



ИТЭР. ХОД СООРУЖЕНИЯ, РЕФОРМЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФИКА РАБОТ,

А.В.Красильников, Л.Н.Химченко,
«ИТЭР-центр»



International Atomic Energy Agency

Registration No: 1827

Agreement on the Establishment of the ITER International Fusion Energy Organization for the Joint Implementation of the ITER Project

Notes: The Agreement, pursuant to Article 22, entered into force thirty days after the deposit of instruments of ratification, acceptance or approval of this Agreement by the People's Republic of China, EURATOM, the Republic of India, Japan, the Republic of Korea, the Russian Federation and the United States of America, i.e. on 24 October 2007.

Parties: 7 (subject to Entry Into Force date) Last change of status: 24 September 2007

Country/Organization	Signature	Instrument	Date of deposit	Declaration etc. / Withdrawal	Entry into force
China	21 Nov 2006	ratification	24 Sep 2007	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	24 Oct 2007
India	21 Nov 2006	ratification	29 Mar 2007	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	24 Oct 2007
Japan	21 Nov 2006	acceptance	29 May 2007	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	24 Oct 2007
Korea, Republic of	21 Nov 2006	ratification	13 Apr 2007	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	24 Oct 2007
Russian Federation	21 Nov 2006	ratification	07 Sep 2007	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	24 Oct 2007
United States of America	21 Nov 2006	acceptance	08 Jun 2007	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	24 Oct 2007
EURATOM	21 Nov 2006	approval	05 Feb 2007	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	24 Oct 2007

Организация ИТЭР возникла 24 октября 2007 года

Подписание соглашения о головном офисе с Францией 7 ноября 2007 года



Первое Соглашение о поставках 28 ноября 2007 года



26 November 2006
signature of the ITER Agreement
First Interim ITER Council



ИТЭР / Памятные даты / Строительство



“If you fail to plan, you are planning to fail!”
 – Benjamin Franklin

“Если вы неудачно спланируете, то спланируете неудачу”

Звенигород-2015:

Поставки

Выполнение обязательств по поставке систем

List of Super-Critical & Critical Systems

Item / System	Relevant Organization	Delay from Reference Schedule in May 2014 (in months)	Delay from Reference Schedule in Sep 2014 (in months)	DWS submission on 8th January (in months)
Tokamak Complex (Building 11)	EU-DA	30	21-43	43
Vacuum Vessel Sector #5	EU-DA	26	40	34
Vacuum Vessel Sector #6	KO-DA	15	27	27
TF Coil 09	EU-DA	15	25	27
TF Coil 11	EU-DA	15	25	27
TF Coil 12	JA-DA	10	12	28
PFS, PF6 Coil	EU-DA	18, 15	35, 32	35, 31
Cryostat (lower cylinder)	IN-DA	15	14-17	17

Первая плазма (FP) - за восемь лет строительства накопилось отставание около трех лет.

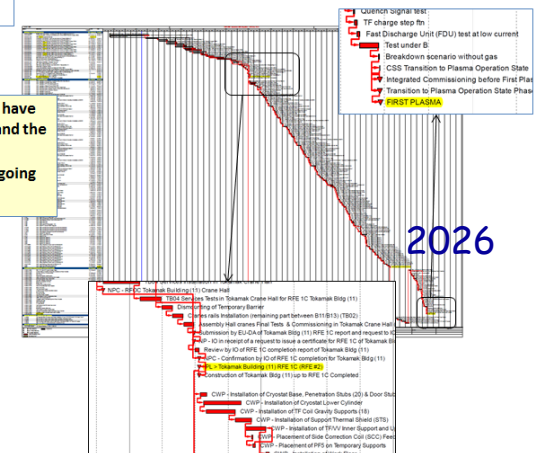
Сборка токамака

График сборки - 2014

- Finish one step before moving on to the next...

Critical Path Analysis

- 225 individual Detailed Work Schedules have been submitted by the DA's (160 DWS) and the IO (75 DWS)
- There are currently ~1500 Delivery IPLs going into the CMS,



“...Агентство ИТЭР и российские предприятия столкнулись с проблемой отставания от графика. И связанной с этим неопределенности разброса финансирования по годам. Обе стороны прилагают усилия, чтобы реально выполняемые работы соответствовали графику работ.”

В марте 2015 года Совет ИТЭР принял **План действий**, который должен был в значительной степени улучшить управление проектом и поставил задачу разработать график, обеспеченный реальным финансированием.

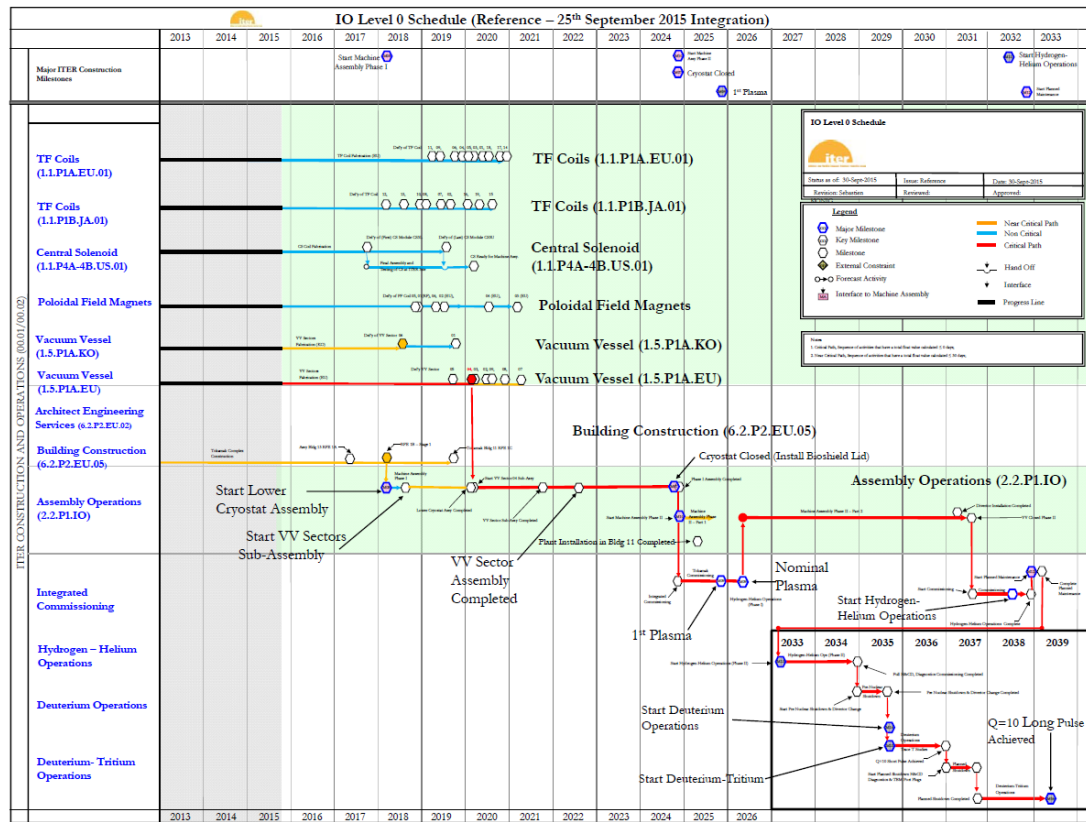


Bernard Bigot, new ITER DG from March 6, 2015
Nature, June 2015

План действий Генерального директора (DG's Action Plan)

- **Создать новую «базовую линию» - Baseline на основе ресурсно-обеспеченного графика;**
- **Создать Резервный фонд** для оптимизации финансирования
- **Улучшить эффективность работы и отдачу кадров (Human Resources);**
- Создать структуру (Executive Project Board - EPB), способную принимать ответственные решения
- Создать несколько тематических групп, для решения проблемных задач (Tokamak Assembly - СТТА, Tokamak Complex - СТТС), Plant Installation - СТПИ);
- Внедрить культуру отношения к ИТЭР, как к ядерному объекту;
- Оптимизировать организационные связи, включающих две горизонтальные функции (PCO and CIO);
- Упростить существующие и создать новые процедуры с высоким приоритетом по HR, Safety and QA.

ИТЭР / Реформы / Подготовка новой базовой линии (Baseline)



2015 - Новый график LO

- 2025-26 First plasma - Nominal plasma
- 2026-32 Установка оборудования
- 2032 Начало работы на H/He
- 2035 Начало работы на D-T

Требование определенности выявило проблемы с финансированием у участников проекта

Совет ИТЭР в июне 2016 г. утвердил дату Первой плазмы в 2025 г. с условием утверждения финансирования своей части проекта в Правительстве каждым участником проекта (*ad referendum*).

