

Структура и функциональные возможности комплекса имитационного моделирования «Виртуальный токамак»

Ф.С. Зайцев^{1,2}, Д.Ю. Сычугов¹, А.Г. Шишкин¹,
В.Э. Лукаш³, Ю.В. Митришкин⁴, Р.Р. Хайрутдинов⁵,
С.В. Степанов¹, Е.П. Сучков¹

¹Московский государственный университет, факультет ВМК

²Научно-исследовательский институт системных исследований РАН

³Институт ядерного синтеза, РНЦ «Курчатовский Институт»

⁴Институт проблем управления РАН

⁵Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований

e-mail: zaitsev@cs.msu.su

Таруса, март 2011 г.

Содержание

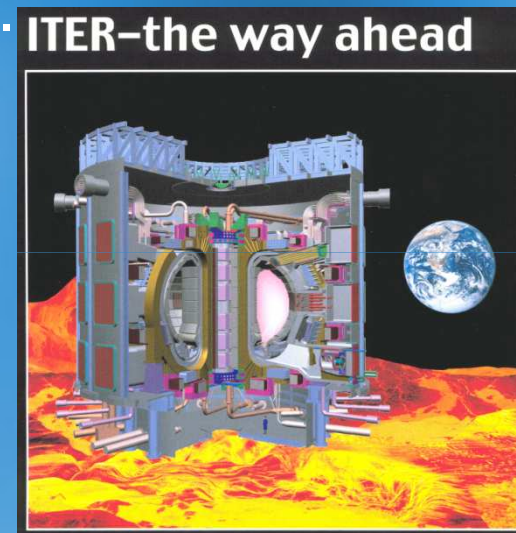
1. Введение.
2. Концепция системы «Виртуальный токамак».
3. Интерфейс пользователя.
4. Прикладное программное обеспечение.
5. Системное программное обеспечение.
6. Вычислительные ресурсы.
7. Заключение.

1. Введение

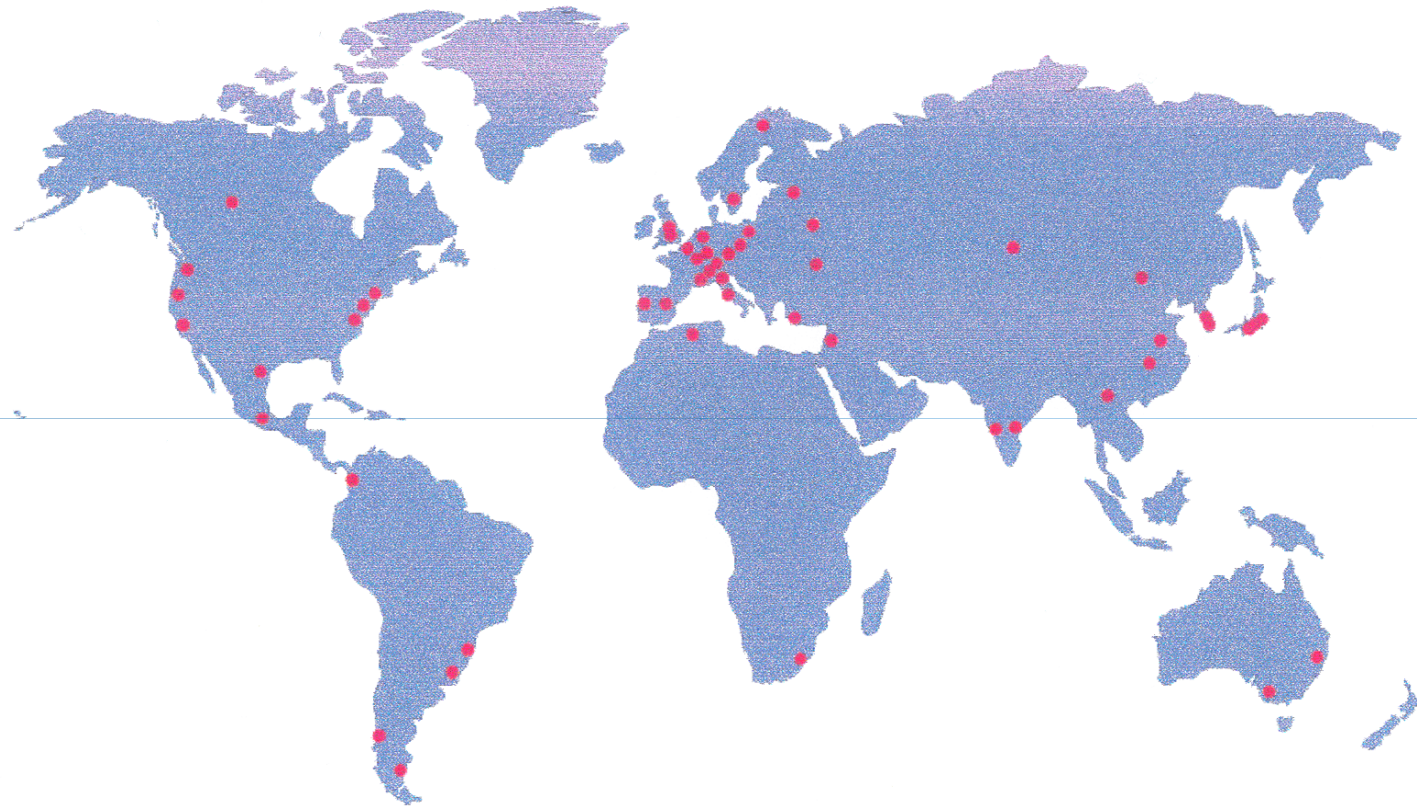
Исследования по управляемому термоядерному синтезу (УТС) направлены на решение одной из фундаментальных проблем человечества - создание безопасного, неисчерпаемого источника энергии. Идея – использование на Земле тех же процессов, что происходят на Солнце. Установки токамак.

