

СОЗДАНИЕ казахстанского материаловедческого термоядерного реактора-токамака КТМ

**результаты выполнения
программы за 2004 год**

**МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»**

Стендовый комплекс КТМ



Токамак КТМ – экспериментальная термоядерная установка для исследований и испытаний материалов в режимах нагрузок, близких к ИТЭР и будущих энергетических термоядерных реакторов.

Период строительства 2003 -2007 годы

Основание для создания:

- *Распоряжение Премьер-Министра Республики Казахстан от 22 июля 1998 г. № 143-Р о создании экспериментальной термоядерной установки для исследования и испытания материалов (КТМ).*
- *Бюджетная программа 005 - Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 февраля 2004 года № 168.*

Результат программы:

Создание мощной электрофизической установки для проведения научных исследований и испытаний конструкционных материалов узлов энергетических реакторов.



Цели, задачи, основные идеи КТМ



Цели создания: Развитие в Республике Казахстан наукоемких технологий, подготовка высококвалифицированных научных работников и инженерных кадров, участие РК в международной программе ITER

Задачи КТМ:

- испытание прототипов диверторных устройств, включая жидкометаллический дивертор,
- разработка методов предотвращения вне регламентного выхода внутрикамерных элементов из строя,
- изучение влияния процессов внутри диверторного объема на горячий плазменный шнур,
- создание базы данных по кандидатным материалам первой стенки и диверторных пластин ТЯР.

Идеи, заложенные в основу установки КТМ

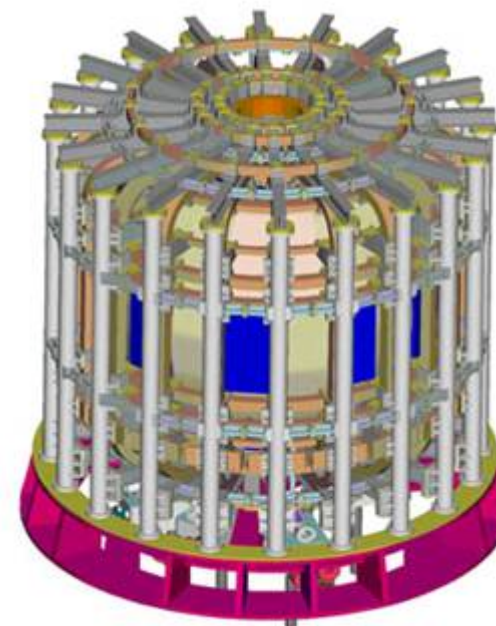
- организация стационарного режима горения плазменного шнура с температурой >10 млн. К с помощью дополнительного ВЧ-нагрева мощностью до 8 МВт;
- организация стационарных потоков пристеночной плазмы в диверторную область с мощностями близкими или превышающими мощности потоков в дивертор и на стенку камеры ИТЭР;
- создания устройств, позволяющих оперативно менять материалы диверторных пластин, условия приема и величины потоков плазмы, быструю откачку и других

Сферический токамак КТМ



Базовые параметры токамака КТМ

● Большой радиус плазмы R , м	0.86
● Малый радиус плазмы a , м	0.43
● Аспектное отношение A	2
● Вытянутость сечения плазмы k_{95}	1.7
● Торoidalное магнитное поле на оси B_{to} , Тл	1
● Ток плазмы I_p , МА	0.75
● Длительность плато тока $\Delta t_{пл}$, с	5
● Мощность дополнительного нагрева P_{aux} , МВт	8
● Тепловая нагрузка на пластины дивертора, МВт/м ²	2-20



Уникальность КТМ:

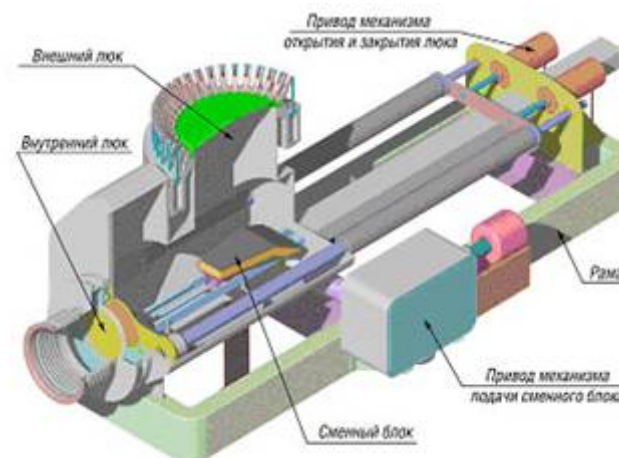
- Уникальная мегаамперная установка с аспектным отношением $A=2$ для испытания материалов и технологий в штатных и аварийных (режим срыва плазмы) условиях работы ТЯР.
- Энергетические нагрузки на пластины дивертора (до 20 МВт/м²) соответствуют параметрам ИТЭР и будущим промышленным ТЯР.
- Исследование физики удержания плазмы в пограничной области между сферическими и классическими токамаками.

Конструктивные особенности КТМ



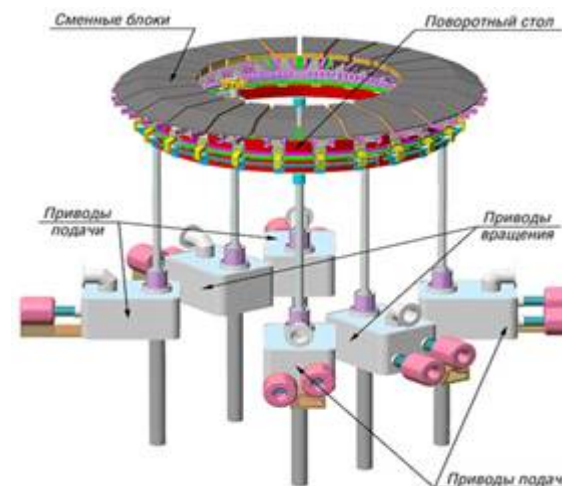
Транспортно-шлюзовое устройство

Устройство предназначено для установки и извлечения испытываемых образцов конструкционных материалов термоядерного реактора ITER без разгерметизации вакуумной камеры КТМ



Подвижное диверторное устройство

Позволяет осуществлять перемещение испытываемых материалов в горизонтальной и вертикальной плоскостях внутри вакуумной камеры для замены через транспортно-шлюзовое устройство.

