазмы – температуры, плотности, абсолютного и относительного теплового давления, безразмерного параметра столкновительности и т.д. Все это позволит проводить разнообразные исследования на современном мировом уровне в условиях, приближенных к режиму работы термоядерного источника нейтронов.

Расширению перечня услуг способствует закупка нового оборудования.

Приобретение компактного анализатора потока атомов перезарядки CNPA обеспечит единовременное измерение энергетического спектра атомов во всем диапазоне энергий от тепловой до энергии инжектируемого пучка (50 кэВ) и позволит детально исследовать поведение ионного компонента плазмы в режимах с мощным дополнительным нагревом. Тем самым существенно расширятся возможности для исследования процессов взаимодействия быстрых частиц с плазменной мишенью.

Покупка лазерной зондирующей системы на базе Nd:YAG лазера 330Гц и нового спектроанализирующего комплекса позволит существенно расширить возможности диагностики томсоновского рассеяния. Новая лазерная система обеспечит квазинепрерывный режим измерений с периодом 3 мс. Новый спектроанализирующий комплекс позволит проводить измерения электронной температуры в диапазоне от 30 до 2000 эВ в диапазоне плотности $10^{18} - 10^{22} \text{ м}^{-3}$. Тем самым обеспечиваются возможности для исследования процессов в плазме с параметрами, соответствующими режиму работы термоядерного источника нейтронов.

Два двухполярных (реверсивных) источника питания 3кА на базе ШИМ преобразователя на IGBT модулях будут использованы для питания обмоток полоидального магнитного поля модернизированного токамака Глобус-М2, обеспечивающих поддержание равновесия плазменного шнура по вертикали и по большому радиусу. Тем самым будет обеспечена возможность проведения экспериментов при увеличенном токе плазмы и запасенной энергии плазменного шнура.

Покупка электровакуумной печи ПЭВ 500x710-1300 позволит оперативно проводить вакуумно-технологическую подготовку внутрикамерных элементов токамака и, прежде всего, элементов графитовой защиты стенки разрядной камеры токамака. Это позволит существенно снизить время, необходимое для подготовки токамака к плазменным экспериментам, и увеличить время для проведения исследований (количество оказанных услуг).

Приобретение энергодисперсионного детектора, установок механической и ионной шлифовки и полировки, систем сверхвысоковакуумной откачки позволит расширить круг исследуемых материалов и повысить точность уже разработанных методик измерений.

Также расширение перечня предоставляемых услуг связано с разработкой ряда новых методик.

Методика измерения профиля ионной температуры в центральной части плазменного шнура в режимах с нейтральной инжекцией частиц высокой энергии обеспечивает проведение локальных измерений ионной температуры с помощью сканирующей системы анализаторов атомов перезарядки в режимах нейтральной инжекцией Локализация

измерений с помощью анализатора атомов перезарядки осуществляется за счет того, что доля «активной» части сигнала, определяемой потоком атомов из области пересечения линии наблюдения анализатора и пучка атомов инжектора, значительно превосходит «пассивную» долю сигнала, определяемую потоком атомов из остальных областей плазмы. Методика позволяет производить измерения температуры ионов в диапазоне 200-1500 эВ с временным разрешением 1 мс.

Методика измерения относительной концентрации изотопов водорода в плазме с помощью анализатора атомов перезарядки позволяет проводить измерения интегрального отношения изотопов водорода (состав топливной смеси) в плазме токамака вдоль линии наблюдения анализатора атомов перезарядки в омическом режиме и режимах с дополнительным нагревом с временным разрешением 1 мс. В методике учитывается влияние эффекта экранирования для потока атомов водорода и дейтерия.

Две методики связаны с использованием диагностики томсоновского рассеяния лазерного излучения. Методика спектральной калибровки системы регистрации диагностики томсоновского рассеяния с использованием интегрирующей сферы определяет коэффициенты, связывающие световой поток на входе в полихроматор с величиной выходных электрических сигналов для диапазона длин волн регистрируемого излучения 800 - 1060 нм и повышает точность определения спектральных характеристик измерительных каналов полихроматора. Вторая методика определения электронной температуры на основе данных спектральной калибровки системы регистрации диагностики томсоновского рассеяния направлена на восстановление формы спектра томсоновского рассеяния по детектируемым сигналам и определение электронной температуры в диапазоне 30 – 2000эВ. Знание точной формы спектра повышает достоверность моделирования процессов нагрева и удержания плазмы. Методика может быть востребована в плазменных экспериментах на установках с магнитным удержанием плазмы.

Две методики измерений «Вольфрам. Определение содержания примеси атомов дейтерия методом вторично-ионной масс-спектрометрии» и «Вольфрам. Определение содержания примеси атомов бора методом вторично-ионной масс-спектрометрии» предназначены для исследования механизмов влияния и воздействия, в частности радиационных повреждений, высокотемпературной плазмы на вольфрам – кандидатный материал первой стенки.