Впервые УТС получен на JET в 1991 г. Во Франции строится ITER – прототип термоядерной электростанции – проект Европы, России, Японии, Кореи, Китая, Индии и США. Во всех развитых и многих развивающихся странах имеются национальные программы по УТС.

Федеральная целевая программа «Овладение энергией термоядерного синтеза, создание научно-технологической базы термоядерной энергетики в России на 2009-2015 гг.» До 30 млрд. руб. Помимо физических и инженерных, требуется решить множество математических, вычислительных, программистских и информационных задач, находящихся на переднем крае науки.



World Fusion Facilities



Fusion research is carried out in 47 member states of the IAEA for the potential environmental and security of supply benefits recognised recently in the Commission's Energy Green Paper and in the US National Energy Policy

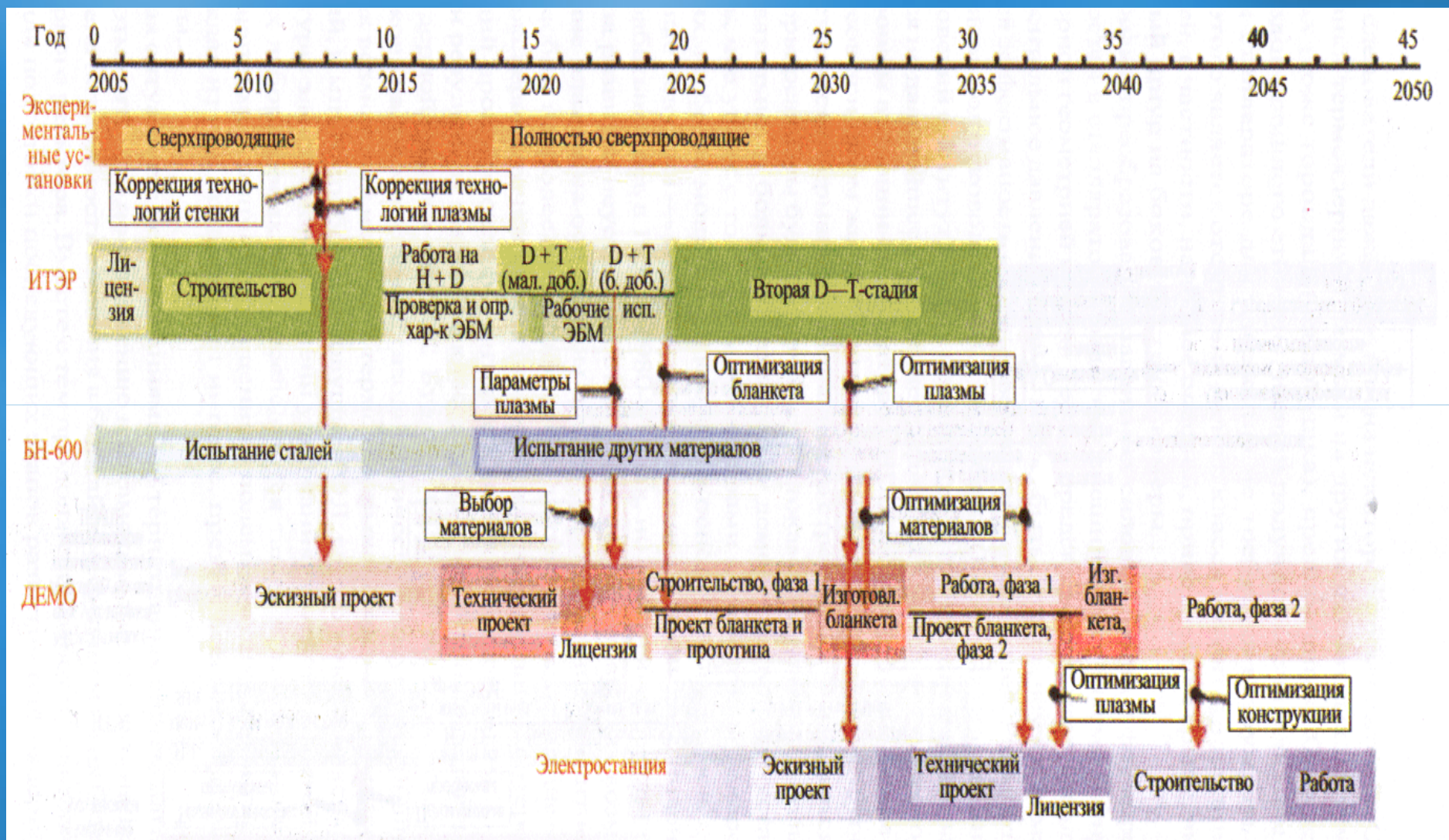
<http://www.fusion.org.uk>



UKAEA
Working with Europe

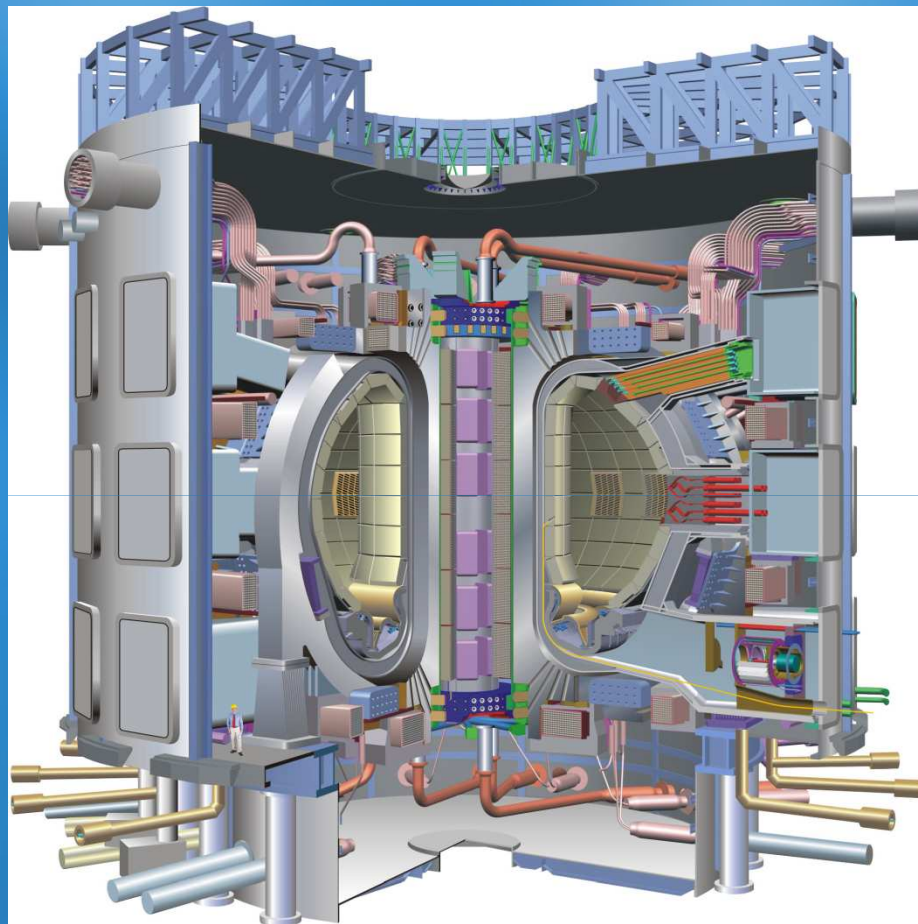


Российский проект развития термоядерной энергетики (Е.П. Велихов, В.П. Смирнов. Вестник РАН. 2006, т. 76, N 5, с. 419-426)

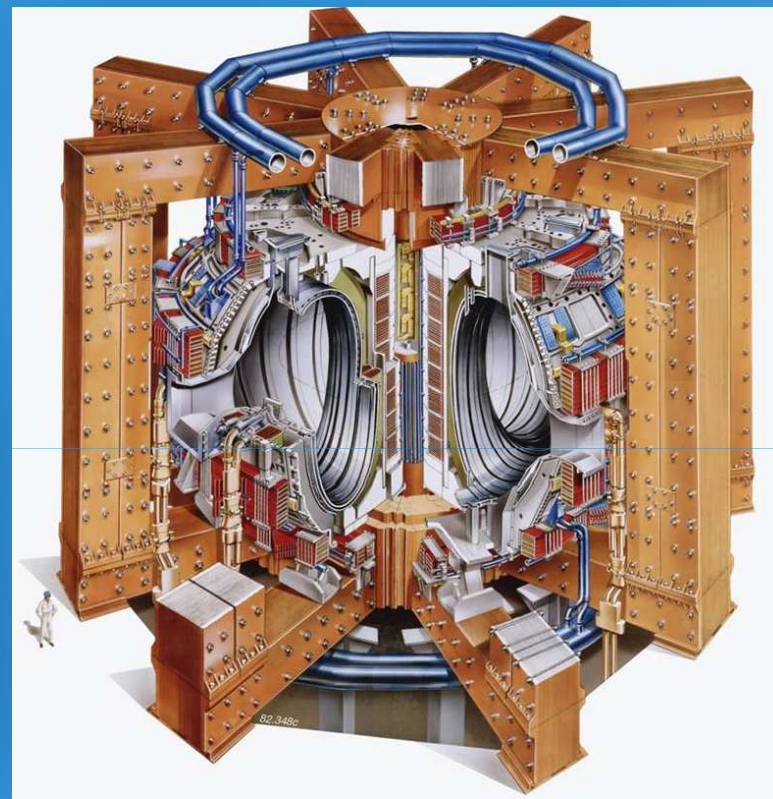


Несколько десятков килограммов D и T достаточно для обеспечения России энергией в течение года. (В.П. Смирнов. Поиск. 2005, N 50. с. 12)

Все установки токамак различны по конструкции и целям.

