

Проект создания материаловедческого токамака КТМ

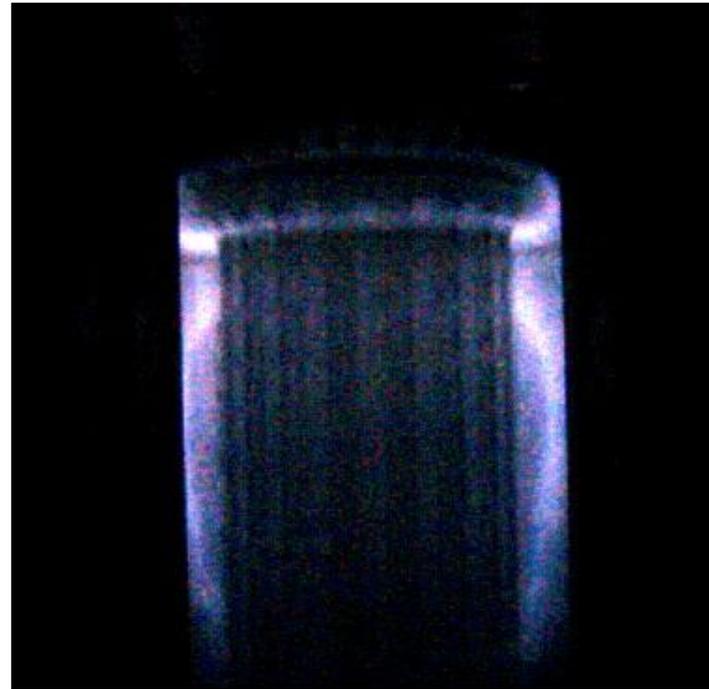
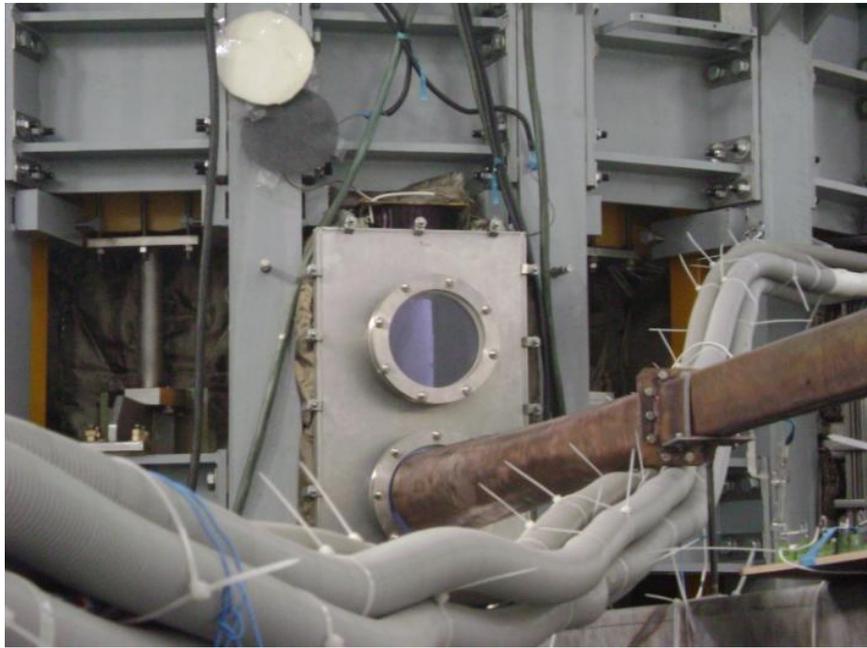
И.Л. ТАЖИБАЕВА

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РК

СПЕЦИАЛЬНОЕ ЗАСЕДАНИЕ КОМИССИИ АТОМ-СНГ, 20 ИЮЛЯ 2017, Г. АСТАНА

Пробный запуск

Демонстрационный (пробный) запуск токамака КТМ был осуществлен 5 сентября 2010 года. Для его реализации в качестве источника питания была использована конденсаторная батарея. Для создания предионизации электронно-циклотронным резонансом использовался магнетронный источник СВЧ-излучения.



