

УТВЕРЖДЕНА

Решением Экономического совета СНГ
о Программе научных исследований на
казахстанском материаловедческом
токамаке на 2018–2020 годы

от 2 марта 2018 года

ПРОГРАММА
научных исследований на казахстанском
материаловедческом токамаке на 2018–2020 годы

1. Общие положения

Программа научных исследований на казахстанском материаловедческом токамаке на 2018–2020 годы (далее – Программа) разработана в целях реализации Соглашения о совместном использовании экспериментального комплекса на базе казахстанского материаловедческого токамака от 26 мая 2017 года (далее – Соглашение).

Соглашение определяет основные направления сотрудничества государств – участников СНГ и механизмы взаимодействия ведомств и экспертов, обозначает принципы проведения совместных исследований, регламентирует вопросы обеспечения правовой охраны интеллектуальной собственности.

2. Проект создания казахстанского материаловедческого токамака

Казахстанский материаловедческий токамак (КТМ) и его совместное использование государствами – участниками СНГ могут внести значительный вклад в развитие энергетики, высокотехнологичных и наукоемких отраслей промышленности и экономики в целом.

Сооружение экспериментального комплекса на базе КТМ началось в 2003 году. В настоящее время работы, необходимые для его функционирования на плановых параметрах, завершаются.

В IV квартале 2017 года осуществлен второй этап физического пуска комплекса КТМ, в начале 2018 года планируется провести сдачу комплекса в эксплуатацию, после чего он будет готов для осуществления Программы.

КТМ представляет собой прообраз реактора по получению энергии на основе управляемого термоядерного синтеза. Это более совершенная технология по сравнению с используемыми в настоящее время ядерными реакторами, исключая возможность аварий с радиоэкологическими последствиями.

Комплекс предназначен для изучения материаловедческих аспектов термоядерных реакторов.

3. Цели и задачи Программы

Цель Программы – развитие исследований по термоядерному синтезу и технологиям на основе международного сотрудничества и совместного использования установок термоядерного синтеза государств – участников СНГ.

Основными задачами Программы являются реализация совместных научных исследований на КТМ, испытание и выявление перспективных материалов для работы на установках термоядерного синтеза.

4. Основные направления Программы и формы сотрудничества

4.1. Основные направления исследований по Программе:

- проведение исследований по физике плазмы КТМ;
- проведение исследований по физике взаимодействия плазмы с материалами первой стенки и дивертора при омическом нагреве;
- материаловедческие исследования конструкционных и функциональных материалов;
- исследования и реализация новых инновационных технологий и отработка режимов работы макета литиевого дивертора КТМ;
- создание и испытание диагностики для исследования процессов взаимодействия плазма – стенка;
- развитие системы автоматизации, управления и сбора данных, экспериментальная проверка расчетных кодов.

4.2. Основные формы сотрудничества в ходе реализации Программы:

- проведение совместных научных исследований;
- направление ученых, инженеров и технических экспертов для работы на КТМ по совместной программе научных исследований и участие специалистов в соответствующих работах;
- обмен образцами, материалами, оборудованием и программным обеспечением между государствами – участниками Программы;
- обмен информацией;
- совместные публикации;
- организация совместных конференций и семинаров.

5. Финансирование программы

Финансирование совместных мероприятий, программ и работ, проводимых на базе КТМ, в соответствии со статьей 5 Соглашения будет осуществляться за счет средств, предусмотренных в национальных бюджетах заинтересованных государств соответствующим министерствам, ведомствам, государственным корпорациям или иным организациям для выполнения исследовательских проектов по соответствующим тематикам, а также за счет привлечения средств хозяйствующих субъектов и средств внебюджетных источников на договорной основе, в том числе в рамках межгосударственных целевых программ.

6. Механизмы реализации Программы

Совместные работы по основным направлениям Программы будут осуществляться в соответствии с Комплексом мер по ее реализации (прилагается).