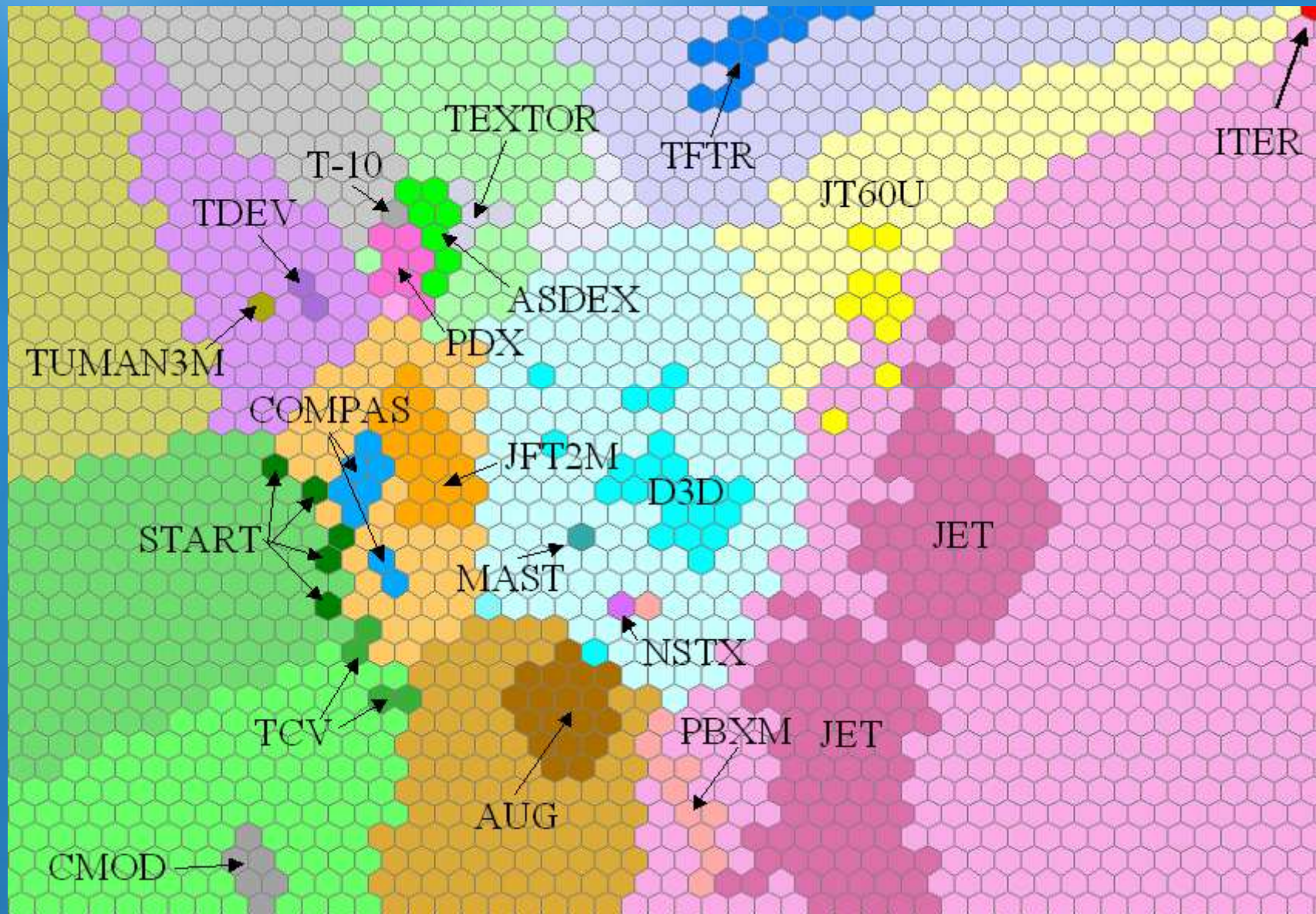


ITER – международный проект.
 $R \sim 6.5$ м, $B \sim 5.3$ Т, $I \sim 9$ МА.
Строится во Франции.



JET – крупнейший в мире.
 $R \sim 3$ м, $B \sim 2,5$ Т, $I \sim 2,5$ МА.
Евросоюз. Расположен в UK.

В каждой установке создаётся уникальная плазма.
Карта Кохонена, построенная по международной БД токамаков.



Как России развивать новые прорывные технологии УТС и продвигаться к термоядерным электростанциям в современном состоянии экономики?

В России новые установки не вводились в строй более 30 лет.