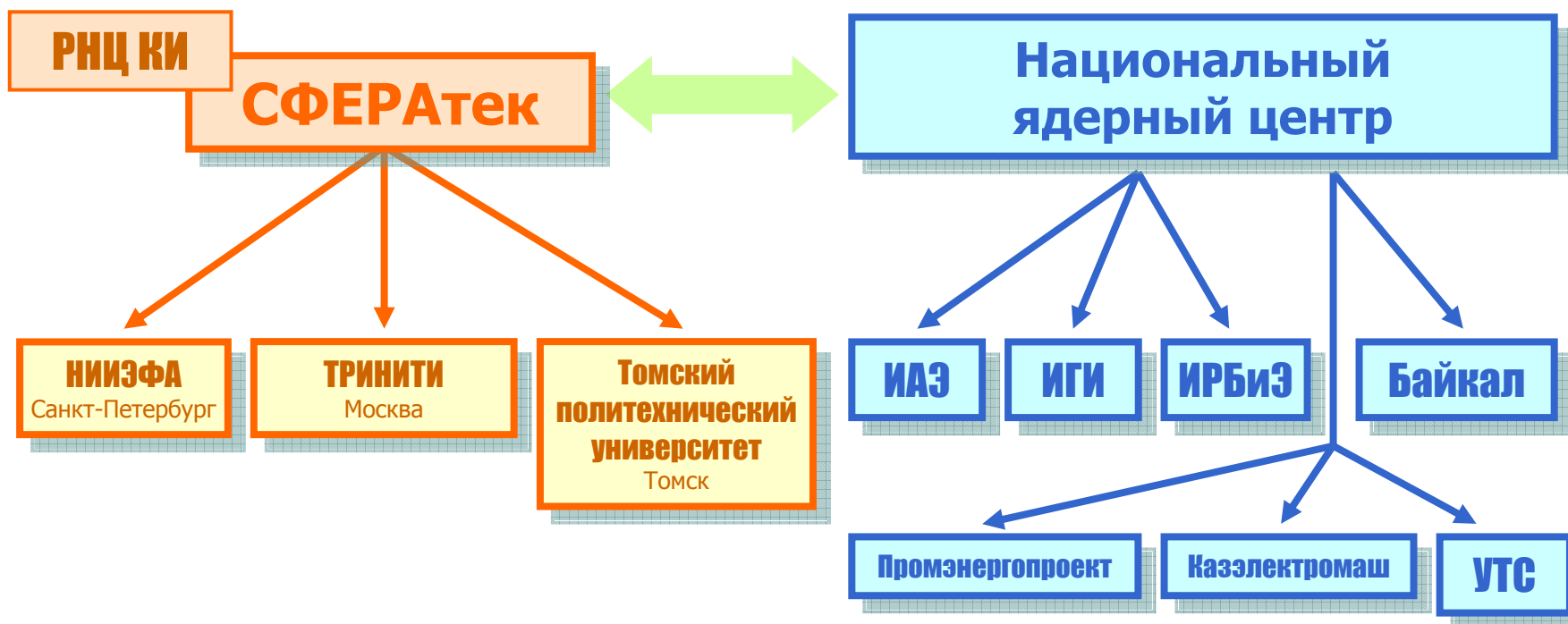


Организация работ



Федеральное агентство по атомной
энергии Российской Федерации

Министерство энергетики и минеральных
ресурсов Республики Казахстан





- 1. Завершение работ по разработке проектно-сметной документации:**
 - рабочее проектирование реактора КТМ, технологических систем, инженерных систем и сетей комплекса КТМ;
 - завершение проектирования систем внешнего электроснабжения комплекса КТМ;
 - разработка архитектурно-строительных решений по комплексу КТМ.
 - проведение экспертизы проекта;
 - натурное моделирование процесса изготовления узлов реактора.
- 2. Начало реконструкции зданий комплекса.**
- 3. Начало строительства котельной, систем теплоснабжения, водопровода, канализации.**
- 4. Начало реконструкции подстанций 220кВ и строительства линии электропередачи 220кВ.**

Работы 2004 года по бюджетной программе КТМ



Республика Казахстан:

- Реконструкция существующих зданий и начало строительства новых сооружений комплекса КТМ.
- Создание систем внешнего и импульсного электроснабжения комплекса КТМ, строительство линии электропередач 220КВ, начало монтажа, макетирование источников питания электромагнитной системы.
- Начало создания системы вакуумной откачки. Закупка части оборудования и материалов.
- Натурное моделирование систем автоматизации, контроля и аварийной защиты. Закупка оборудования, монтаж системы физической защиты.
- Работы по обеспечению эксплуатации инженерных систем, отопления, охране комплекса КТМ, подготовке кадров.

Российская Федерация:

- Разработка рабочей конструкторской документации (РКД) на основные системы комплекса и установку КТМ, включая полный комплект РКД на подвижное диверторное устройство (ПДУ) и транспортно-шлюзовое устройство (ТШУ), изготовление и испытание моделей.
- Материально-техническое обеспечение производства, изготовление вакуумной камеры и начало изготовления оснастки для электромагнитной системы.
- Закупка части оборудования и материалов. Начало изготовления систем физических и технологических диагностик.

Строительство и реконструкция зданий и сооружений – Результаты работ 2004 года



Реакторный зал: возведение и укрепление наружных стен, обустройство крыши, перепланировка помещений, установка оконных проемов, монтаж систем электроснабжения.

Открытая установка трансформаторов: возведение перегородок и стен между согласующими трансформаторами, устройство фундаментов, укладка плит перекрытий, монтаж балок.