Первый разряд в вакуумной камере – система предионизации плазмы заработала 20 августа 2010 года



Видео кадр плазменного разряда

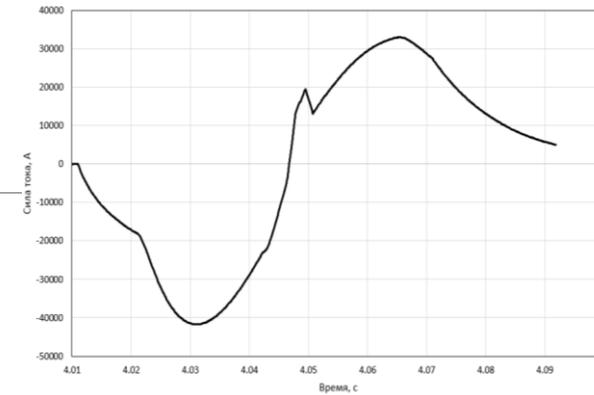
Первый этап физического пуска КТМ

9 июня 2017 года

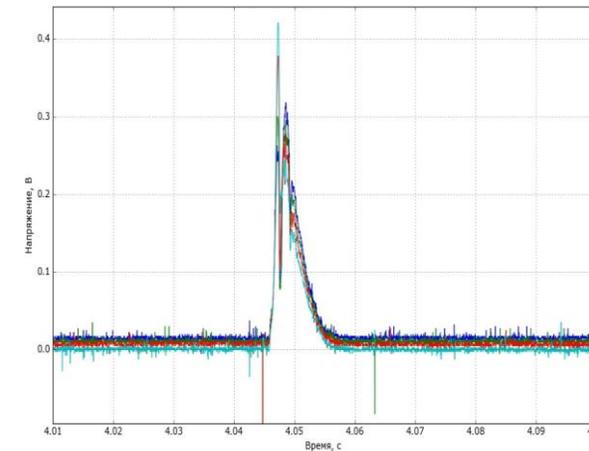
Целью первого этапа физического пуска являлась отладка и проверка работоспособности штатных систем КТМ. В рамках этого этапа проведена отработка начальной фазы сценария плазменного разряда: формирование необходимых условий внутри вакуумной камеры КТМ с организацией пробоя.

В работах приняли участие специалисты Национального Ядерного Центра Республики Казахстан, Блока термоядерных исследований Национального Исследовательского Центра «Курчатовский Институт» и Троицкого института инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ) Российской Федерации при финансовой поддержке ГК РОСАТОМ.

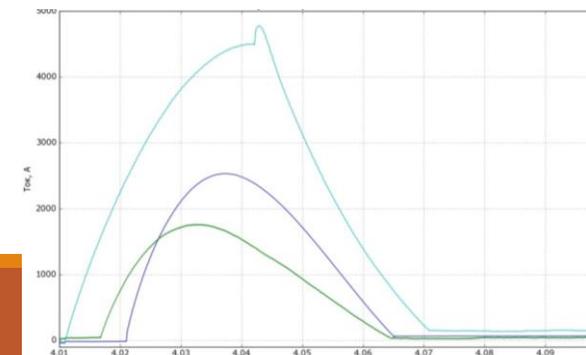
Для исследования плазменного разряда применены следующие диагностики: электромагнитные датчики, пироэлектрический болометр, AXUV-монитор, обзорный спектрометр, монитор интенсивности излучения линии водорода $H\alpha$, монитор среднечордовой плотности плазмы, быстродействующая видеокамера с частотой регистрации до 1000 кадр/с.