Россия, имеющая признанные теоретическую и вычислительную школы, может стать мировым лидером в имитационном моделировании токамака за счёт относительно небольших инвестиций.

Российскими учёными в данной области накоплен колоссальный объём математических методов, программного обеспечения, различных информационных и вычислительных подходов.

Важнейшей современной задачей является выделения наиболее продвинутых и адекватных подходов, их модернизация и стандартизация, объединение в единую среду имитационного моделирования, позволяющую использование программного обеспечения широким кругом специалистов, не занятых непосредственно в его разработке.

Созданные инновационные технологии могут быть внедрены в другие отрасли науки и в промышленность.

2. Концепция системы

Цели комплекса «Виртуальный токамак»:

- Разработка и применение **новых информационных технологий, математических методов и методов управления** многосвязными динамическими объектами для всестороннего изучения источника энергии, построенного на основе реакции термоядерного синтеза в системах с удержанием плазмы магнитным полем тороидальной конфигурации.
- Отработка методов и систем **диагностики** плазмы.
- Комплексное расчётное сопровождение проектов реакторов **ITER, Ignitor, DEMO** в части описания физических процессов в вакуумной камере, диагностики плазмы, создания систем управления.
- Проектирование **новых установок**.
- Проведение широкомасштабного поискового, предсказательного, оптимизационного и диагностического **вычислительного эксперимента** на **петафлопных** (10^{15}) и **эксафлопных** (10^{18}) супер-ЭВМ.
- Сопровождение и интерпретация **натурных экспериментов**.

Реализация проекта требует сосредоточение усилий специалистов высочайшей квалификации разного профиля, что можно достичь лишь в рамках **консорциума ведущих вузов и НИИ**.

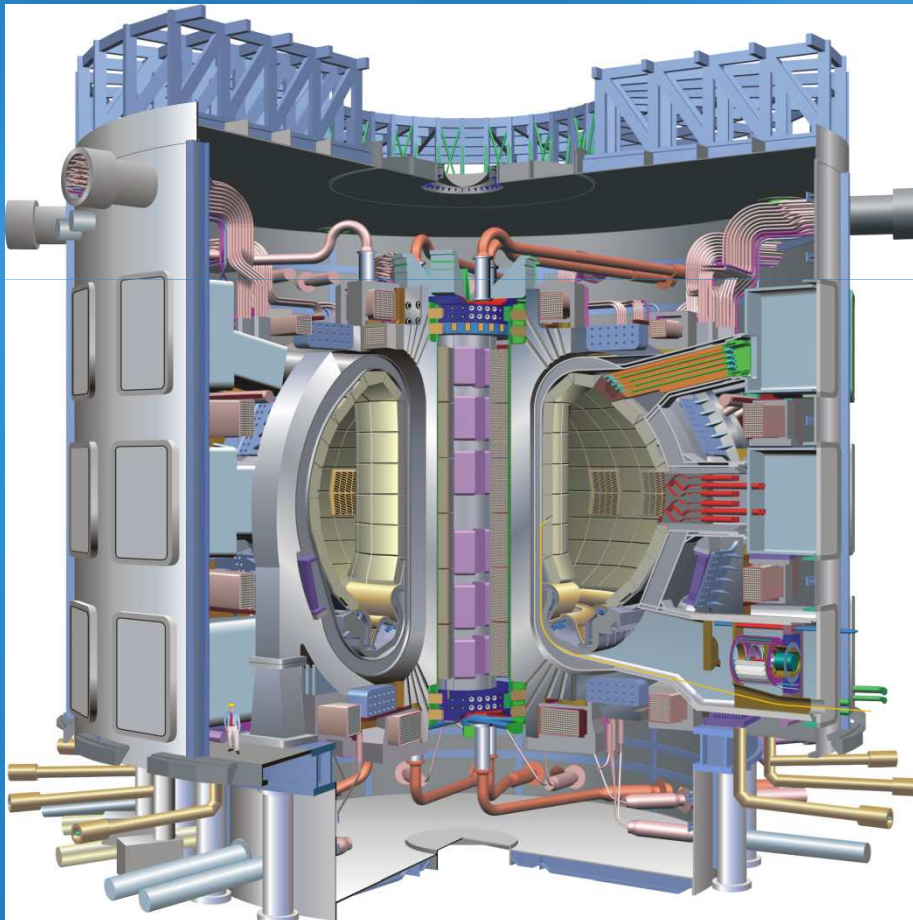
Основа реализации – создание технологии построения развитых **информационно-вычислительных порталов**, позволяющих в удалённом режиме через стандартный Web-браузер использовать локально хранящееся и поддерживаемое наукоёмкое программное обеспечение и системы имитационного моделирования с автоматическим распределением вычислительной нагрузки по сети компьютеров.