3.7. Мероприятия по развитию внутренней и международной кооперации ЦКП в научной и инновационной сферах

Внутренняя кооперации ЦКП постоянно развивается за счет участия в экспериментах как сотрудников различных лабораторий ФТИ им. А.Ф. Иоффе, так и российских организаций-пользователей, таких как МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЯУ МИФИ (оба Москва), СПбГУ, СПбПУ Петра Великого (оба С. Петербург), ТПУ (Томск), АО «НИИЭФА» (С.Петербург), НИЦ «КИ» (Москва), АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» (Троицк), ИЯФ СО РАН (Новосибирск), Частное учреждение «ИТЭР-Центр» (Москва) и других.

Международная кооперация развивается в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве с Казахстанским материаловедческим токамаком КТМ (Национальный

ядерный центр, г. Курчатов, Казахстан). Сотрудники ЦКП участвуют в работе международного экспертного совета по физике токамаков при ИТЭР (секция физики быстрых частиц). Также ведется взаимодействие с организациями Великобритании, Пакистана и Казахстана по линии МАГАТЭ.

В рамках международного сотрудничества по программе ИТЭР с использованием оборудования ЦКП проводятся испытания лазерной и спектральной аппаратуры, разрабатываемой для диагностики томсоновского рассеяния дивертора ИТЭР, включая вспомогательную систему лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ). На токамаке Глобус-М2 сформирована инфраструктура для размещения аппаратуры, обеспечения электро/водоснабжением, электронной коммуникации и системами синхронизации. Подготовлены системы проведения лазерных пучков и системы сбора рассеянного излучения.

В октябре 2018 года в Ахмадабаде, Индия, состоялась 27-я Конференция МАГАТЭ по термоядерной энергии. На конференции был представлен доклад [V. Minaev, V. Gusev, Yu. Petrov, et al, "The Influence of Toroidal Magnetic Field Growth on Plasma Performance in the Spherical Tokamak Globus-M/-M2" Proc. of 27th FEC IAEA conf., FIP/P7-34"], в котором были представлены результаты первых экспериментов на модернизированном токамаке Глобус-М2. Обзор всех проводимых на токамаке исследований был представлен в обзорном докладе [N. Bakharev, G. Abdulina, A. Altukhov, et al, "Tokamak research in Ioffe Institute" Proc. of 27th FEC IAEA conf., OV/5-4"]. Результаты обсуждались с учеными из ведущих зарубежных научных центров.

В целом за 2017-2019 годы по итогам работ с использованием оборудования ЦКП было представлено 37 докладов на международных конференциях, опубликовано 20 статей в зарубежных журналах и 15 статей в российских журналах, из которых основная часть переводится на английский язык. В 2019 году были представлены 6 докладов на XLVI Международную Звенигородскую конференцию по физике плазмы и УТС, Москва, 18 – 22 марта 2019. В июле 2019 года по результатам первой полноценной экспериментальной кампании, проведенной на сферическом токамаке Глобус-М2, был представлен доклад на 46-й Конференции Европейского Физического Общества по физике плазмы, Милан, Италия [V.V. Minaev, V.K. Gusev, Yu.V. Petrov, et al., "Progress in the experiment on the neutral beam injection on the spherical tokamak Globus-M2" P4-1084].

Раздел 4. Контроль за реализацией Программы

4.1. Порядок контроля за ходом реализации Программы со стороны руководителя ЦКП

В группе токамака Глобус-М2 еженедельно под председательством руководителя группы Глобус-М2 или его заместителя, проходят научно-технические совещания, на которых обсуждается ход работ, работы по модернизации установки и проблемы, связанные с обеспечением ее текущей эксплуатации. Такие совещания проводятся регулярно с начала 2000-х годов. Проведено около 1000 таких совещаний, на которых протоколируются состав участников и принятые решения. Рассматривается ход регламентных и ремонтных работ, проведения экспериментов, в том числе и по заявкам пользователей, Также постоянно контролируется выполнение пунктов программы, связанных с закупкой материалов и оборудования, созданием новых диагностик, методик исследований, состоянием приборной базы. Обсуждаются вопросы модернизации источников энергопитания, контролируется вакуумное оборудование и состояние разрядной камеры токамака. При необходимости, в таких оперативных совещаниях принимает участие руководитель ЦКП.

Кроме того, не реже, чем раз в квартал на заседании научного совета ЦКП заслушивается и обсуждается научная деятельность и работы по оказанию услуг.