Данные с пояса Роговского суммарный ток дивертора и плазмы



Данные с AXUV-монитора



Токи в обмотках
— CS
— PF1,2
— PF4,5

Первый этап физического пуска КТМ

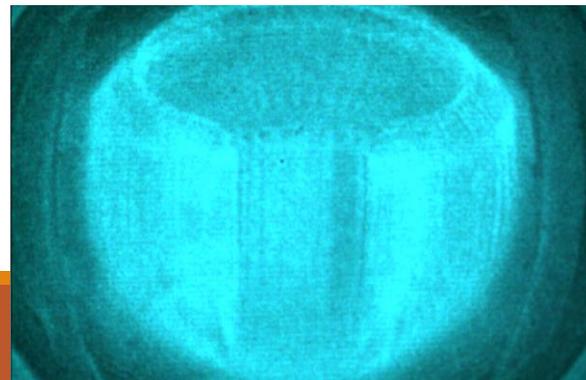
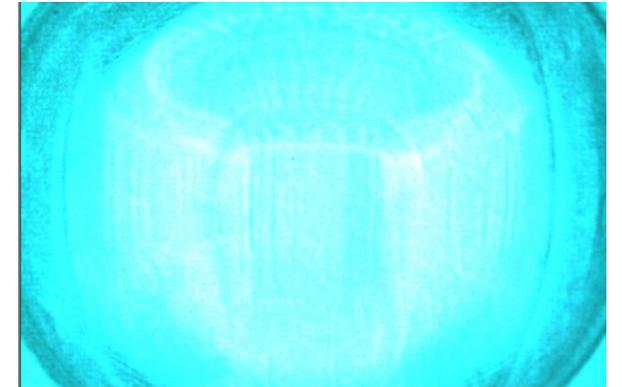
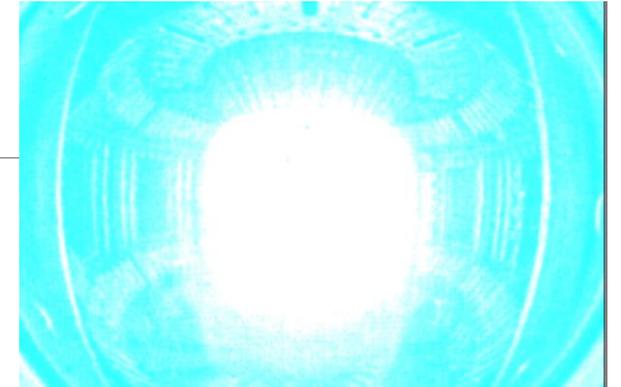
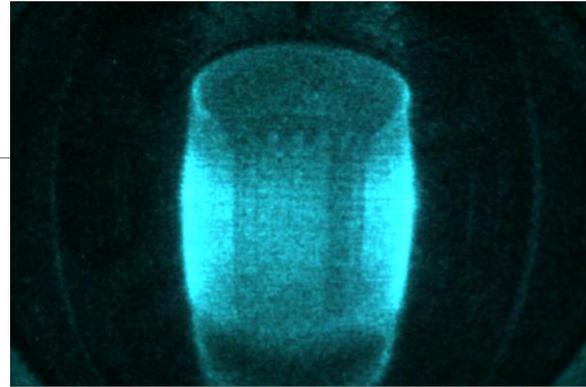
9 июня 2017 года

В рамках проведения первого этапа физического пуска КТМ были достигнуты следующие параметры плазменного разряда:

- максимальный ток в импульсе плазменного разряда ~ 10 кА;
- время импульса плазменного разряда ~ 20 мс;
- тороидальное поле $B_t \sim 0,35$ Тл;
- круглое сечение плазменного шнура.

В качестве рабочей среды использовались следующие газы: водород, гелий, аргон.

Основные цели первого этапа физического пуска токамака КТМ достигнуты.



Видеокадры изображения плазменного разряда КТМ



Участники первой очереди физического пуска КТМ

(специалисты Национального Ядерного Центра РК, НИЦ Курчатовский институт и Троицкого института инновационных и термоядерных исследований, РФ)

Физический пуск КТМ

Второй этап физического пуска установки КТМ планируется провести в октябре-ноябре 2017 г.

На II этапе будут задействованы все основные технологические системы установки КТМ с получением плазмы в омическом режиме на пониженных параметрах.

Основные параметры II этапа физического пуска КТМ:

- максимальный ток в импульсе плазменного разряда – 60-100 кА;
- время импульса плазменного разряда ~100 мс;
- круглое сечение плазменного шнура;
- тороидальное поле $B_{T0}=0.4-0,5$ Тл.