Совет ИТЭР рекомендовал Ген. Директору провести **ревизию** графика нулевого уровня и оценку затрат, вплоть до начала работ с DT смесью в соответствии с «**ПОЭТАПНЫМ ПОДХОДОМ**» (Staged Approach)

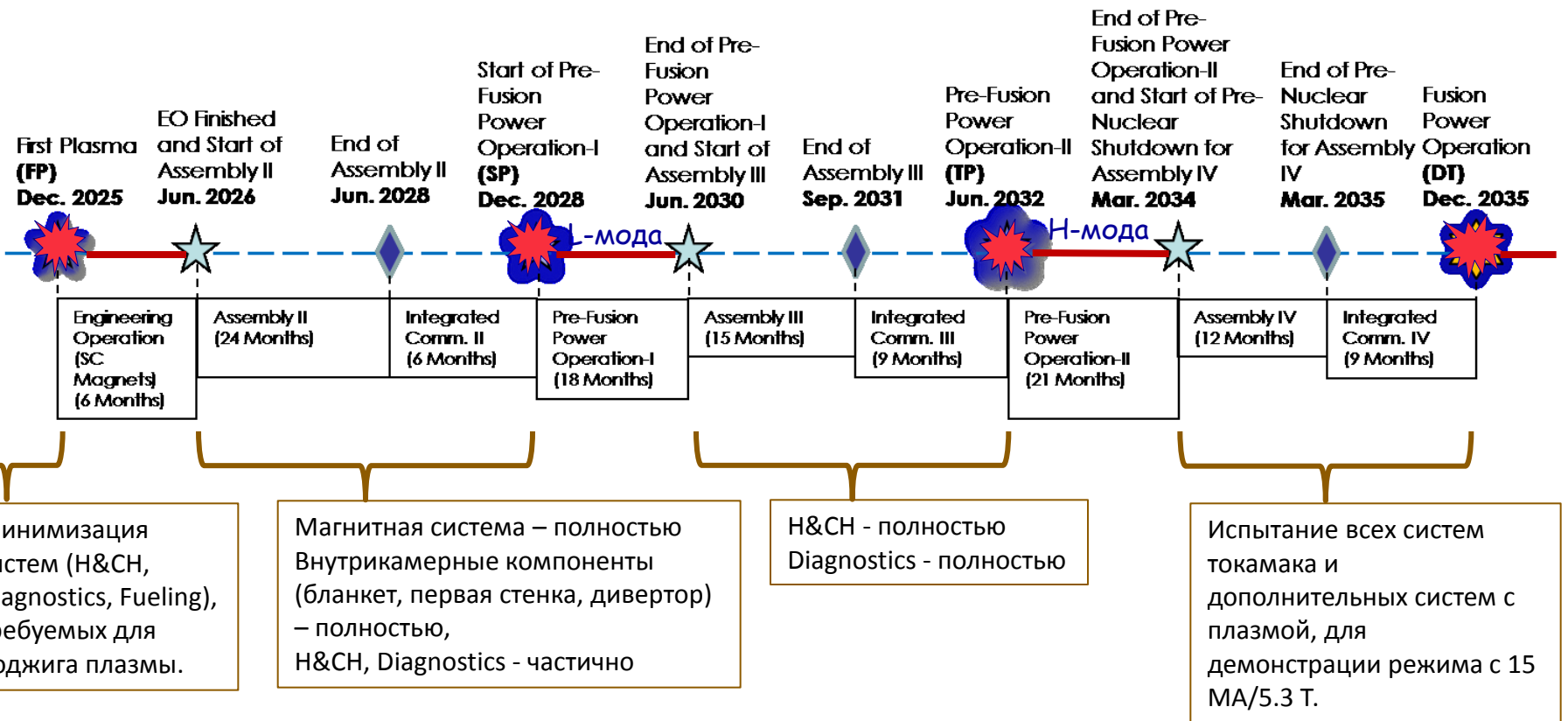
Предлагается ввести **4 различные стадии** работы ИТЭР от Первой плазмы до DT реакции. В рамках этого подхода МО ИТЭР подготовило интегрированный график сооружения ИТЭР - т.н. **"Master schedule"** (около 250 000 работ) вместе с системами управления рисками (Risk Management), определения **ключевых событий** (KPI - Key Performance Index) и **финансирования базовых работ** (Earned Value Management).

Влияние «поэтапного подхода» (Staged Approach) на график

Активное взаимодействие МО ИТЭР с домашними Агентствами по решению накапливающихся проблем привели к изменению «базовой линии» т.е графика работ.

График и ресурсы, необходимые для создания Первой плазмы, находятся в соответствии с заявленным участниками проекта финансированием

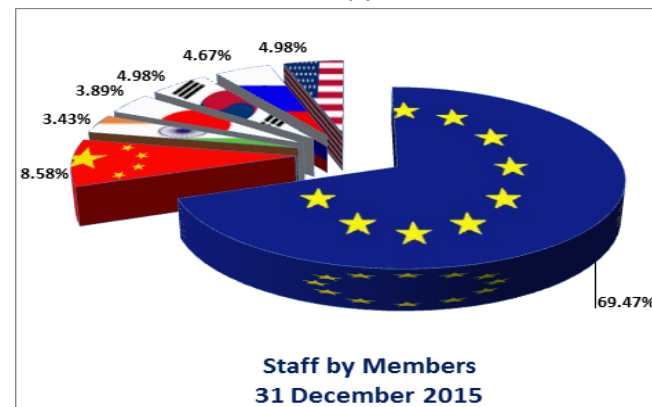
Ген. Директор рассматривает возможность работы не только в рамках 4-х стадийной работы, но и в 3-х стадийной, учитывая финансовые и технические возможности участников проекта.



Изменение подхода к кадровой политике (Human Resources Management)

Реорганизовать HR Department. **Скорректировать HR практику работы, HR политику** и пересмотреть процесс взаимодействия. Создать систему выявления проблем и каналы обратной связи. Учредить "IO Ombudsmen" и образовать **Комитет по этике**, чтобы обновить «Кодекс отношений».

В МО ИТЭР 730 постоянных сотрудников
В 2016 году МО ИТЭР открыло **153** вакансии;
Было получено **4 347** предложений, которые пропущены через домашние Агентства;
С 617 кандидатами провели собеседование.



Изменение подхода к бюджетной политике

Использовать ресурсы домашних Агентств. Первый контракт в рамках совместных действий (ITER Project Associates - IPA) подписан 1 июля 2016.

Создать Резервный фонд. В 2016 году использование гибких условий финансирования критических систем привело к превышению скорости закрытия проблемных изменений в проекте PCR (Project Change Request) над возникающими.

Изменение подхода к контролю выполнения графика "Master schedule"

- Безусловность выполнения графика требует **независимого аудита**;
- Проектирование и изготовление должно быть полностью и вовремя **закончено**, в соответствии с Project Milestones.
- Interfaces должны быть **"заморожены"**

Achieved ICM

Ref.	Project Milestones	Org	IC Date
IC-1	Tier-1 of Cryostat base Section deliver to IN-DA Workshop at ITER Site	IN	Q1 2016
IC-2	Start of B1 civil works in Tokamak building	EU	Q1 2016
IC-3	Lot-1 Piping - Delivered by IN-DA to IO at ITER-Site	IN	Q1 2016
IC-4	Erection of Tokamak Main Cranes in Assembly Hall	EU	Q2 2016
IC-5	Completion of first EU TF winding pack	EU	Q2 2016
IC-6	Fabrication of all TF conductors from RF, CN and JA completed	RF	Q2 2016
IC-7	All magnet conductor fabrication complete for PF5 and PF2	CN	Q2 2016
IC-8	Completion of performance tests of full-W Divertor OVT plasma facing units	JA	Q2 2016
IC-9	Installation of WDS tanks in Tritium building	EU	Q2 2016
IC-10	Complete CS module 1 winding	US	Q2 2016
IC-11	Signature of CMA contract	IO	Q3 2016
IC-12	Complete 4th (of 9) TF conductor Unit Length	US	Q3 2016
IC-14	First Lq Nitrogen Refrigerator equipment Factory Acceptance Tests completed	EU	Q4 2016
IC-15	Steady State Electrical Network - Delivery of Power Transformers (Lot 3) to ITER	US	Q4 2016
IC-16	Liquid Helium plant equipment Factory Acceptance Test completed	IO	Q4 2016
IC-17	Vacuum Auxiliary System – Flanges Ready to Ship to ITER Site	US	Q4 2016

Выбираются самые важные этапы работ, т.н. ICM - IC Milestones

Мониторинг выполнения

- Обоюдный контроль выбранных работ с выпуском ежемесячного отчета
- Определение:
 - критических путей к Первой плазме.
 - проблем с выполнением,
 - рисков с возможностью их уменьшения

Ref.	Programmatic Milestones	Org	IC Date
IC-26	Start of IC-commissioned Independent Reviews	IO	Q1 2016
IC-27	IC review report from IC-commissioned Independent Reviews	IO	Q2 2016
IC-28	IO to recruit the IC-agreed staffing positions for 2016	IO	Q3 2016

Пример контроля графика работ Вакуумной камеры

- Передали изготовление 2-х секторов вакуумной камеры из Европы в Корею.
- Переставили последовательность сборки вакуумной камеры, чтобы выполнить график работ до Первой плазмы.

Заключен СМА контракт

27 июня МО ИТЭР подписала 10-летний агентский контракт (**Construction Management-as-Agent - СМА**) с совместным предприятием MOMENTUM по управлению и координации сборкой токамака и установке сопутствующих систем. Стоимость контракта €174 млн.



MOMENTUM



Предметом СМА услугами являются управление контрактами, управление изменениями, управление проектом, подготовка строительства, координация работ на площадке, проведение и завершение работ. МО ИТЭР должно еще заключить три основных контракта на **сборку токамака**, а также **механических и электрических систем** установки. Так же МО ИТЭР должно заключить с домашними Агентствами контракты на сборку их систем.

