

УТВЕРЖДЕНА

Решением Экономического совета СНГ
о Программе научных исследований на
казахстанском материаловедческом
токамаке на 2021–2023 годы

от 12 марта 2021 года

ПРОГРАММА

научных исследований на казахстанском материаловедческом токамаке на 2021–2023 годы

1. Общие положения

Программа научных исследований на казахстанском материаловедческом токамаке на 2021–2023 годы (далее – Программа) разработана с целью реализации Соглашения о совместном использовании экспериментального комплекса на базе казахстанского материаловедческого токамака от 26 мая 2017 года (далее – Соглашение), которое 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.

При разработке Программы использованы результаты, полученные в ходе реализации Программы научных исследований на казахстанском материаловедческом токамаке на 2018–2020 годы, утвержденной Решением Экономического совета СНГ от 2 марта 2018 года (далее – Программа на 2018–2020 годы), в части отработки технологических процессов установки КТМ.

2. Казахстанский материаловедческий токамак

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.

КТМ представляет собой прообраз реактора по получению энергии на основе управляемого термоядерного синтеза. КТМ предназначен для исследования поведения кандидатных материалов первой стенки и дивертора в условиях высоких тепловых потоков, сравнимых с потоками в будущих термоядерных реакторах, а также для отработки новых технологий термоядерного синтеза.

В ноябре 2019 года в рамках мероприятий Программы на 2018–2020 годы состоялся заключительный этап физического пуска КТМ. Его целью являлось получение плазменного разряда с использованием всех необходимых штатных технологических систем КТМ. Проведена демонстрация работоспособности КТМ с получением плазмы в омическом режиме на пониженных параметрах. При пуске зафиксированы следующие параметры: ток плазмы – 100 кА, длительность разряда – 70 мс, тороидальное магнитное поле – 0,9 теслы, сечение плазмы – круглое. Полученные параметры соответствовали расчетным. Проведены настройка ряда систем и режимов КТМ, отработка сценариев, опробованы экспериментальные образцы, проведены ряд испытаний. В декабре 2019 года комплекс КТМ был введен в эксплуатацию.

Работы по реализации мероприятий Программы на 2018–2020 годы продолжаются.

3. Цель и задачи Программы

Цель Программы – проведение исследований в области термоядерного синтеза и технологий в форме международного сотрудничества и совместного использования установок термоядерного синтеза государств – участников СНГ.

Основными задачами Программы являются реализация совместных научных исследований на КТМ, включая отработку режимов управления плазмой, изучение влияния состава плазмы на ее удержание, материаловедческие исследования при различных режимах работы КТМ, создание материаловедческого зонда, моделирование различных сценариев разряда.

4. Основные направления Программы и формы сотрудничества

4.1. Основные направления исследований по Программе:

отработка методик проведения исследований на КТМ и средств контроля физических параметров высокотемпературной плазмы в процессе ее взаимодействия с материалами;

разработка и экспериментальное обоснование инновационных технологий для создания термоядерного реактора;

модернизация технологии подготовки комплекса КТМ к плазменным экспериментам;

экспериментальные и теоретические исследования эффектов воздействия плазмы, ионов водорода и гелия на приповерхностные и объемные слои материалов КТМ;

совершенствование технологических и физических методов диагностики плазмы;

совершенствование системы контроля и управления плазменным разрядом.

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 внебюджетных источников на договорной основе.

6. Механизмы реализации Программы

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

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 обмена результатами выполненных работ, 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 результатов:

выполнение экспериментальной проверки расчетов сценариев горения плазмы КТМ для круглой и диверторной конфигурации;

отработка методики очистки внутренних поверхностей вакуумной камеры;

отработка режимов управления вертикальным положением плазмы;

изучение влияния изотопного состава плазмы (водород, дейтерий, гелий) на удержание плазмы в омическом режиме;

проведение исследования эффективности системы дополнительного нагрева плазмы ионно-циклотронным излучением и определение оптимальных сценариев работы системы дополнительного нагрева плазмы в установке КТМ;