Выход на проектные параметры работы установки КТМ с током плазмы 0,75 МА и временем разряда до 5 с планируется осуществить в течение 2018 – 2020 гг. с использованием дополнительного ВЧ (ИЦР) нагрева плазмы.

Межправительственное Соглашение СНГ о совместном использовании токамака КТМ

Шесть стран СНГ (Россия, Казахстан, Беларусь, Армения, Киргизия, Таджикистан) подписали межправительственное Соглашение о совместном использовании токамака КТМ, 26 мая 2017 г., г.Казань, что является основой для создания международной лаборатории материаловедческих испытаний на базе токамака КТМ, как инструмента для реализации на практике исследований, проводимых сторонами-подписантами в рамках данного Соглашения. Главная цель Соглашения – создать механизм проведения научных исследований на казахстанском материаловедческом токамаке учеными из разных стран СНГ. Соглашение создает правовую основу для совместного использования специалистами уникального экспериментального комплекса на территории Казахстана.

В Соглашении определены направления сотрудничества, предусмотрено назначение компетентных органов и создание консультативного научно-технического совета. Соглашение содержит статьи об экспортном контроле и о защите интеллектуальной собственности, а также о вопросах финансирования.

Принципы финансирования

«Финансирование совместных мероприятий, программ и работ, проводимых на базе КТМ осуществляется за счет средств, предусмотренных в национальных бюджетах 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».

Современное состояние дел

Проведен первый этап ФП КТМ, 9 июня 2017 г.
Подписан протокол о проведении ФП КТМ
(НИЦ КИ и НЯЦ).

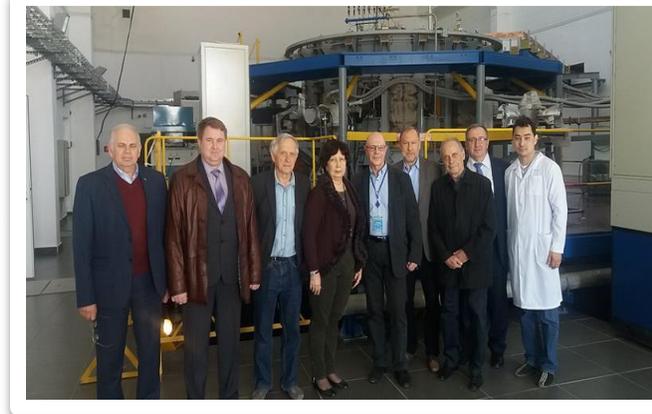


Подписано Соглашение о научно-
техническом сотрудничестве между НЯЦ РК
и Организацией ИТЭР, 11 июня 2017 г.,
Астана.



Планы на будущее.

1. Одобрить программу совместных НИР на токамаке КТМ на Комиссии АТОМ-СНГ, 20 июля 2017 г., Астана
2. Рассмотреть и утвердить Программу совместных НИР на Экономическом Совете СНГ, октябрь, 2017 г.
3. Провести 2-ой этап ФП КТМ в октябре-ноябре 2017 г.
4. Провести рабочую комиссию по вводу комплекса КТМ в эксплуатацию- конец 2017 г.
4. Продолжить международное сотрудничество в рамках СНГ, ЕС, Японией и Организацией ИТЭР на основе подписанных соглашений и меморандумов. Расширить сотрудничество с другими странами.



Основные направления работ по ПРОГРАММЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАЗАХСТАНСКОМ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОМ ТОКАМАКЕ НА 2018–2020 ГОДЫ

- 1. Проведение исследований по физике плазмы КТМ**
- 2. Проведение исследований по физике взаимодействия плазмы с материалами первой стенки и дивертора при омическом нагреве**
- 3. Материаловедческие исследования конструкционных и функциональных материалов**
- 4. Исследования и реализация новых инновационных технологий: «Отработка режимов работы макета литиевого дивертора КТМ**
- 5. Создание и испытание диагностик для исследования процессов взаимодействия плазма – стенка**
- 6. Развитие системы автоматизации, управления и сбора данных, экспериментальная проверка расчетных кодов**

Основные участники работ

Республика Казахстан – НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК, ИЯФ РК, НИИЭТФ КазНУ им. аль-Фараби.