Чтобы ускорить процесс и сосредоточиться на технических вопросах, МО ИТЭР изменила схему взаимодействия т.н. "Construction Organization (Phase 1)"

- Создана группа по решению вопросов сборки оборудования.
- Готовится описание структуры, которая должна координировать сборку установки - **«Tokamak Coordination Board & Construction Steering Committee»**
- Создается детальный план действий, гарантирующий готовность к началу работ по сборке токамака.

ИТЭР /Реформы/ Итоги/ Выполнение Плана действий (Action Plan)



Участники Совета ИТЭР (IC-18) в МО ИТЭР

Напряженные усилия двух лет привели к тому, что Совет ИТЭР 18 принял **ресурсно-обеспеченный график** (Resource-Loaded Integrated Schedule), который устанавливал дату Первой плазмы – декабрь 2025.

Обновленный интегрированный график представлял «...наилучше обоснованный и технически достижимый путь к Первой плазме».



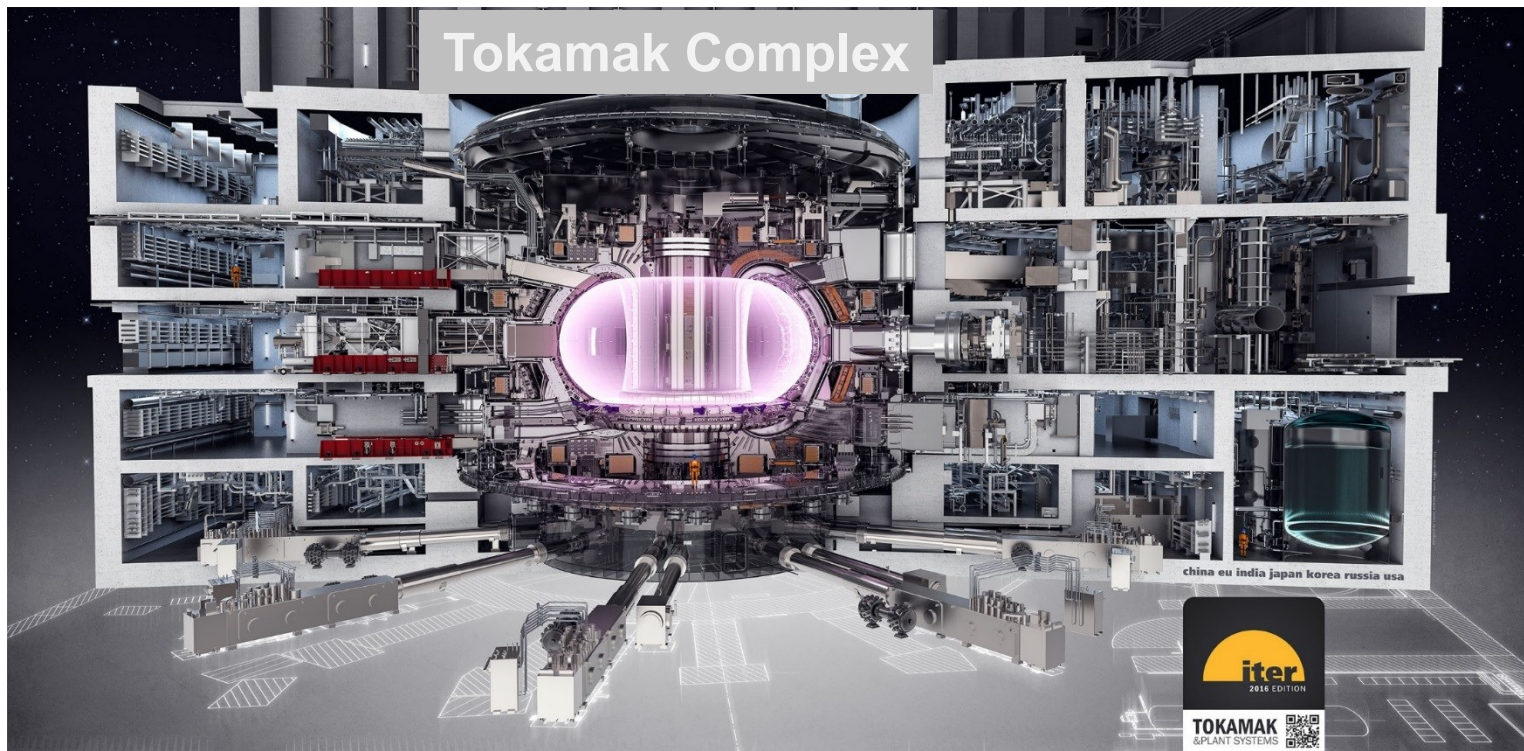
Участники Совета ИТЭР (IC-19) в Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance

Научно-технический комитет (Science and Technology Advisory Committee – **STAC-21**) в октябре 2016 проанализировал план исследований (**Research Plan**) и его соответствие графику работ ИТЭР.

В ходе заседания Совета 16-17 ноября был обсужден подробный обновленный базовый уровень, т.н. **"Baseline"** (цели, график, стоимость и риски) для ИТЭР, принимая начало работы на дейтерий-тритиевой смеси в 2035 году.

Общий график проекта был одобрен всеми членами ИТЭР, а общая **стоимость** проекта была утверждена **ad referendum**. Это означает, что каждый участник проекта должен получить одобрение своей части стоимости проекта в правительстве своей страны.

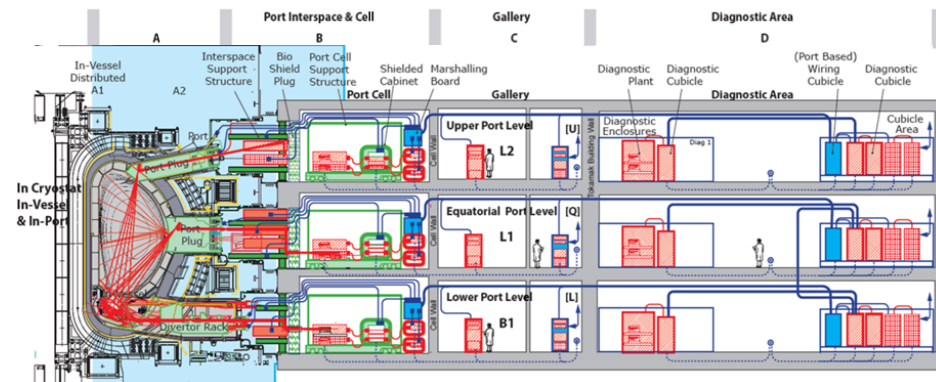
Совет ИТЭР 19 утвердил обновленный график с Первой плазмой в 2025 году и началом D-T реакции в 2035 на основе т.н. **"Stage approach"** – поэтапного подхода, как способа минимизации рисков. В поэтапном подходе к сборке ITER, монтаж оборудования будет чередоваться с периодами работы с плазмой.



400 000-тонный комплекс токамака включает 3 здания - Диагностическое (справа), Токмака (в центре) и Тритиевое (слева).

ИТЭР - самое сложное научное сооружение, когда либо проектируемое

Диагностическое здание





Работают и ночью

Биозащита (~3м)



- L1
- B1
- B2

Уже созданные этажи

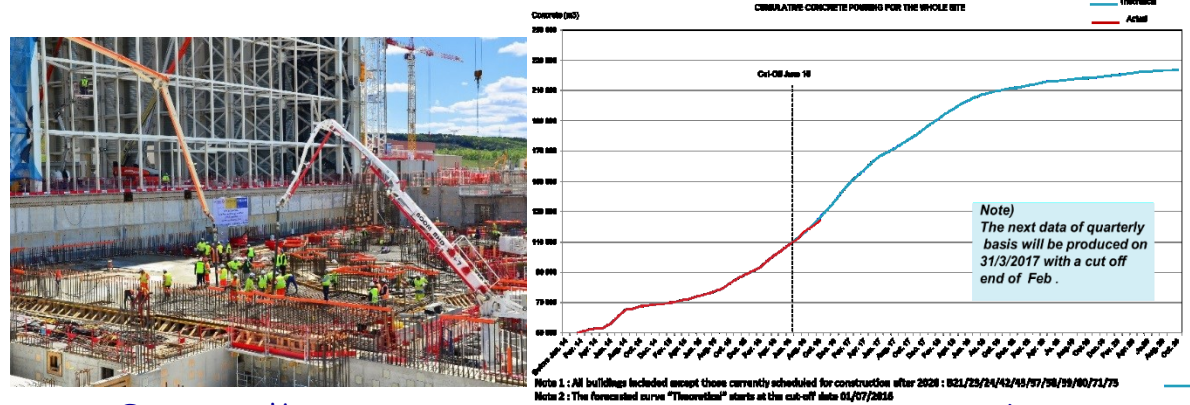
Цокольный этаж - B2



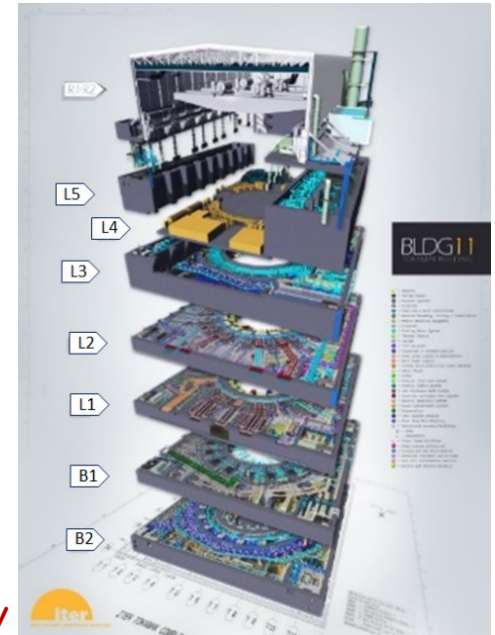
Начинается отделка и завоз оборудования: компрессоров, водоподготовки, для жидкого и газообразного азота и гелия, пожарного оборудования, монтаж водяных и криолиний, кабелей, вакуумного оборудования и электропитания.