Лабораторный корпус: монтаж систем освещения и электроснабжения, внутренняя отделка помещений, прокладка кабельных подпольных каналов, подготовка полов, устройство входных групп (входов в здание).

КПП: устройство крыши, установка дверных проемов, черновая внутренняя отделка помещений, монтаж систем водопровода и канализации.

Блок электротехнических устройств: перепланировка помещений, очистка и подготовка стен и полов, внутренняя отделка помещений.

Наружные и инженерные сети: укладка канализационных и водопроводных труб, установка задвижек, пожарных гидрантов и водомерных узлов, врезка в существующую сеть, монтаж сети теплоснабжения лабораторного корпуса.



Строительство и реконструкция зданий и сооружений – Реакторный зал и ОРУ КТМ



Наружные стены реакторного зала и перегородки открытого распределительного устройства трансформаторов, монтаж балок и перекрытий (весна 2004 – весна 2005)



Перепланировка реакторного зала – перенос перегородки, отделяющей помещение с согласующими трансформаторами. (весна – осень 2004)



Строительство и реконструкция зданий и сооружений – Лабораторный корпус



Обустройство входных групп корпуса
(весна – осень 2004)



Отделка внутренних помещений
гипсокартонными плитами под покраску,
установка систем освещения
(весна 2004 – весна 2005)



Строительство и реконструкция зданий и сооружений – Контрольно-пропускной пункт



Обустройство кровли,
частичная внешняя
отделка, установка
дверей и окон
(осень 2003 – весна 2005)



Отделка внутренних
помещений гипсокартон-
ными плитами под
покраску, обустройство
полов, покрытие стен
декоративными панелями
(весна 2004 – весна 2005)



Строительство и реконструкция зданий и сооружений – Блок электротехнических устройств



Строительство внутренних перегородок,
отделка части внутренних помещений,
подготовка фундаментов под оборудование
(весна 2004 – лето 2005)



Системы электроснабжения – Результаты работ 2004 года



- Реконструкция подстанции ПС51, подготовительные работы по обустройству площадки, установка и монтаж анкерov 220кВ, монтаж соединительных линий;
- Реконструкция подстанции ПС53;
- Монтаж линии ЛЭП 220кВ от ПС51 до ПС КТМ, изготовление и установка опор и прокладка кабельного хозяйства;
- Монтаж анкерov ввода 220кВ на ПС КТМ;
- Изготовление преобразовательного оборудования электромагнитной системы КТМ, системы внешних и внутренних токопроводов;
- Продолжались работы по проектированию согласующих трансформаторов электромагнитной системы КТМ;
- Разработка системы электропитания и управления для импульсного электроснабжения КТМ.



Система внешнего электроснабжения – ЛЭП 220КВ



Порталы на ПС-51 и ПС КТМ



Установка мачт
и прокладка линии 220КВ



Переходы через городскую
ЛЭП 220КВ и ж/д



Система импульсного питания – Преобразовательное оборудование



Универсальный тиристорный преобразователь

Является основной структурной единицей преобразовательного комплекса системы импульсного питания КТМ.

(фото справа – типовая плата УТП с установленными тиристорами и системой охлаждения)

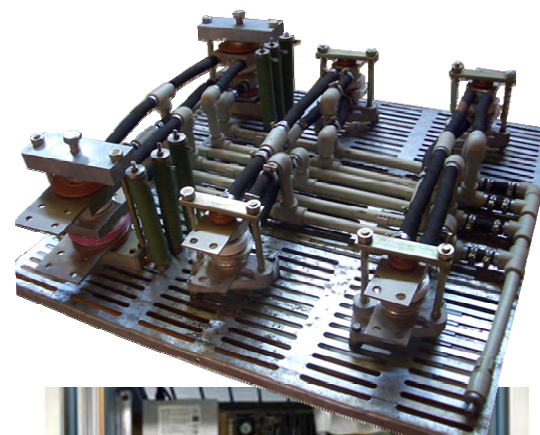
Технические характеристики и особенности

1. Выпрямленное напряжение – 1020 В,
номинальный коммутируемый ток – 15 кА,
тип тиристора – SKT1200/18.
2. Схема управления позволяет использовать УТП в режиме
полноуправляемого преобразователя (выпрямления,
инвертирования и реверса тока).
3. Все УТП управляются единой системой синхронизации
по напряжению 220 кВ, что существенно снижает уровень помех
и дает лучшее согласование источников между собой.