выполнение исследования закономерностей взаимодействия изотопов водорода и гелия с конструкционными и функциональными материалами термоядерных реакторов;

изучение и проверка работоспособности литиевых диверторов при различных режимах работы КТМ;

создание материаловедческого зонда, испытанного в характерных для КТМ условиях;

реализация методов низкотемпературного обезгаживания графитовых элементов, контактирующих с плазмой, и методов нанесения на них защитного покрытия кристаллического карбида бора в комплексе КТМ;

измерение параметров придиверторной плазмы с использованием зондов Ленгмюра;

проведение исследования возможности применения прототипа многоцелевого антинейтринного детектора для работы в импульсном режиме для мониторинга радиационных полей (гамма-кванты и быстрые нейтроны) КТМ как прототипа гибридного реактора «синтез-деление»;

усовершенствование информационно-измерительной системы КТМ;

совершенствование системы управления плазмой, моделирование сценариев разряда с использованием актуальной модели системы управления плазмой на коде ДИНА;

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

Таким образом, важнейшими итогами Программы станут отработка и совершенствование параметров работы КТМ, что позволит перейти к масштабным материаловедческим исследованиям: проведению экспериментов на КТМ с круглой и диверторной конфигурацией плазмы с использованием современных методов диагностики и управления плазмой; разработке рекомендаций по применению 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

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 и применения в промышленности государств – участников Программы новых высокотехнологичных материалов с уникальными свойствами, содействия созданию устойчивого источника энергии на основе управляемого термоядерного синтеза.

Приложение
к Программе научных исследований
на казахстанском материаловедческом
токамаке на 2021–2023 годы

**КОМПЛЕКС МЕР ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА КАЗАХСТАНСКОМ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОМ ТОКАМАКЕ НА 2021–2023 ГОДЫ**

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
Этап 1. Отработка методик проведения исследований на КТМ и средств контроля физических параметров высокотемпературной плазмы в процессе ее взаимодействия с материалами				
1.1.	Исследование плазменного разряда КТМ	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 72 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК ¹ , ИАЭ НЯЦ РК
1.2.	Изучение влияния изотопного состава плазмы (водород, дейтерий, гелий) на удержание плазмы в омическом режиме	2023 г.	Российская Федерация – 8 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт»
1.3.	Разработка токового сценария разряда для круглой плазмы, включая стадии ввода тока в плазму, стационарную стадию разряда и стадию вывода тока плазмы	2021 г.	Российская Федерация – 5,1 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт»
1.4.	Создание токового сценария разряда для диверторной конфигурации. Выполнение тестирования системы управления плазмой, разработанной сторонними организациями, на сценариях разряда при различных параметрах диверторной конфигурации	2022 г.	Российская Федерация – 5,3 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт»
1.5.	Моделирование разрядов с использованием разработанных сценариев и регуляторов системы управления плазмой, разработанной сторонними организациями, на коде ДИНА	2021–2023 гг.	Российская Федерация – 5,5 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт»
1.6.	Отработка режимов управления вертикальным положением плазмы КТМ	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 91 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
1.7.	Отработка методики дополнительного высокочастотного нагрева плазмы	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 60 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК

¹ Список сокращений приведен в конце документа.