Монтаж идет параллельно строительству

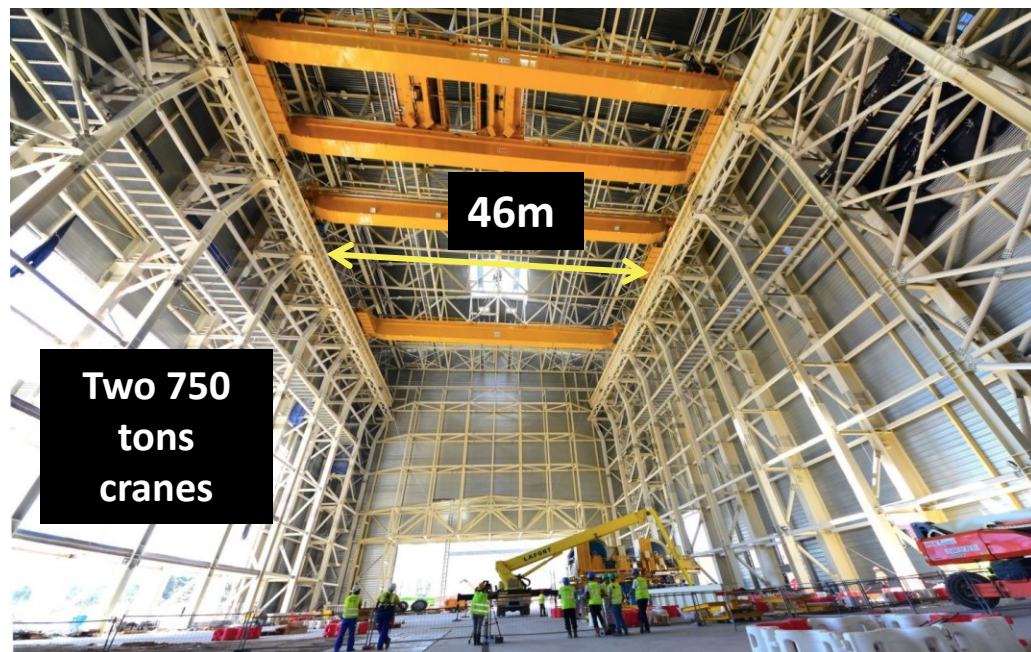
Buildings concrete pouring volume



Основной параметр строительства - количество бетона



Здание сборки: Массивные мостовые фермы



Краны, установленные в зале сборки (11 зд.), позволяют начать подготовку к сборке токамака.

Шесть баков для детритиизации воды (четыре - на 20 м³ и два - на 100 м³) и дренажный бак, первые из оборудования, были установлены в Комплекс токамака (Tokamak Complex)

Тритиевое здание



Монтаж идет параллельно строительству

Cryoplant Compressor Building & Cryoplant Coldbox Building

Это самая большая в мире криофабрика (Cryoplant). Жидкий гелий (-270 °C) и жидкий азот (-193 °C) будет перекачиваться к различным системам токамака (сверхпроводящим катушкам, тепловой защите, крионасосам, и т.д.).

Здания должны быть сданы в апреле 2017



Turbine



Compressor



1300 kW @ 300 K to 80 K
3 Plants = Avg.75 kW @ 4.5 K
CryoLines ~ 5 km

Закончено сооружение бассейна охлаждения (объемом 27 000м³)

Cryoplant: Large Helium and Nitrogen Tanks

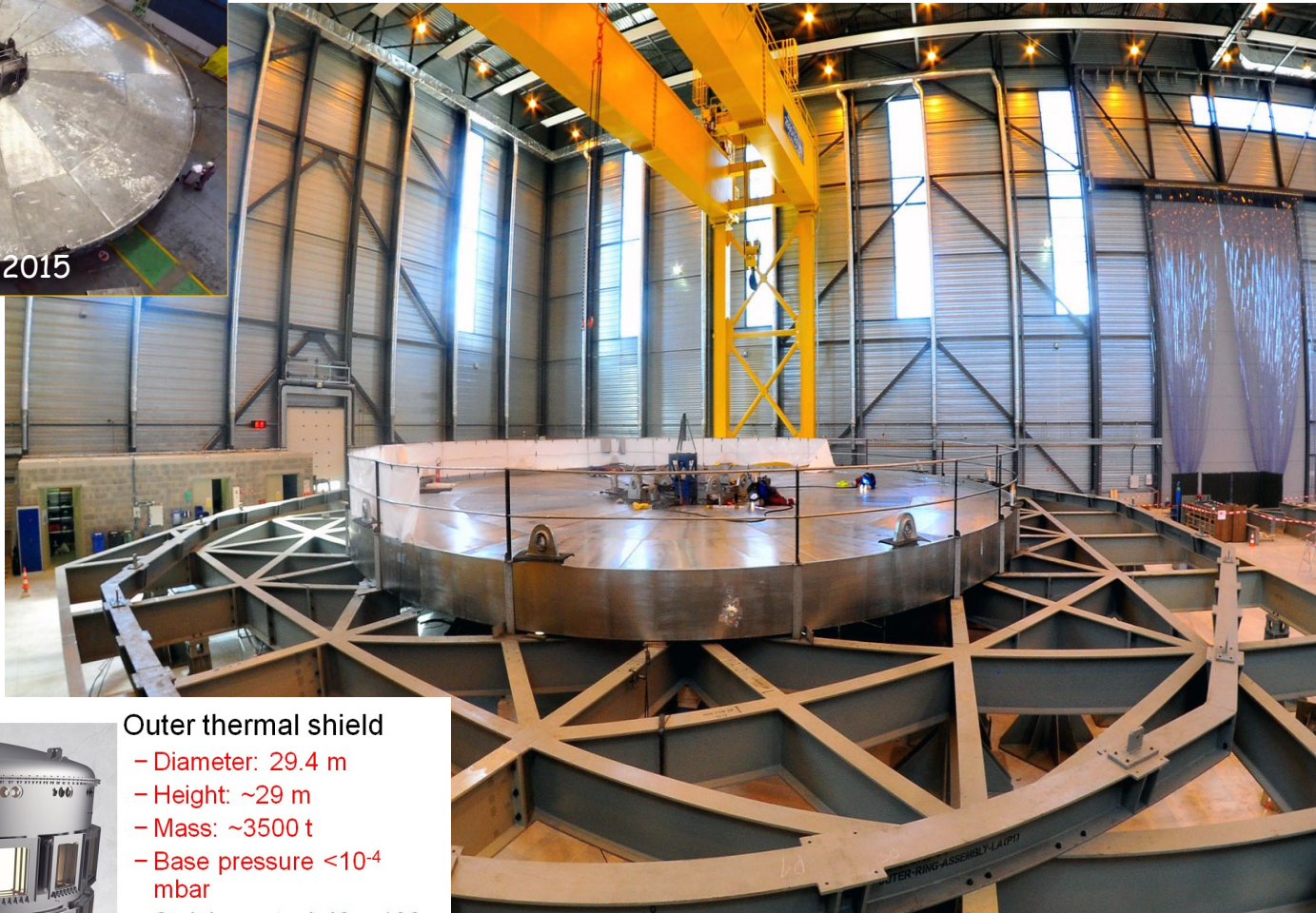
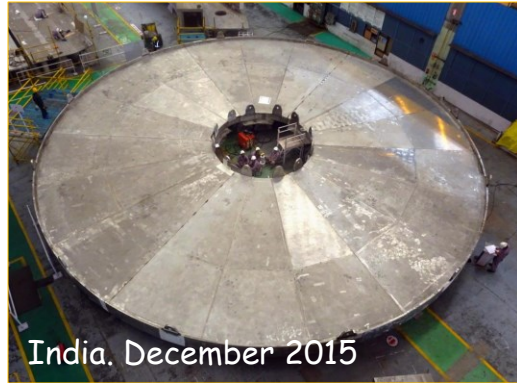