Совместная работа экспертов и профильных ведомств государств – участников СНГ расширит финансовые и технические возможности реализации проекта, позволит опробовать новые идеи и обеспечит качественные результаты за счет объединения усилий и опыта специалистов и их компетенций.

Взаимодействие государств – участников СНГ по реализации Программы осуществляется через уполномоченные (компетентные) органы и научно-технический совет при участии Комиссии государств – участников СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях согласно статьям 4 и 6 Соглашения.

7. Ожидаемые результаты выполнения Программы

Выполнение Комплекса мер по реализации Программы позволит достичь следующих конкретных результатов:

- экспериментальная проверка расчетов сценариев горения плазмы на КТМ;
- тестирование и отработка методик для определения параметров плазмы токамака;

- отработка режимов очистки внутренних поверхностей вакуумной камеры;
- тестирование низкотемпературных режимов первой стенки КТМ;

- получение параметров и закономерности взаимодействия изотопов водорода с материалами;

- определение параметров литиевых диверторов при различных режимах работы токамака;

- создание материаловедческого зонда, испытанного в характерных для токамака условиях;

- создание интернет-ресурса для сбора, хранения, обработки и обмена информацией по исследованиям на различных токамаках.

Таким образом, важнейшим итогом Программы станет разработка рекомендаций по использованию конструкционных и функциональных материалов в установках и будущих реакторах термоядерного синтеза с учетом практических испытаний.

8. Значение Программы для научно-технологического развития государств – участников СНГ

Проведение совместных научных исследований на КТМ позволит участникам Программы занять лидирующие позиции в мировой термоядерной программе по материаловедению.

Реализация Программы задолго до завершения строительства, монтажа и начала полноценных экспериментальных исследований на международном экспериментальном термоядерном реакторе послужит основой широкого международного сотрудничества в области термоядерного материаловедения, включая как новые материалы, так и технологические решения, и конструкции.

Программа нацелена на развитие научной и производственной базы для исследований в области перспективных источников энергии.

Технологические разработки в данной области откроют государствам, участвующим в проекте, доступ к технологиям для производства нового поколения конкурентоспособной наукоемкой продукции мирового уровня в энергетических отраслях.

Программа является стартовым элементом наработки опыта и освоения технологий термоядерного синтеза.

Участие в выполнении Программы позволит профильным ведомствам и организациям государств – участников СНГ приобрести уникальный опыт и повысить квалификацию специалистов в области атомной энергетики и в сфере исследований термоядерного синтеза, будет способствовать повышению научно-технического потенциала государств – участников СНГ.

В долгосрочной перспективе положительный экономический эффект будет получен от внедрения в государствах – участниках Программы готовых технологий управляемого термоядерного синтеза – экологически чистой энергетики с практически неиссякаемым ресурсом.

Приложение
к Программе научных исследований
на казахстанском материаловедческом
токамаке на 2018–2020 годы

**КОМПЛЕКС МЕР ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА КАЗАХСТАНСКОМ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОМ ТОКАМАКЕ НА 2018–2020 ГОДЫ**

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
Этап 1. Проведение исследований по физике плазмы КТМ				
1.1.	Исследование формирования плазменного шнура и его выхода на номинальные параметры в режиме омического нагрева	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 83 млн тенге; Российская Федерация – 53 млн рублей	Республика Казахстан: НЯЦ РК ¹ , ИАЭ НЯЦ РК. Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
1.2.	Отработка методик и режимов испытаний высокочастотной системы для дополнительного нагрева плазмы КТМ	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 43 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
1.3.	Разработка эффективной системы нагрева плазмы ионно-циклотронным излучением в диапазоне частот ионно-циклотронного резонанса и определение оптимальных сценариев нагрева плазмы в установке КТМ	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 11,6 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», НИИЭФА
1.4.	Испытания системы изменения плотности плазмы на основе газодинамического источника молекулярного пучка	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 35 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
Итого по этапу 1: Республика Казахстан – 161 млн тенге, Российская Федерация – 64,6 млн рублей				

¹ Список сокращений приведен в конце документа.