Российская Федерация - НИЦ «Курчатовский институт», НИИЭФА им. Д.В. Ефремова , АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ, АО «Красная Звезда», Томский политехнический Университет, НИЯУ МИФИ, Санкт Петербургский Государственный Университет, ООО «ТомИУС», ВНИИТВЧ.

Республика Беларусь - ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Белоруссии, НИУ «Институт ядерных проблем» Беларусского государственного университета, ООО «Прикладные системы», ГНПО порошковой металлургии.

Проведение исследований по физике плазмы КТМ

Основные исполнители РК: НЯЦ, ИАЭ НЯЦ

- РФ: НИЦ «Курчатовский институт», ТРИНИТИ, НИИЭФА, ВНИИТВЧ

Цель работ: разработка оптимальных сценариев и исследование формирования плазменного шнура в режиме омического и дополнительного ВЧ нагрева плазмы, использование газодинамического источника молекулярного пучка для изменения плотности плазмы.

Ожидаемые результаты: будут получены расчеты сценариев горения плазмы и их экспериментальная проверка на токамаке КТМ, проведены работы по тестированию и отработке комплекса физических диагностик и методик для определения параметров плазмы токамака КТМ, методика и режимы испытаний ВЧ-системы для дополнительного нагрева плазмы методом ИЦР; внедрение газодинамического метода изменения плотности плазмы на основе сверхзвуковой молекулярной струи для обеспечения подпитки и гашения плазмы в токамаке КТМ.

Проведение исследований по физике взаимодействия плазмы с материалами первой стенки и дивертора при омическом нагреве

Основные исполнители: РК – НЯЦ, ИАЭ НЯЦ

- РФ – НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ

Цель работы: разработка методик подготовки внутренних поверхностей вакуумной камеры токамака КТМ для проведения исследований взаимодействия плазма-стенка

Ожидаемые результаты: будут отработаны режимы очистки внутренних поверхностей вакуумной камеры и опробован способ низкотемпературного обезгаживания контрактирующих с плазмой элементов первой стенки, что необходимо для получения высокого вакуума в рабочей камере КТМ и последующего проведения качественных экспериментов по исследованию взаимодействия плазма-стенка.

Материаловедческие исследования конструкционных и функциональных материалов

Основные исполнители: РК- ИАЭ НЯЦ, ИЯФ, НИИЭТФ КазНУ им. аль-Фараби

- РФ- НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ

- РБ- ГНПО Порошковой металлургии,

Цель работ: Проведение имитационных исследований взаимодействия плазма-стенка с использованием ускорительной техники, облучения нейтронами и заряженными частицами, плазменно-пучковой установки, специализированных стендов и токамака КТМ для отработки методов контроля материалов после плазменных и других радиационных воздействий на конструкционные и функциональные материалы ТЯР.

Мотивация исследований: В КТМ созданы специальные условия для форсированного исследования различных материалов и покрытий за счет подвижного диверторного устройства, позволяющего намного быстрее чем в действующих установках менять материалы и извлекать их для последующего исследования. Одновременно подвижный дивертор позволяет в широких пределах менять условия воздействия плазмы на материалы. Поэтому участие организаций СНГ в экспериментах на токамаке КТМ позволит резко ускорить темп исследований и разработку адекватных методов эксплуатации обращенных к плазме компонентов ТЯР.

Ожидаемые результаты: будут получены параметры и закономерности взаимодействия изотопов водорода с материалами, в т.ч. с покрытиями и перепыленными слоями; экспериментальные данные по изменению физико-механических свойств и характеристики эрозии поверхности материалов, обращенных к плазме в штатных и в режимах срыва плазмы условиях работы токамака; представлены рекомендации по использованию конструкционных и функциональных материалов в установках и будущих реакторах термоядерного синтеза.