4.2. Порядок контроля за ходом реализации Программы со стороны базовой организации ЦКП

В соответствии с документами, регламентирующими деятельность ЦКП, его руководитель и руководитель проекта осуществляют постоянный оперативный контроль за ходом выполнения работ и заслушивают доклады сотрудников, ответственных за их выполнение. Наряду с этим, еженедельный контроль осуществляет заведующий лабораторией физики высокотемпературной плазмы проф. Е.З. Гусаков. Периодический контроль с посещением лаборатории осуществляют руководитель отделения Физики плазмы, атомной физики и астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе д.ф.-м.н. А.М. Быков и руководитель Центра физики наногетероструктур чл.-корр. РАН П.С. Копьев. Директор ФТИ им. А.Ф. Иоффе д.ф.м.н. С.В. Иванов регулярно заслушивает ход выполнения работ на коллегии директоров отделений ФТИ им. А.Ф. Иоффе и посещает лаборатории. Также периодически руководитель группы Глобус-М2 д. ф.-м. наук В.К. Гусев выступает с докладами перед Ученым советом ФТИ, который таким образом знакомится с ходом работ и обсуждает выполнение программы.

Финансовый контроль над ходом работ по Программе осуществляется начальником планового-производственного отдела к.э.н. В.В. Юсовой, заместителем директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе по экономике и финансам к.э.н. О.В. Дудник и главным бухгалтером ФТИ им. А.Ф. Иоффе Н.А. Чижовой. Финансовый контроль заключается в проверке целевого использования средств и получении необходимых согласований при оплате услуг, покупке материалов и оборудования.

Раздел 5. Результаты реализации Программы, оценка её эффективности

В результате реализации программы развития ЦКП будут достигнуты следующие результаты:

Увеличение удельного веса лабораторного и аналитического оборудования в возрасте до 5 лет в общей стоимости лабораторного и аналитического оборудования в сети центров коллективного пользования научным оборудованием и рост числа организаций - пользователей научным оборудованием сети центров коллективного пользования научным оборудованием.

Повышение удельного веса исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей, выполняющих работы в сети центров коллективного пользования научным оборудованием.

– Будет проведено техническое обслуживание электроустановок сферического токамака Глобус-М2.

– Будет разработаны и созданы макеты модулей цифровой системы управления плазменной мишенью сферического токамака Глобус-М2.

– Будут проведены работы по метрологическому обеспечению исследований.

– Будет разработана цифровая система управления плазменной мишенью в токамаке Глобус-М2.

– Инфраструктура ЦКП будет подготовлена для установки приобретаемого оборудования.

– Будет подготовлены помещения для размещения и подключения электровакуумной печи вакуумно-технологического комплекса УНУ Глобус-М.

– Будет проведена подготовка к подключению источников питания для обмоток полоидального магнитного поля электромагнитной системы токамака Глобус-М2.

Будут разработаны шесть новых методик измерений:

1. Методика измерения профиля ионной температуры в центральной части плазменного шнура в режимах с нейтральной инжекцией частиц высокой энергии;

2. Методика измерения относительной концентрации изотопов водорода в плазме с помощью анализатора атомов перезарядки;

3. Методика спектральной калибровки системы регистрации диагностики томсоновского рассеяния с использованием интегрирующей сфер;

4. Методика определения электронной температуры на основе данных спектральной калибровки системы регистрации диагностики томсоновского рассеяния;

5. Методика (метод) измерений «Вольфрам. Определение содержания примеси атомов дейтерия методом вторично-ионной масс-спектрометрии»;

6. Методика (метод) измерений «Вольфрам. Определение содержания примеси атомов бора методом вторично-ионной масс-спектрометрии».

Будут разработаны совместно с ВУЗаами образовательные программы с использованием оборудования ЦКП

Достигнуты значения индикаторов и показателей выполнения работ.

Наименование индикатора	Ед. изм.	Отчетный период	
		2019 г.	2020 г.
Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей, выполняющих работы с использованием	процентов	44,5	45

оборудования ЦКП, не менее			
Объем привлеченных внебюджетных средств	млн.руб.	11,6	6,7
Число организаций-пользователей научным оборудованием центра коллективного пользования научным оборудованием	единиц	25	35
Удельный вес лабораторного и аналитического оборудования в возрасте до 5 лет в общей стоимости лабораторного и аналитического оборудования центра коллективного пользования научным оборудованием	процентов	74,2	74,6


Результаты реализации Программы развития ЦКП в период 2017-2018 годов закладывают основу для существенного прогресса в реализации целей и задач приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации текущего и среднесрочного характера, и в ближайшем будущем, позволят получить новые научные результаты мирового уровня, позволят разработать ряд новых методик и повысить качество и количество оказываемых ЦКП услуг.

Руководитель ЦКП
чл.-корр. РАН



С.Г. Конников

Руководитель сферического токамака Глобус-М2
д.ф.м.н.



В.К. Гусев

Научный руководитель работ
д.ф.м.н.



П.Н. Брунков