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
Этап 2. Проведение исследований по физике взаимодействия плазмы с материалами первой стенки и дивертора при омическом нагреве				
2.1.	Отработка режимов очистки внутренних поверхностей вакуумной камеры КТМ	2019–2020 гг.	Республика Казахстан – 40 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
2.2.	Разработка способа низкотемпературного обезгаживания контактирующих с плазмой элементов первой стенки	2020 г.	Российская Федерация – 9,4 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ
Итого по этапу 2: Республика Казахстан – 40 млн тенге, Российская Федерация – 9,4 млн рублей				
Этап 3. Материаловедческие исследования конструкционных и функциональных материалов				
3.1.	Исследование закономерностей взаимодействия изотопов водорода с конструкционными материалами, материалами с покрытиями, перепыленными слоями			
3.1.1.	Исследование закономерности захвата изотопов водорода материалами первой стенки	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 30 млн тенге	Республика Казахстан: НИИЭТФ, КазНУ им. Аль-Фараби
3.1.2.	Сателитные исследования взаимодействия изотопов водорода с графитом FR-479, покрытым литием, проводимые на литиевом стенде НИЯУ МИФИ	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 31,8 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ
3.1.3.	Сателитные исследования захвата газов материалами первой стенки и перенапыленными слоями КТМ на установках НИЯУ МИФИ, включая взаимодействия плазмы с материалом дивертора; определение состава и структуры перенапыленных слоев; параметры и закономерности захвата газов в контактирующих с плазмой материалах и перенапыленных слоях	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 4,8 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ
3.1.4.	Исследование процессов модификации и упрочнения порошковых коррозионно-стойких сталей, медно-никелевых и алюминиевых сплавов облучением различных энергий	2019–2020 гг.	Республика Беларусь – в пределах целевых средств, выделенных на данные работы в Республике Беларусь	Республика Беларусь: ГНПО ПМ

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
3.2.	Имитационные исследования воздействия высоко-энергетических частиц и плазмы на структуру и свойства перспективных конструкционных материалов термоядерного реактора			
3.2.1.	Исследования воздействия облучения заряженными частицами и плазмы на распыление и тепловую эрозию поверхности, накопление газовых примесей и изменение механических свойств перспективных материалов защиты первой стенки термоядерного реактора	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 59,39 млн тенге	Республика Казахстан: ИЯФ РК
3.2.2.	Имитационные исследования воздействия высокоэнергетичных частиц и интенсивных корпускулярных потоков на структуру и свойства перспективных конструкционных материалов и покрытий, в том числе сталей и защитного покрытия карбида бора	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 11 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ
3.2.3.	Исследование влияния радиационно- индуцированных градиентов внутренних напряжений при облучении нейтронами и заряженными частицами на структурно- фазовые превращения и механические свойства аустенитных нержавеющей сталей	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 39 млн тенге	Республика Казахстан: ИЯФ РК
3.2.4.	Исследование взаимодействия плазмы с поверхностями кандидатных материалов КТМ в результате срыва плазменного шнура	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 10,5 млн тенге	Республика Казахстан: НИИЭТФ, КазНУ им. Аль-Фараби
3.3.	Изучение влияния электронного и плазменного облучения на эрозию поверхности и физико-механические свойства материалов термоядерного реактора			
3.3.1.	Экспериментальные исследования влияния покрытий на свойства материалов, обращенных к плазме, на имитационном стенде с плазменно-пучковой установкой	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 40,46 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
3.3.2.	Разработка и испытание встраиваемого анализатора ионного состава плазмы для имитационного стенда КТМ	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 37,5 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ
Итого по этапу 3: Республика Беларусь – в пределах целевых средств, выделенных на данные работы в Республике Беларусь, Республика Казахстан – 179,35 млн тенге, Российская Федерация – 85,1 млн рублей				