Hot Basin



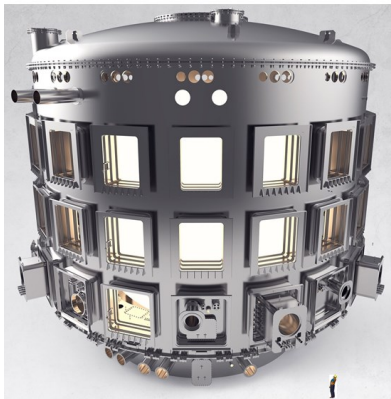
He purifier in final testing phase

Здание криостата



Outer thermal shield

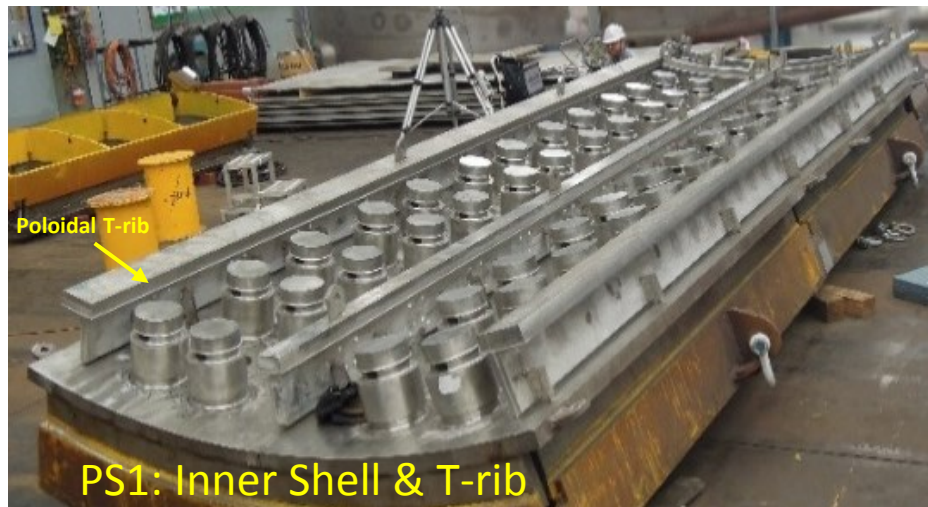
- Diameter: 29.4 m
- Height: ~29 m
- Mass: ~3500 t
- Base pressure $<10^{-4}$ mbar
- Stainless steel 40 – 180 mm thick



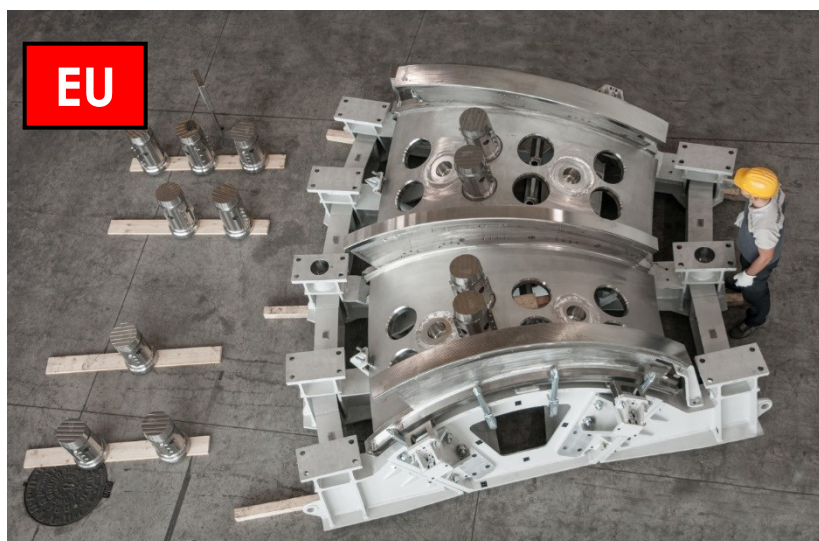
8 сентября 2016 на площадке ИТЭРа началась сварка **основания криостата.**

Вакуумная камера: Изготовление первого сектора №6

Внутренний сегмент



Верхний сегмент



В 2015 году была создана **Vacuum Vessel Project Team** в рамках Плана действий для ускорения принятия решений и изготовления вакуумной камеры.

Как результат - сдвиги работ по дизайну удалось «заморозить». Сектора вакуумной камеры, защитные элементы (in-wall shielding-IWS), патрубки и поддерживающие конструктивы начали изготавливать в Корее, Европе, Индии и России.

RF

Верхние патрубки



Это 20-ти тонная часть верхнего порта №12. После механической обработки и тестирования она уедет в Корею, где будет приварена к сектору вакуумной камеры №6. Квалификация будет проводиться **MAN Diesel and Turbo**, Deggendorf, Германия, субконтрактора НИИЭФА. Россия ответственна за поставку 100% верхних патрубков. Основная проблема - приемка работ компанией *Agreed Notified Body (ANB)* по правилам французского ядерного регулятора *ASN*, как оборудования под давлением.



Станок (пресс) для формирования оболочек для одиночной и двойной стенок патрубков №. 04, 06, 08, 10, 14, 16, 18

Совещание **Vacuum Vessel Project Team** в Корее (около 50 специалистов) по координации изготовления вакуумного объема и патрубков.



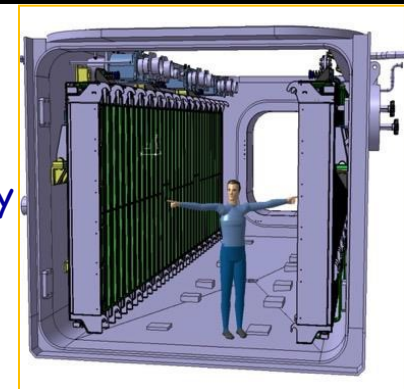
Вакуумная система

Криостат ~ 8 500 м³
Вакуумная камера ~ 1 330 м³
Инжектор нейтральных частиц ~ 180 м³ каждый

400 вакуумных насосов

Изготовление завершается в 2017 году.

Криопанели для
нейтральной инжекции
(NBI) : 8 метров в длину
и 2.8 метров в высоту

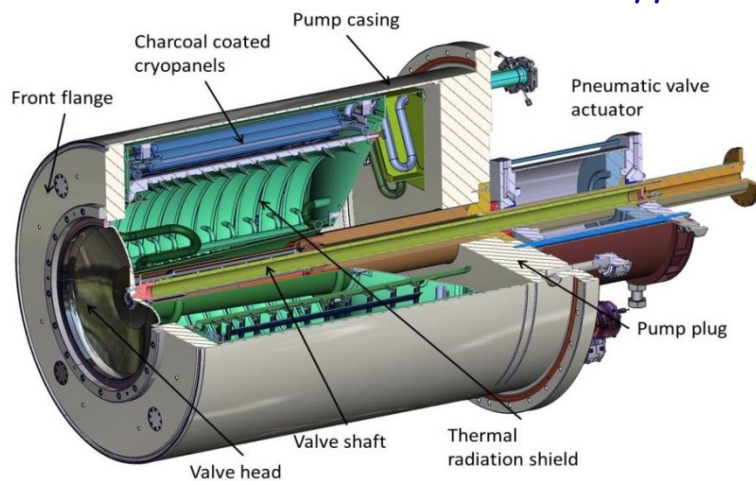


Изготовление завершается в 2017 году.

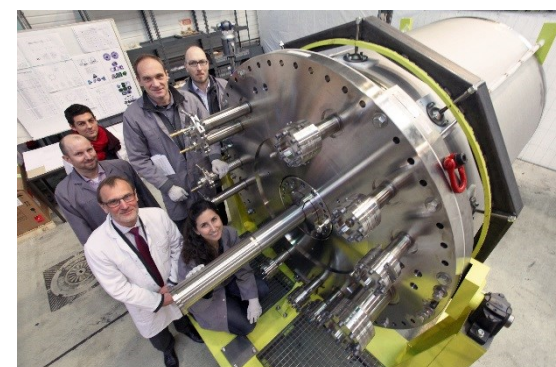
8-тонный фланец первого
крионасоса для откачки
вакуумной камеры



4.5 K



Крионасос вакуумной камеры и криостата
(1.8 метров в диаметре)



Крионасос / февраль 2017

Катушки тороидального поля

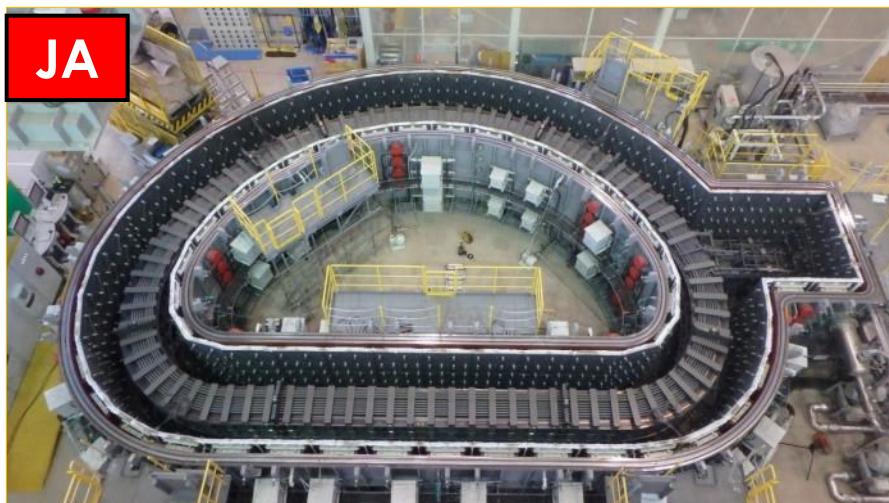
EU



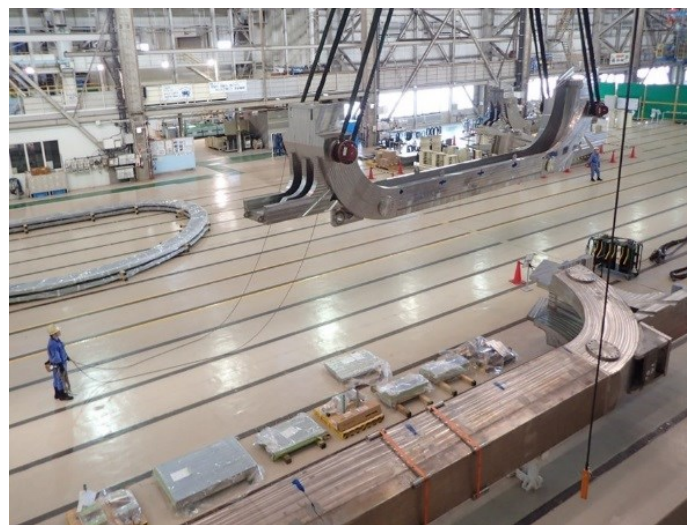
Изготовлена катушка тороидального поля, состоящая из семи слоев Nb_3Sn сверхпроводника, пропитанных полимером.