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
1.8.	Исследование эффективности системы нагрева плазмы ионно-циклотронным излучением и определение ее оптимальных сценариев работы в установке КТМ	2021–2023 гг.	Российская Федерация – 10 млн рублей	Российская Федерация: ФТИ им. Иоффе
Итого по этапу 1: Республика Казахстан – 223 млн тенге, Российская Федерация – 33,9 млн рублей				
Этап 2. Разработка и экспериментальное обоснование инновационных технологий для создания термоядерного реактора				
2.1.	Испытания системы изменения плотности плазмы на основе газодинамического источника молекулярного пучка	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 66 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
2.2.	Совершенствование диверторной системы КТМ: 2.2.1. Разработка эскизного и технического проекта, выпуск рабочей документации охлаждаемого макета литиевого дивертора с системой термостабилизации парогазовой смесью низкого давления; 2.2.2. Изготовление опытных образцов основных элементов модуля литиевого дивертора и проведение их испытаний в стендовых условиях; 2.2.3. Подготовка исходных данных, участие в разработке проекта. Испытания охлаждаемого макета литиевого дивертора с системой термостабилизации парогазовой смесью низкого давления	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 64 млн тенге; Российская Федерация – 10 млн рублей	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК; Российская Федерация: АО «Красная Звезда», Государственный научный центр «Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»
Итого по этапу 2: Республика Казахстан – 130 млн тенге, Российская Федерация – 10 млн рублей				
Этап 3. Модернизация технологии подготовки КТМ к плазменным экспериментам				
3.1.	Отработка режимов работы системы напуска особо чистых газов в вакуумную камеру КТМ	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 56 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
3.2.	Исследование влияния алгоритма подготовки вакуумной камеры на условия пробоя и параметры плазменного разряда	2021–2022 гг.	Российская Федерация – 16 млн рублей	Российская Федерация: НИЦ «Курчатовский институт»
3.3.	Разработка методов кондиционирования разрядной камеры: 3.3.1. Отработка режимов кондиционирования разрядной камеры КТМ различными методами и оптимизация средств ее вакуумирования; 3.3.2. Разработка методики кондиционирования стенок КТМ с помощью сверхвысокочастотного разряда	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 101 млн тенге; Российская Федерация – 1,5 млн рублей	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК; Российская Федерация: НИЯУ МИФИ

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
3.4.	Исследование радиационных полей КТМ, создание системы импульсного радиационного контроля	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 80 млн тенге	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК
3.5.	Реализация методов низкотемпературного обезгаживания графитовых элементов, контактирующих с плазмой, и нанесения на них защитного покрытия кристаллического карбида бора в КТМ	2021–2022 гг.	Российская Федерация – 7,6 млн рублей	Российская Федерация: НИЯУ МИФИ
3.6.	Исследование возможности применения прототипа многоцелевого антинейтринного детектора для работы в импульсном режиме для мониторинга радиационных полей (гамма-кванты и быстрые нейтроны) КТМ как прототипа гибридного реактора «синтез-деление»	2021–2023 гг.	Республика Беларусь – 150 тыс. белорусских рублей	Республика Беларусь: НИИ ЯП БГУ
Итого по этапу 3: Республика Беларусь – 150 тыс. белорусских рублей, Республика Казахстан – 237 млн тенге, Российская Федерация – 25,1 млн рублей				
Этап 4. Экспериментальные и теоретические исследования эффектов воздействия плазмы, ионов водорода и гелия на приповерхностные и объемные слои материалов КТМ				
4.1.	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	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 39 млн тенге; Республика Беларусь – 150 тыс. белорусских рублей	Республика Казахстан: ИЯФ РК; Республика Беларусь: ГНУ ИПМ РБ
4.2.	Изучение изменений структуры, физико-механических и коррозионных свойств материалов первой стенки и дивертора КТМ в результате нейтронного облучения и термического воздействия	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 63 млн тенге; Республика Беларусь – 150 тыс. белорусских рублей	Республика Казахстан: ИЯФ РК; Республика Беларусь: ГНУ ИПМ РБ
4.3.	Исследование взаимодействия плазмы с карбидизированной поверхностью вольфрама	2021–2023 гг.	Республика Казахстан – 101 млн тенге; Республика Беларусь – 150 тыс. белорусских рублей	Республика Казахстан: НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК; Республика Беларусь: ГНУ ИПМ РБ
Итого по этапу 4: Республика Беларусь – 450 тыс. белорусских рублей, Республика Казахстан – 203 млн тенге				