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
Этап 4. Исследования и реализация новых инновационных технологий: «Отработка режимов работы макета литиевого дивертора КТМ»				
4.1.	Испытания и отработка режимов работы макетов литиевого дивертора на основе капиллярно-пористой системы	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 40,042 млн тенге, Российская Федерация – 26,3 млн рублей	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК. Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», АО «Красная Звезда», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
4.2.	Изучение взаимодействия плазмы КТМ с литием, включая влияние реакторного облучения	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 46,013 млн тенге, Российская Федерация – 6,3 млн рублей	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК. Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», АО «Красная Звезда», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
4.3.	Испытания и отработка режимов работы макетов литиевого дивертора, разработанных и созданных на основе металлокерамических элементов высокой степени пористости	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 20 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», АО «Красная Звезда»
Итого по этапу 4: Республика Казахстан – 86,055 млн тенге, Российская Федерация – 52,6 млн рублей				
Этап 5. Создание и испытание диагностики для исследования процессов взаимодействия плазма – стенка				
5.1.	Разработка, создание, тестирование и оптимизация прототипа материаловедческого зонда для КТМ	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 18,0 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ
5.2.	Тестирование и отработка комплекса физической диагностики и методик для определения параметров плазмы токамака КТМ	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 39 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
5.3.	Анализ практического опыта эксплуатации систем и диагностики токамака КТМ и экспериментальных данных, полученных при плазменных экспериментах	2018–2020 гг.	Республика Казахстан – 8,5 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
Итого по этапу 5: Республика Казахстан – 47,5 млн тенге, Российская Федерация – 18 млн рублей				
Этап 6. Развитие системы автоматизации, управления и сбора данных, экспериментальная проверка расчетных кодов				

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
6.1.	Развитие системы автоматизации проведения экспериментов на КТМ и распределение системы хранения и обработки результатов с созданием единого объединенного сегмента национальных grid-сетей для информационно-расчетной поддержки работ по научной программе КТМ			
6.1.1.	Разработка и создание grid-интегрированной системы обработки данных экспериментов на КТМ	2019–2020 гг.	Республика Беларусь – в пределах целевых средств, выделенных на данные работы в Республике Беларусь	Республика Беларусь: ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси, БГУ, ООО «Прикладные системы»
6.1.2.	Оптимизация процессов кондиционирования рабочей вакуумной камеры перед пуском КТМ	2018 г.	Республика Казахстан – 23 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
6.1.3.	Создание интернет-ресурса для сбора, хранения и обмена информацией по исследованиям на токамаках	2020 г.	Республика Казахстан – 18 млн тенге	Республика Казахстан НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
6.1.4.	Экспериментальная оценка состояния контактных сопротивлений обмотки трансформатора в рабочем диапазоне токов	2019 г.	Республика Казахстан – 22,355 млн тенге	Республика Казахстан НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
6.1.5.	Разработка и внедрение средств автоматизированной подготовки и загрузки комплексных сценариев разряда КТМ	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 5,4 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус»
6.1.6.	Исследование, разработка и внедрение алгоритмов и технических средств интеллектуализации распределительной сети КТМ, основанных на принципах smart-grid, в целях защиты электротехнологического оборудования и повышения качества электроснабжения экспериментального комплекса	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 8,5 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус»
6.1.7.	Разработка и внедрение многофункционального интеллектуального устройства анализа параметров сети электроснабжения КТМ	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 5,8 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус»
6.1.8.	Развитие архитектуры и технического обеспечения устройств сбора данных с диагностических систем КТМ на основе высокопроизводительных магистрально-модульных систем и логических схем с высокой степенью интеграции элементов	2019–2020 гг.	Российская Федерация – 7,4 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус»