Всего изготовлено 22 двойных слоя, достаточных для изготовления трех катушек тороидального поля.

JA



Завод Mitsubishi Heavy Industries в Kobe. Изготовление сверхпроводниковых слоев катушки тороидального поля.

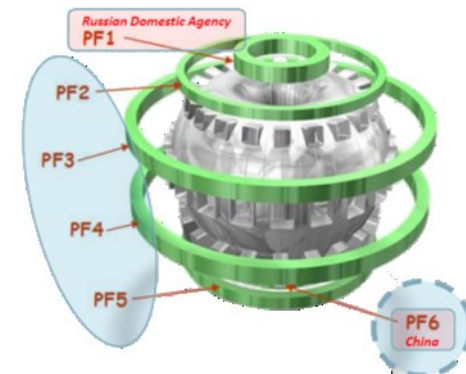


Япония изготавливает 18 сборочных кассет для всех катушек тороидального поля. Критическим параметром является точность изготовления, требующая прецизионного оборудования и специальной сварочной техники.

Первые кассеты будут поставлены Европейскому изготовителю в 2018 году.

Катушки полоидального поля

EU



На площадке ИТЭР, в самом большом ангаре длиной 257 м Европа начала квалификационную намотку двух прототипов катушек полоидального поля с медным проводником (пока вместо NbTi) - PF-4 (диаметр 24 м) и PF-5 (диаметр 17 м).

Процесс изготовления каждой катушки требует min 18 месяцев.

RU



PF-1. НИИЭФА / Средне-Невский завод.
Квалификационные испытания успешно пройдены. Началась намотка катушки из сверхпроводников.

Изготовление индуктора (Central solenoid - CS) ИТЭР.

US



Намотка и изоляция витков CS прототипа



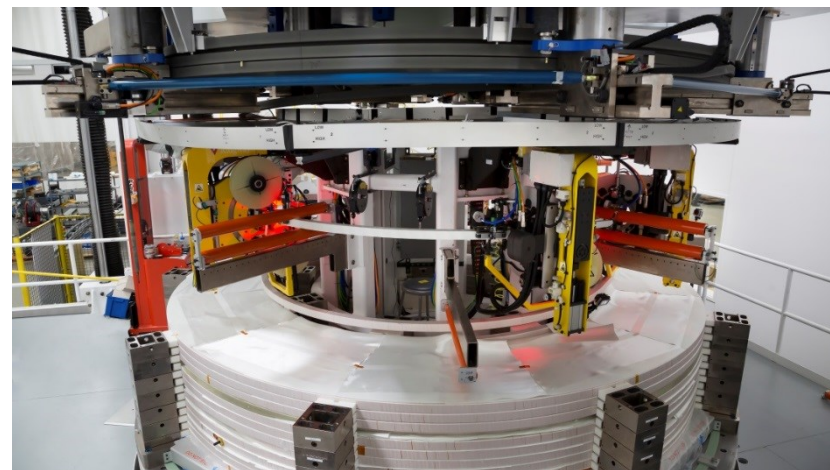
General Atomics, Poway, California.

Вес индуктора (Central solenoid - CS) ИТЭР - 1 000 тонн.

Допустимое напряжение пробоя - 14 кВ

Испытания - до 30 кВ

Изоляция - 12 слоев стеклоткани и Картон



Magnet Development Facility / Сборка прототипа индуктора

Электропитание ИТЭР



Электропитание ИТЭР (Electrical Power Distribution System) будет получать от 400 кВ национальной сети. В постоянном режиме (SSEN) – до 120 МВт, в импульсном режиме (PPEN) , необходимом для работы с плазмой – до 500 МВт.

В настоящий момент ИТЭР получает электропитание от центра Cadarache по 15 кВ линии.

Подстанция 400 кВ сдана и подключение к электросети планируется в начале 2017 года. Квалификация коммутирующей аппаратуры произведена. Изготавливаются шинопроводы постоянного тока и мощные кабели на 66 кВ.



Монтаж трансформаторной 20 кВ подстанции.

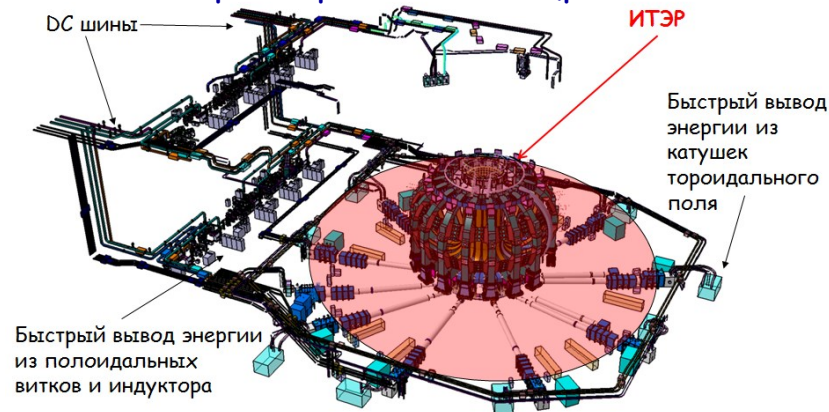
Коммутирующая аппаратура

RF



Алюминиевые шинопроводы постоянного тока (425*690 мм) - перед отправкой из НИИЭФА на площадку ИТЭР.

Подвод электроэнергии к ИТЭР (русская часть)



Общая длина шин: **10 км**
120 выключателей на токи 70 кА



Байпасный выключатель и вакуумный размыкатель

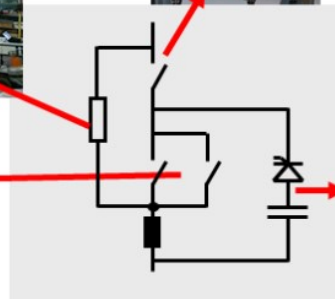
Разрядный резистор



Тироразмыкатель



Цепь коммутации обратного тока



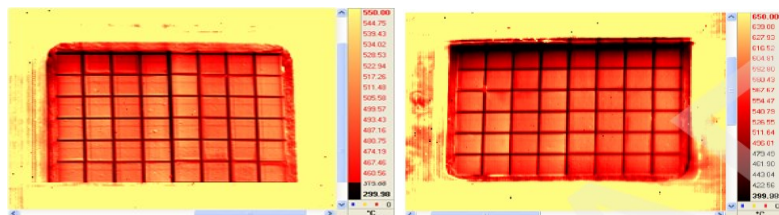
CN

Бериллиевая Первая стенка

Испытания китайского полупрототипа Первой стенки на е-пучке IDTF (НИИЭФА).

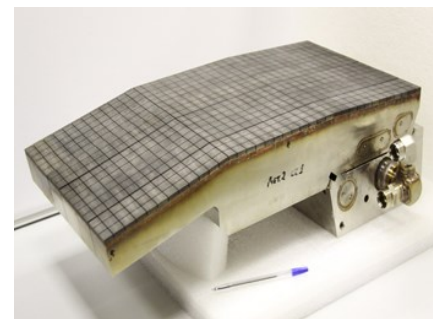


FW semi-prototype on the test equipment



IR temperature image of the FW fingers in 4.7 MW/m² (left) and 5.9 MW/m² (right)

Southwestern Institute of Physics -SWIP



(© RF DA 2016)

Российский полупрототип первой стенки уже прошел ресурсные испытания



(© CN DA 2016)

Китайский полупрототип первой стенки

Макеты успешно выдержали 7 500 циклов при 4.7 МВт/м² и 1500 циклов при 5.9 МВт/м²

Гиротроны

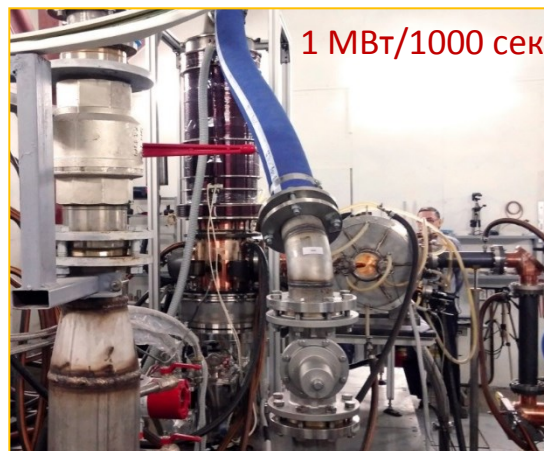
На ИТЭР должно быть установлено 24 гиротрона с 1МВт мощности каждый.