Система цифрового управления УТП

Разработана рабочая документация, спроектированы и изготовлены образцы модулей управления, создан макет с имитацией УТП ($U_d=520$ В, $I_d=150$ А, цифровая схема детектора нуля в фазе А).

(фото справа – макет системы цифрового управления в сборе)

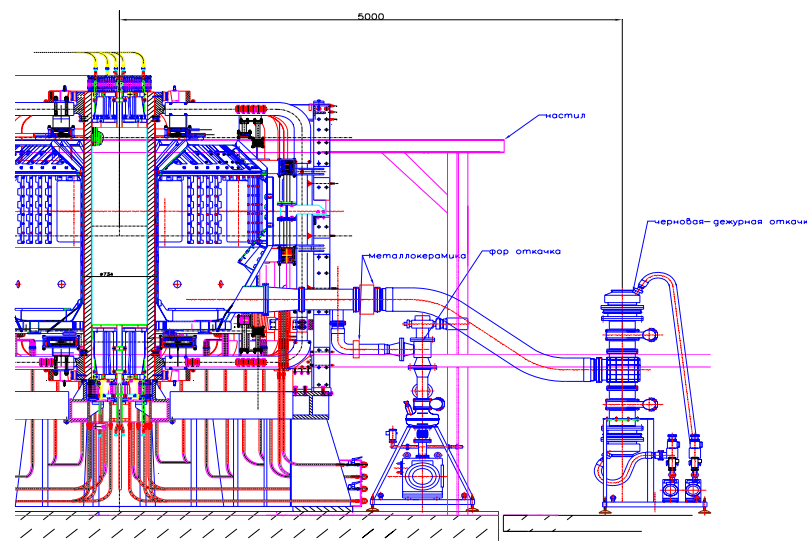


Вакуумная система КТМ – Результаты работ 2004 года



Работы, выполненные в 2004 году:

- Разработка рабочей конструкторской документации на системы вакуумной откачки.
- Закупка материалов и оборудования для изготовления вакуумной системы разрядной камеры, изготовление нестандартного оборудования, испытания узлов и деталей вакуумной разрядной камеры.
- Разработка системы подключения анализатора газовой фазы (АГФ) к вакуумной системе КТМ, доработка, тестирование и отладка аппаратных и программных средств АГФ.



Фрагмент РКД вакуумной системы



Гелиевый течеискатель
ТИ1-22



Турбомолекулярный насос
НВТ-1000-029

Вакуумная система КТМ – Узлы вакуумной системы



Изготовленные узлы
вакуумной системы с
присоединительными
фланцами к патрубкам
разрядной камеры КТМ



Заготовки на "Кубы"



"Куб" черновой - дежурной
отделки
разрядной камеры КТМ
Готовый к транспортировке
в г. Курчатова



"Куб" чистовой отработки с патрубком на вход
анализатора корпускулярной
диагностики
Готов к отправке в г. Курчатова



"Куб" на
монтажной
стойке

Вакуумная система КТМ – Анализ газовой фазы



Система анализа газовой фазы
с узлом пробоотбора и
присоединительными фланцами
к вакуумной системе КТМ