Исследования и реализация новых инновационных технологий: «Отработка режимов работы макета литиевого дивертора КТМ»

Основные исполнители: РК- ИАЭ НЯЦ

- РФ – НИЦ «Курчатовский институт», АО «Красная Звезда», ГНЦ ТРИНИТИ

Цель работ: отработка режимов работы макетов литиевого дивертора на основе капиллярно-пористой системы и металлокерамических элементов высокой степени пористости.

Ожидаемые результаты: определены рабочие параметры макетов литиевых диверторов (МЛД) при различных режимах работы токамака КТМ, выработаны рекомендации по приведению МЛД в рабочее состояние после плазменных экспериментов; изучено влияние нейтронного и гамма (реакторного) излучения, а также плазменного облучения на сорбционные характеристики лития по отношению к изотопам водорода.

Создание и испытание диагностик для исследования процессов взаимодействия плазма – стенка

Основные исполнители: РК- НЯЦ, ИАЭ НЯЦ

- РФ – НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ

Цель работ: разработка, создание и тестирование комплекса физических диагностик и методик для определения параметров плазмы токамака КТМ, включая характеристики «скреп-слоя» (SOL)

Ожидаемые результаты: будет создан материаловедческий зонд и испытан в условиях, характерных для КТМ, будут оптимизированы имеющиеся диагностики по исследованию процессов взаимодействия плазмы с поверхностью, определены их измерительные возможности, разработаны специфические средства диагностики, протестированы и испытаны на токамаке КТМ.

Развитие системы автоматизации, управления и сбора данных, экспериментальная проверка расчетных кодов

Основные исполнители: РК- НЯЦ, ИАЭ НЯЦ

- РФ- НИЦ «Курчатовский институт», ТПУ, ООО "ТомИУС-ПРОЕКТ", ТРИНИТИ, НИИЭФА, СпбГУ.
- РБ- ГНУ «Сосны» НАН , ООО «Прикладные системы» БГУ

Цель работ: получение персоналом токамака КТМ практических навыков эксплуатации, настройки и тестирования оборудования и программного обеспечения для качественного проведения экспериментов, в том числе в режиме удаленного доступа для привлечения большего количества ученых из стран СНГ и дальнего зарубежья к планированию, реализации и обработке результатов совместных научных исследований.