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
Этап 5. Совершенствование технологических и физических методов диагностики плазмы				
5.1.	Модификация материаловедческого зонда для измерения токов на ионную и электронную стороны зонда (функция зонда Маха)	2021 г.	Российская Федерация – 4 млн рублей	Российская Федерация: НИЯУ МИФИ
5.2.	Изготовление системы зондов Ленгмюра и измерение параметров придиверторной плазмы	2022–2023 гг.	Российская Федерация – 3,2 млн рублей	Российская Федерация: НИЯУ МИФИ
Итого по этапу 5: Российская Федерация – 7,2 млн рублей				
Этап 6. Совершенствование системы контроля и управления плазменным разрядом				
6.1.	Магнитная диагностика и управление плазмой в современных токамаках: 6.1.1. Разработка соответствующих программных комплексов и их адаптация к экспериментальным данным; 6.1.2. Проверка разработанных программных комплексов на плазмофизическом коде ДИНА	2021–2023 гг.	Российская Федерация – 16 млн рублей, в том числе: п. 6.1.1 – 12 млн рублей; п. 6.1.2 – 4 млн рублей	Российская Федерация: ФТИ им. Иоффе (п. 6.1.1), НИЦ «Курчатовский институт» (п. 6.1.2), ООО «Иоффе Фьюжн Текнолоджи»
6.2.	Адаптация подсистем сбора данных с группы микроволновых диагностик и системы газонапуска КТМ для измерения и управления плотностью плазмы в реальном масштабе времени разряда	2021–2023 гг.	Российская Федерация – 15,8 млн рублей	Российская Федерация: НИ ТПУ, ООО «ТомИУС-ПРОЕКТ»
6.3.	Развитие информационно-измерительной системы КТМ: 6.3.1. Совершенствование процессов сбора, регистрации, обработки и визуализации экспериментальных данных КТМ с целью повышения эффективности принятия решений при отработке режимов работы КТМ; 6.3.2. Реализация удаленного доступа к экспериментальным данным КТМ	2021–2023 гг.	Российская Федерация – 11,4 млн рублей	Российская Федерация: НИ ТПУ, ООО «ТомИУС-ПРОЕКТ»
6.4.	Совершенствование системы управления плазмой КТМ, моделирование сценариев разряда с использованием актуальной модели системы управления плазмой на коде ДИНА: 6.4.1. Разработка и внедрение контура управления ИП обмотки НФС, верификация и оптимизация регуляторов тока, положения и формы плазмы, разработка программных кодов восстановления параметров плазмы в темпе разряда и их адаптация;	2021–2023 гг.	Российская Федерация – 19,5 млн рублей, в том числе: п. 6.4.1 – 15,5 млн рублей; п. 6.4.2 – 4 млн рублей	Российская Федерация: НИ ТПУ, ООО «ТомИУС-ПРОЕКТ» (п. 6.4.1); НИЦ «Курчатовский институт» (п. 6.4.2)

№ п/п	Наименование мероприятий	Срок исполнения	Стоимость работ	Исполнители
	6.4.2. Моделирование сценариев разрядов в КТМ на коде ДИНА в контуре с использованием разработанных сторонними организациями регуляторов, тока, положения и формы плазмы и кодов восстановления параметров плазмы в темпе разряда			
Итого по этапу 5: Российская Федерация – 62,7 млн рублей				

Итого по Программе:

- Республика Беларусь** – **600 тыс. белорусских рублей;**
Республика Казахстан – **793 млн тенге;**
Российская Федерация – **138,9 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:

- ГНУ ИПМ РБ – Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии имени академика О.В.Романа»;
- НИИ ЯП БГУ – Научно-исследовательский институт ядерных проблем Белорусского государственного университета Министерства образования Республики Беларусь;
- ФТИ им. Иоффе – Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе;
- ИАЭ НЯЦ РК – Институт атомной энергии – филиал Национального ядерного центра Республики Казахстан;
- ИЯФ РК – Институт ядерной физики Республики Казахстан;
- НИЦ «Курчатовский институт» – Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»;
- НИЯУ МИФИ – Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;
- НЯЦ РК – Национальный ядерный центр Республики Казахстан;
- НИ ТПУ – Национальный исследовательский Томский политехнический университет.