Система автоматизации экспериментов (САЭ) – Результаты работ в 2004 году



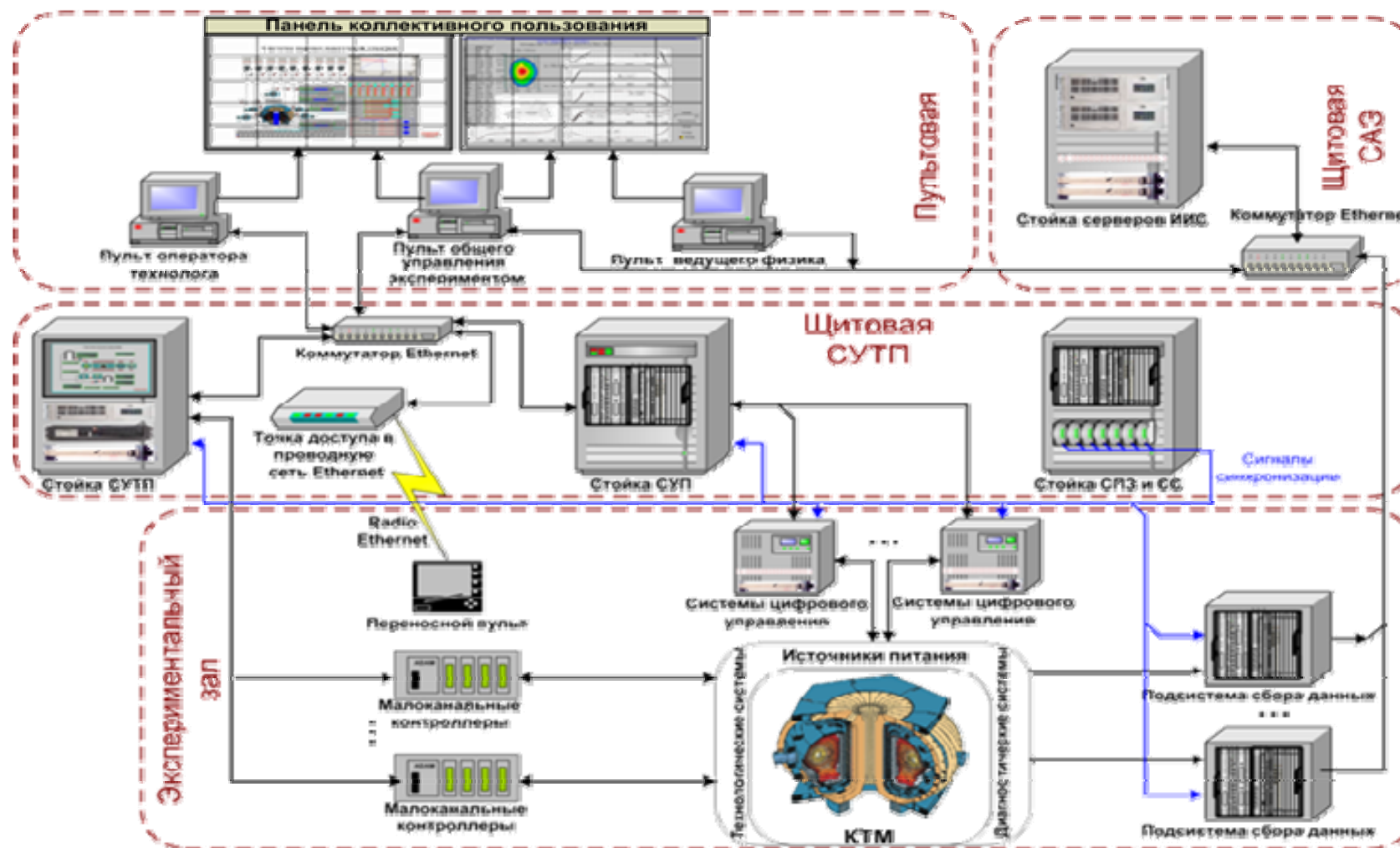
Работы, выполненные в 2004 году:

- Разработана конструкторская документация на нестандартные модули системы синхронизации, техническое обеспечение блоков измерения и первичной регистрации технологической диагностики контактной термометрии, системы управления технологическими процессами подготовки к экспериментам, подсистемы сбора данных.
- Осуществлено макетирование систем синхронизации и противоаварийной защиты.
- Создан макет системы цифрового управления тиристорными преобразователями системы импульсного питания.
- Макетирование процессов взаимодействия операторов с системами управления и алгоритмов отображения информации на пульте оператора-технолога, пульте общего управления экспериментом и панелях коллективного пользования.
- Монтаж и наладка программно-технического комплекса для исследования технического и информационного обеспечения верхнего уровня системы управления технологическим процессом (СУТП) подготовки токамака к экспериментам.