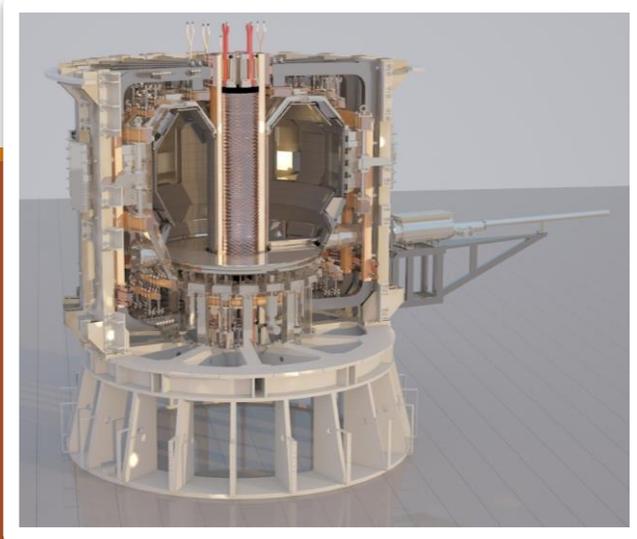
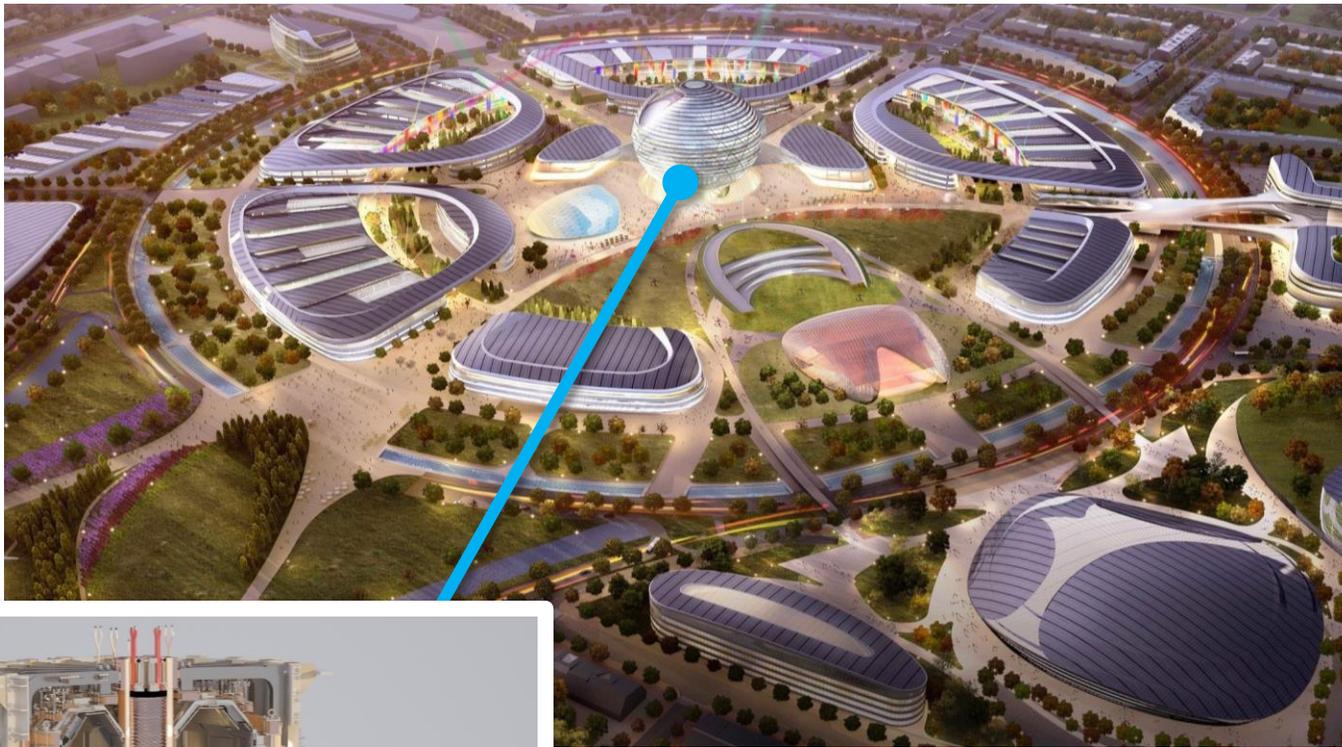
Ожидаемые результаты: будет создан интернет-ресурс для сбора, хранения, обработки и обмена информацией по исследованиям на различных токамаках; создана ГРИД-интегрированная система обработки данных; разработана и внедрена автоматизированная система подготовки и загрузки комплексных сценариев разряда КТМ; система анализа параметров сети для обеспечения электроснабжения КТМ; система сбора данных с диагностик; программный интерфейс для организации удаленного доступа в совместных экспериментах на КТМ; создан программный комплекс для управления током, положением и формой плазмы; программный комплекс магнитной диагностики и управления плазмой; проведено тестирование расчетного блока в коде эволюции плазмы TOKSCEN и расчетного комплекса по восстановлению параметров плазмы для расчета заданий в систему управления током, положением и формой плазмы, интегрированной в среде "SIMULINK."

Согласно представленным расчетам затраты трех государств – участников СНГ, выразивших предварительную заинтересованность участия в реализации совместной программы научных исследований на КТМ, оценены следующим образом:

Государства – участники СНГ	Вклад в национальной валюте	Источник финансирования
Республика Беларусь	Уточняется	Национальный бюджет
Республика Казахстан	593,760 млн тенге;	Бюджет Министерства энергетики Республики Казахстан
	Бюджетная заявка на 2018 г. 195,620 млн тенге	
Российская Федерация	357,8 млн. руб.	ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы», МОН РФ
	Общая сумма заявок в ФЦП МОН на 2018 г. составляет 99 млн. руб.	

КТМ на ЭКСПО 2017

Макет Казахстанского токамака КТМ -один из основных экспонатов выставки «ЭКСПО-2017» в Астане.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