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
6.1.9.	Создание дополнительного программного и технического обеспечения для расширения функциональных и информационно-вычислительных возможностей пульта управления КТМ	2019–2020 гг.	Российская Федерация – 10 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус»
6.1.10.	Создание протоколов и программного интерфейса для организации удаленного участия научно-исследовательских коллективов в совместных экспериментах, проводимых на КТМ	2019–2020 гг.	Российская Федерация – 9,8 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус»
6.1.11.	Сопровождение экспериментов на КТМ с помощью расчетных методов, расчетного кода «TokScen» и других кодов моделирования	2019–2020 гг.	Республика Казахстан – 16,5 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
6.2.	Совершенствование системы управления, сбора и обработки экспериментальных данных			
6.2.1.	Создание системы предварительной обработки данных с предоставлением возможности удаленного мониторинга и контроля эксперимента	2019–2020 гг.	Республика Беларусь – в пределах целевых средств, выделенных на данные работы в Республике Беларусь	Республика Беларусь: ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси, БГУ, ООО «Прикладные системы»
6.2.2.	Разработка программных комплексов моделирования плазмы и восстановления ее параметров для расчета заданий в систему управления током, положением и формой плазмы в КТМ, интегрированных в среде «Simulink»	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 18,7 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
6.2.3.	Моделирование и совершенствование системы управления током, положением и формой плазмы в КТМ на основе программного комплекса моделирования плазмы КТМ	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 8,5 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус»
6.2.4.	Адаптация программного комплекса подготовки сценариев разряда в вычислительной среде системы автоматизации КТМ	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 8,4 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
6.2.5.	Адаптация подсистем сбора данных с группы микроволновых диагностик КТМ для измерения и управления плотностью плазмы в реальном масштабе времени	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 9,8 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО «Томиус»
6.2.6.	Магнитная диагностика и управление плазмой в современных токамаках. Разработка соответствующих программных комплексов и их адаптация к экспериментальным данным	2018–2020 гг.	Российская Федерация – 15,8 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», СПбГУ, НИИЭФА

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
6.2.7.	Разработка элементов системы радиационного контроля (гамма-излучения)	2018–2019 гг.	Российская Федерация – 8,4 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
6.2.8.	Разработка анализатора нейтральных частиц на основе алмазного детектора	2018–2019 гг.	Российская Федерация – 9,5 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
6.2.9.	Разработка нейтронной диагностики на основе алмазного детектора	2018–2019 гг.	Российская Федерация – 3,16 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт», ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
Итого по этапу 6: Республика Беларусь – в пределах целевых средств, выделенных на данные работы в Республике Беларусь, Республика Казахстан – 79,855 млн тенге, Российская Федерация – 129,16 млн рублей				

ИТОГО ПО ПРОГРАММЕ:

Республика Беларусь	–	в пределах целевых средств, выделенных на данные работы в Республике Беларусь;
Республика Казахстан	–	593,76 млн тенге;
Российская Федерация	–	358,86 млн рублей.

Указанная стоимость работ носит оценочный характер и может уточняться участниками Программы по мере выполнения Комплекса мер в соответствии со статьей 5 Соглашения

Список сокращений:

БГУ	–	Белорусский государственный университет;
ГНУ «ОИЭЯИ «Сосны» НАН Беларуси	–	Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований «Сосны» Национальной академии наук Беларуси;
ГНПО ПМ	–	Государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии;
ИАЭ НЯЦ РК	–	Институт атомной энергии – филиал Национального ядерного центра Республики Казахстан;
ИЯФ РК	–	Институт ядерной физики Республики Казахстан;
КазНУ им. Аль-Фараби	–	Казахский национальный университет имени Аль-Фараби;
НАН Беларуси	–	Национальная академия наук Республики Беларусь;
НИИЭТФ	–	Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики;

НИИЭФА

НИЦ «Курчатовский институт»

НИЯУ МИФИ

НЯЦ РК

СПбГУ

ТПУ

ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

- Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры имени Д.В.Ефремова;
- Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»;
- Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;
- Национальный ядерный центр Республики Казахстан;
- Санкт-Петербургский государственный университет;
- Томский политехнический университет;
- федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научный центр Российской Федерации ТРИНИТИ».