Система автоматизации экспериментов – Структурная схема



KTM

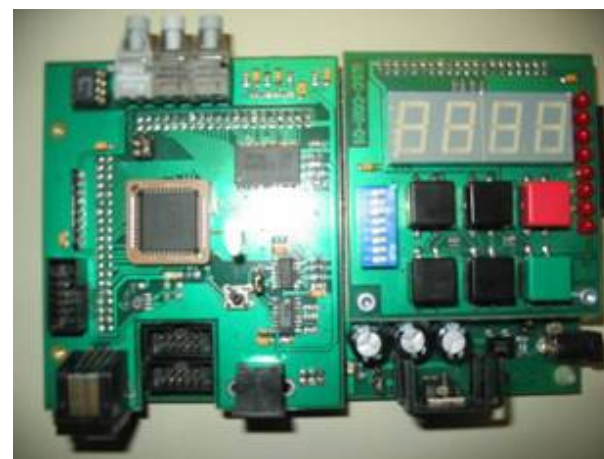


Система автоматизации экспериментов – Макеты



Разработанные модули синхронизации сигналов систем синхронизации, сбора, управления и противоаварийной защиты.

Макет для отработки проектных решений по системам синхронизации и противоаварийной защиты.

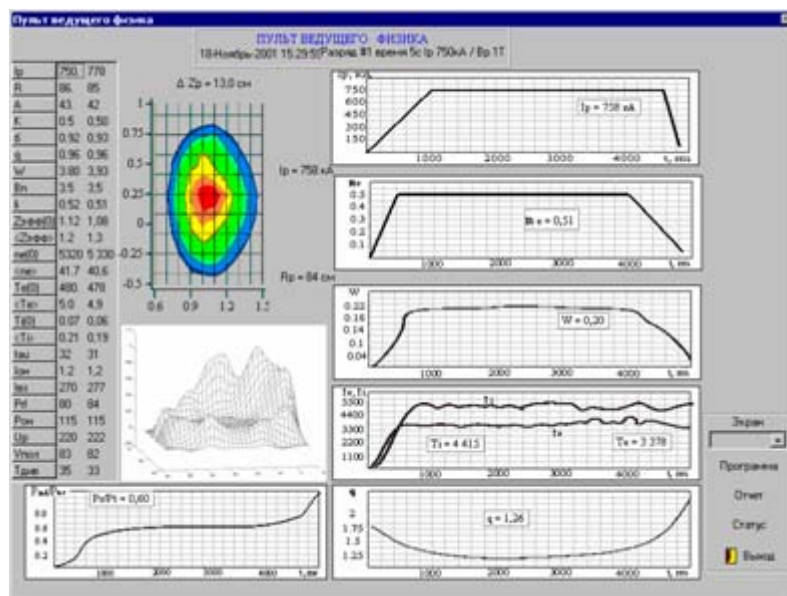


Система автоматизации экспериментов – Интерфейсы

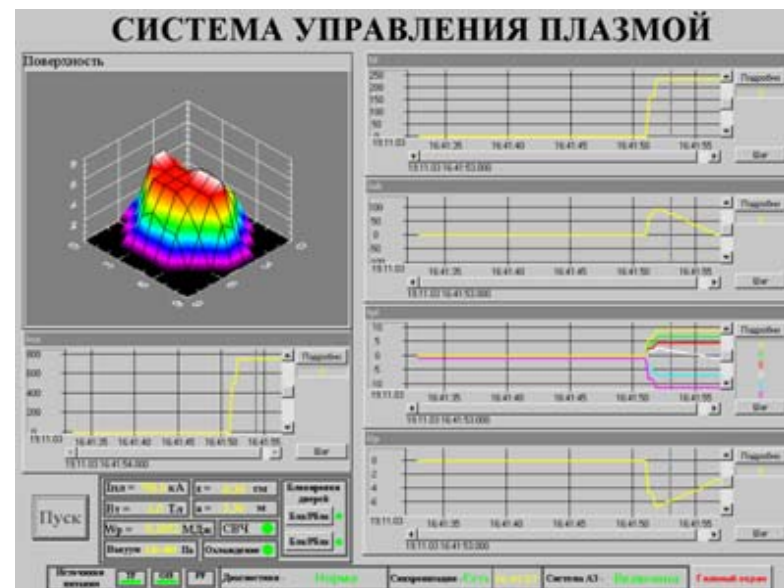


Макетирование процессов взаимодействия операторов с системами управления и алгоритмов отображения информации на пульте оператора-технолога, пульте общего управления экспериментом.

Интерфейс ведущего оператора-физика



Интерфейс системы
контроля положения плазмы



Система физической защиты комплекса КТМ



Общее назначение

- физические барьеры;
- системы охранной сигнализации периметра;
- видеонаблюдение;
- контроль доступа, сбор обработка информации;
- радиосвязь охраны и КПП;
- охранное освещение.



Работы, выполненные в 2004 году

- Установлены и подключены мачты освещения периметра;
- Заключены и выполнены контракты на закупку материалов, оборудования и комплектующих для создания систем физической защиты;
- Завершена часть работ по монтажу защитных физических барьеров и охранной сигнализации периметра комплекса КТМ;
- Подготовлены к монтажу автоматизированные системы контроля доступа;
- Выполнена подготовка кабельных соединений систем физической защиты в помещениях КПП.

Система физической защиты комплекса КТМ



Периметр комплекса КТМ
до монтажа систем
(осень 2003)



Периметр комплекса
КТМ с установленными
мачтами освещения
и частичным монтажом
охранного периметра
(лето 2004 - весна 2005)



Работы 2005 года и планируемые результаты



- Разработка рабочей конструкторской документации на основные системы комплекса и установку КТМ (системы охлаждения комплекса, уравнительные реакторы преобразовательного оборудования, системы диагностики).