Вклад России - 8 гиротронов.

Требования:

Частота 170 ГГц, 1 МВт, 1000 сек

Эффективность преобразования - не менее 50%, возможность модуляции мощности на частотах до 5 кГц, совместимость с системой управления ИТЭР, выходное окно - CVD алмазный диск.



▲ Gyrotron prototype developed by RF-DA.

◀ Gyrotron prototype developed by F4E (EU-DA).

▶ Gyrotron prototype developed by JA-DA.



Диагностика: Active Beam Spectroscopy - CXRS

- Charge eXchange Recombination Spectroscopy (CXRS)
- Plasma emission due to Diagnostic Neutral Beam (DNB) → Ion temp., Rotation, impurity

55.E1 CXRS-core

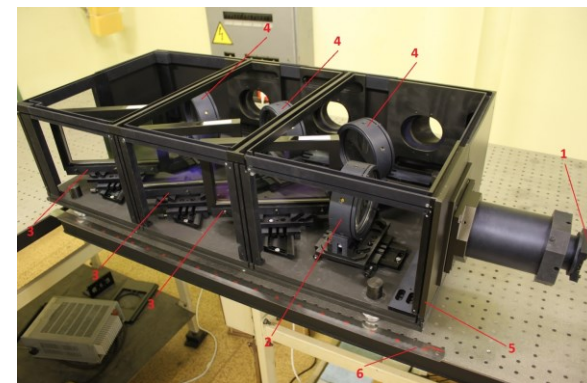
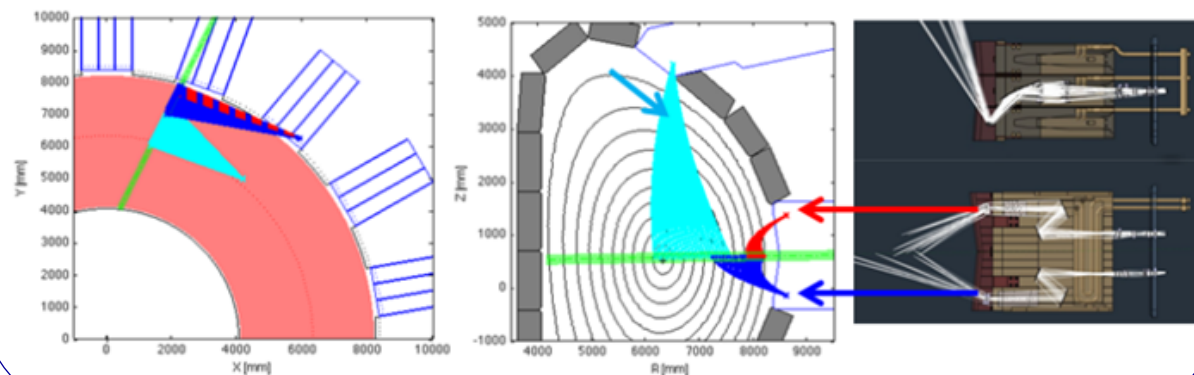
→ UPP 3, $r/a < 0.7$, 7cm res. (F4E)

55.EC CXRS-edge

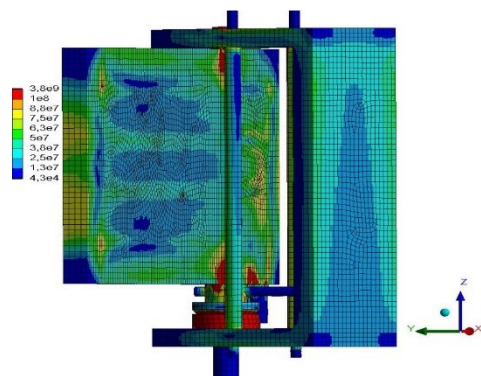
→ EPP3, $r/a > 0.5$ (7cm), > 0.85 (2cm) (RF-DA)

55.EF CXRS-pedestal

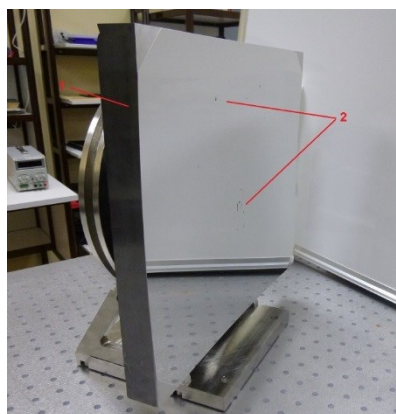
→ EPP3, $r/a > 0.85$, 2cm res. (IN-DA)



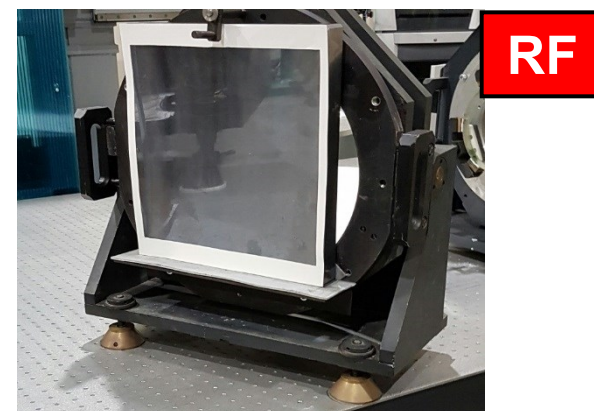
Разработана технология производства голографических дифракционных решеток с большим размером до 260 мм для спектрометра



Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу, Па

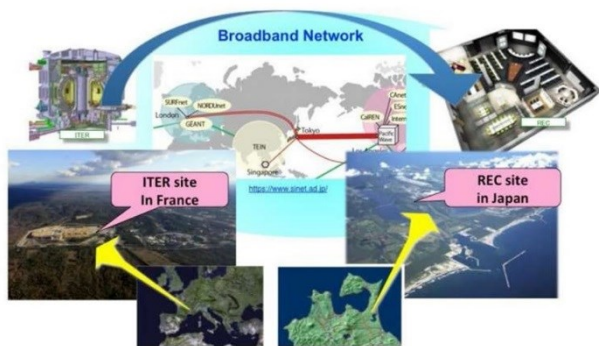


Макет узла Mo зеркала



Оптическая поверхность вогнутого SiC зеркала

Интернет, удаленное управление, вычисления ...



Один разряд ИТЭР на неядерной стадии «генерит» 1 Терабайт экспериментальных данных. На ядерной стадии ожидается в 50 раз больше.

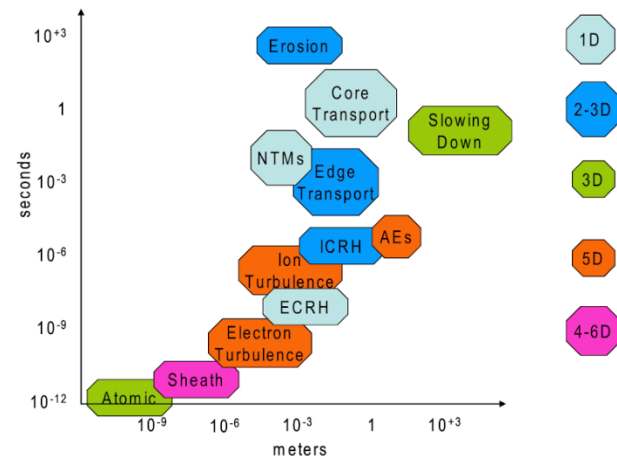
Вторая пультовая и центр сбора данных создается в Японии - **Remote Experimentation Centre**.

В сентябре 2016 прошла пробная перекачка данных в Rokkasho - 50 терабайт/день на средней скорости 7.9 Гигабайт/сек. **В 1600 раз быстрее, чем среднемировая скорость в Интернете.**



Для целей ИТЭР и как вычислительная платформа Европейского термоядерного сообщества в научном центре CINECA, Vologna, Италия, в сентябре 2016, был введен в эксплуатацию суперкомпьютер "Marconi-Fusion".

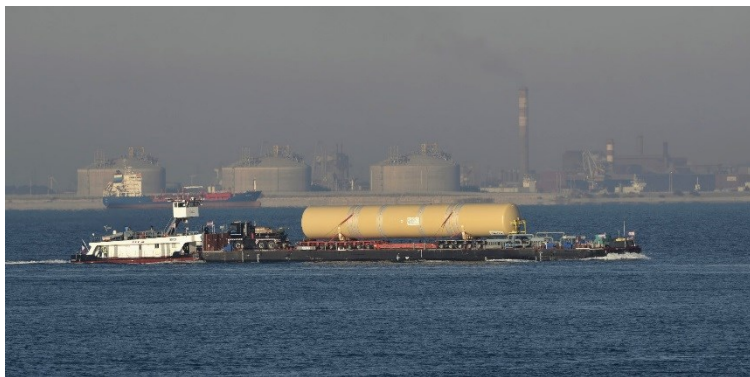
Скорость вычисления процессора Intel Xeon составляет **6 Терафлоп/сек.**



Т.к. ИТЭР одновременно научная установка и ядерный объект, то система управления, защита токамака и система ядерной безопасности спроектированы по различной архитектуре. Например, центральная система управления, система сбора данных (CODAC), система блокировок (CIS), система безопасности (CSS), интерфейс с 200 системами контроля (instrumentation and control) сгруппированы в 18 подсистем, составляющих общую систему контроля ИТЭР.