- Реконструкция и строительство зданий комплекса КТМ (завершение строительных работ на КПП и в лабораторном корпусе КТМ, подготовка блока электротехнических устройств к монтажу оборудования, внутренняя отделка реакторного зала).
- Монтаж систем внешнего электроснабжения и импульсного питания для комплекса КТМ (монтаж оборудования на ПС-51, ПС КТМ и ПС-53, монтаж трансформаторов 220/10кВ и трансформатора импульсной системы питания мощностью 50МВт).
- Продолжение изготовления установки КТМ (изготовление подвижного диверторного устройства, обмоток полоидального поля и центрального соленоида, подготовка вакуумной камеры к облицовке графитом и монтажу внутрикамерных элементов, разработка системы предионизации).
- Монтаж, наладка и сдача в эксплуатацию систем физической защиты.
- Изготовление, тестирование, отладка и поставка физических диагностик КТМ (отладка и тестирование 9 диагностик, поставка 4-х диагностик из России).
- Эксплуатация инженерных систем и отопления, охрана, подготовка кадров.

Прогнозируемые результаты на 2006-2007 годы



2006 год – ввод в эксплуатацию системы внешнего электроснабжения, изготовление транспортно-шлюзового устройства, оснащение разрядной камеры внутрикамерными элементами, приобретение и монтаж трансформаторов системы импульсного питания, завершение реконструкции зданий и сооружений.

Объем финансирования – 1 072 970 тыс. тенге

2007 год – завершение изготовления, сборка и заводские испытания установки КТМ, поставка установки на площадку КТМ в РК, монтаж установки КТМ на стендовом комплексе.

Монтаж, автономная и комплексная наладка технологических систем комплекса, систем питания, вакуумной системы, диагностик

Физический пуск установки.

Объем финансирования – 801 809 тыс. тенге

Финансирование бюджетной программы 2003-2005 годы



2003 год



2004 год



2005 год



Финансирование	2003	2004	2005
Объемы, тыс. тенге	198 036	586 568	992 295
Поступление средств	февраль	март	май