Доставка

Перевозка основного крана для сборочного здания 11 морским и сухопутным путем.



Транспортировка компонент криофабрики (Cryoplant) :
- объем, длиной 35 м, из Чехии, по Эльбе до Гамбурга.
Далее морским путем до Марселя и по горным дорогам до Cadarache.
- два "cold boxes" из Лиона, сначала по реке, затем по горным дорогам.

International Tokamak Physics Activity - ИТРА



Для выполнения и координации научных исследований в термоядерной области, в поддержку ИТЭР, организовано International Tokamak Physics Activity (ИТРА). В декабре 2016 года был избран новый **Председатель Координационного комитета - Коновалов С.В.**, начальник теоретического отдела Блока термоядерных исследований КЯТК НИЦ «Курчатовский институт».



Physics of the ITER first plasma

- Baseline first plasma specification/definition
- Basis for PFC energy limit
- Plasma initiation
 - Breakdown
 - Burn-through
- Location of first plasma
- Limiting the maximum I_p
- Disruptions
 - Eddy and halo currents
 - Toroidal asymmetries and kink mode radial excursion
- Limiter heat loads

Координация идет по темам:

[Diagnostics](#)

[Energetic Particle Physics](#)

[Integrated Operations Scenarios](#)

[MHD, Disruptions & Control](#)

[Pedestal & Edge Physics](#)

[Scrape-Off-Layer & Divertor](#)

[Transport & Confinement](#)

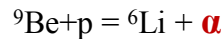
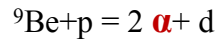
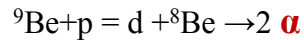
Например, опасными явлениями являются срыв тока и выход ускоренных электронов на стенку камеры. Для смягчения последствий предлагается напуск газа или пеллет-инжекция. Но при этом необходимо иметь детекторы, которые обеспечат идентификацию предвестников и быструю систему управления. И т.д.

Россия - ИТЭРу

Проводятся исследования, направленные на решение проблем ИТЭР.

«Evidence of ${}^9\text{Be}+p$ Nuclear Reactions During $2\omega_{\text{CH}}$ and Hydrogen Minority ICRH in JET-ILW Hydrogen and Deuterium Plasmas»

A.V. Krasilnikov, V.Kiptily, E.Lercheb, D.Van Eester

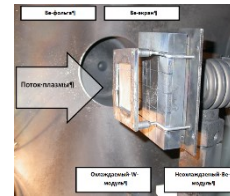


- На токамаке JET подтверждено с хорошей достоверностью возникновение термоядерных α - частиц
- Это значит, на ИТЭР возможно начать их изучение с 2-й плазмы (L-моды) !

Расчеты в поддержку ИТЭР

- Оптимизация базовых сценариев разряда
- Разработка методов магнитного и кинетического управления плазмой
- Моделирование МГД устойчивости плазмы (ELM, NTM, RWM, AE etc.)
- Физика энергичных частиц включая убегающие электроны
- Нестационарные фазы разряда
- Моделирование срывов разряда и способов смягчения их последствий
- Интегрированное моделирование разрядов ИТЭР

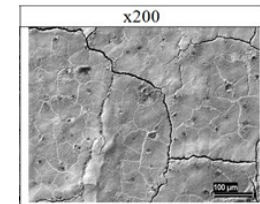
Для изучения влияния ИТЭР-подобных ELM на эрозию бериллиевой первой стенки была создана уникальная плазменная пушка Be-КСТУ (ТРИНИТИ/ВНИИНМ).



По контракту с ИТЭР

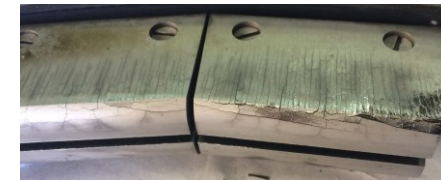
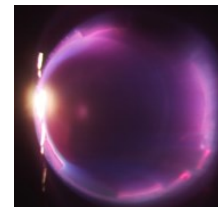


До 1 МВт/м²



Растрескивание Be образца

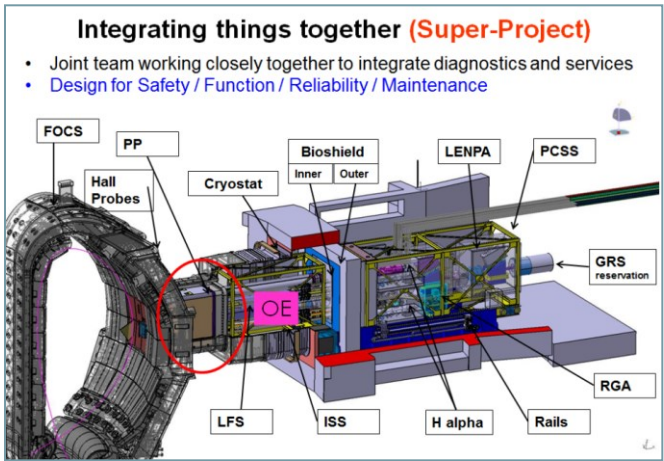
На токамаке Т-10 был найден режим с сильным нагревом (больше 2000 C^0) W пластин на внутренней части кругового лимитера. Расчетная мощность превышала 10 МВт/м^2 (ИТЭР-подобная), квазистационар (100 мсек), в условиях плазмы токамака.



Растрескивание W пластин, наряду с мощным дугообразованием.

Институт Ядерной Физики им. И.В.Будкера СО РАН

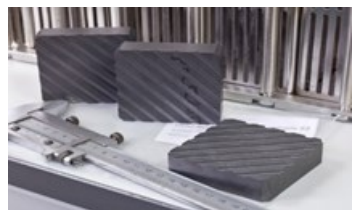
- Интеграция диагностик в Порт-плаги



Создан цифровой анализатор сигналов для одноканального макета системы регистрации ВНК ИТЭР, позволяющий проводить потоковую обработку данных на частоте **500 МГц** и формировать аппаратные спектры в режиме реального времени с дискретностью 10 мс.



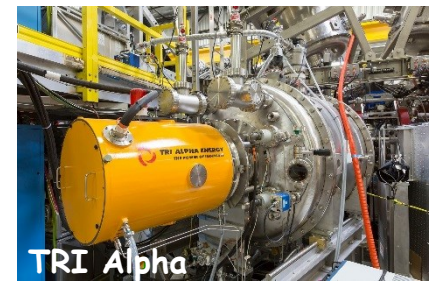
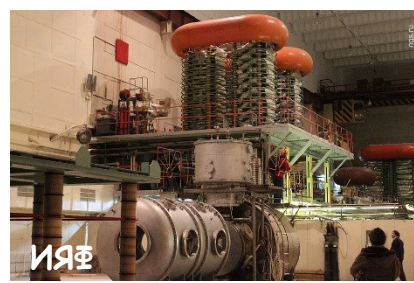
- Проводятся нейтронные расчеты и изготавливается нейтронная защита.



B₄C брикеты для нейтронной защиты

Для компании **Tri Alpha Energy** (США) ИЯФ создал мощный источник нейтральных частиц для нагрева плазмы:

- мощность в нейтралах - **10 МВт** (водород, 15 кэВ)
- источник отрицательных ионов
- ширина пучка 10 см



ИТЭР рассматривает вопрос о передаче изготовления нагревного инжектора нейтралов от европейских организаций ИЯФ СО РАН

Участие в форумах, организуемых ИТЭР.



Традиционная задача Форума – обеспечить переговорную площадку для представителей промышленности, научных центров, национальных Агентств ИТЭР и Международной организации ИТЭР с целью развития сотрудничества и налаживания деловых партнёрств.

Выработка стратегии развития



Исламская Республика Иран. **Визит в Тегеран** Ген. Директора ИТЭР в ответ на иранское предложение по участию в проекте как «Ассоциированный участник»

В 80 - 90-х годах ОФТТ ИАЭ им.И.В.Курчатова построил токамак, с вытянутым плазменным сечением и дивертором и осуществлял научное руководство исследованиям по физике плазмы.



ИТЭР - «локомотив прогресса».

При создании ИТЭР используются инновационные, порой уникальные решения и технологии. Уникально само взаимодействие людей с различной национальной идентичностью. Пример создания промышленности сверхпроводников по одним стандартам указывает на будущий технологический рывок в этой области.

Для России участие в проекте очень выгодно:

платим 9.8% от стоимости, получаем 100% информации

получаем - реальный токамак + виртуальный токамак (CAD-технологии)

развиваем наукоемкие производства в России

поднимаем уровень производства, внедряя прогрессивную Систему качества

участвуем в создании уникальной информационной сети (Fusion grid).

Россия **выполняет все свои обязательства** - как по поставкам оборудования, так и по финансовым вопросам.

Принятый Советом ИТЭР-19 подробный график до 2025 года, т.н. "**Master schedule**" позволяет контролировать процесс и делает устойчивым развитие проекта.

Два года реформ показали, что команда ИТЭР способна к обновлению и работе на больших скоростях. **А сами реформы усилили уверенность в создании ИТЭР в названные сроки.**