Недавно появившиеся технологии **Web-программирования**, **Internet-технологии** и **новые компьютерные протоколы** предоставляют базовые средства для создания таких порталов.

Современные реалистические модели плазмы, алгоритмы управления реального времени, предполагаемая вычислительная нагрузка портала требуют применения **супер-ЭВМ петафлопного и эксафлопного класса**. Использование такой техники особенно важно для детального трехмерного предсказательного моделирования термоядерных реакторов для проверки стратегий управления и устранения ситуаций, при которых возможно полное разрушение элементов конструкции.

Акцент на описание физических процессов в вакуумной камере, диагностику плазмы, создание систем управления плазмой.




В комплексе найдут отражение все основные составляющие токамака, моделей и систем управления плазмой:



- Конструкция: вакуумная камера, катушки тороидальных и полоидальных магнитных полей, соленоид, сердечник, пассивные элементы.
- Разнообразная диагностика плазмы.
- Системы магнитного и кинетического управления плазмой.
- Модели исполнительных устройств для систем управления плазмой.
- Системы дополнительного нагрева плазмы и генерации тока.
- Современные модели плазмы.
- Дивертор – отвод продуктов синтеза.
- Особенности конструкции внутренней стенки камеры.

Требования по использованию

- Основной способ работы пользователя с системой - через Интернет посредством стандартного Web-браузера.
- Пользователь не должен самостоятельно устанавливать и настраивать какое-либо специальное прикладное или системное программное обеспечение.
- Единообразная среда для запуска кодов, мониторинга вычислений и визуализации данных.
- Автоматическое распределение вычислительной нагрузки системы по сети компьютеров.
- Строгая синхронизация во времени последовательности выполнения различных кодов библиотеки системы.

Революционные этапы в развитии средств решения наукоёмких задач
Fortran (1950-е)  Системы разработки ПО (1980-е) 
ППП (1980-90-е)  Потребность (2000-е): **стандартный GUI для систем имитационного моделирования.**

Задача именно для специалистов по прикладному ПО УТС.
Важна для многих областей: XII межд. Семинар. Саров, октябрь 2010.

Структура информационно-вычислительного портала «Виртуальный токамак»



Библиотека прикладных кодов «Виртуальный токамак». Авторы кодов.

3. Интерфейс пользователя

1. Установка:

- ITER
- JET
- Новая установка.



2. Сценарий:

- Омический
- ВЧ-нагрев
- Новый сценарий



3. Разряд:

- № 001 от 10.10.2010
- № 002 от 11.10.2010
- Новый разряд



4. Прикладное ПО

Большой разброс характерных времен развития процессов и пространственных масштабов делает **невозможным создание единого кода**, который бы охватил все процессы. Различные специализированные коды объединяются в библиотеку с взаимосвязью. Время разработки одного кода - **от 5-7 лет**. Такая библиотека авторами построена: **FPP-3D, QUARK3D, DINA, SCoPE, ASTRA, TOKAMEQ, SDSS, NNTMM, CLUNAVT, VIP, FRe, SoXA, MAGDI, DDT, DaMa**.

- **МГД-равновесие** – состояние, при котором газокINETическое давление плазмы уравновешено силой Лоренца. Характерное время – от сотни миллисекунд на малых токамаках, до часа и более – на больших проектируемых.
- **Эволюция** – медленное изменение свойств плазмы так, что в каждый момент сохраняется МГД-равновесие. Характерное время – 1/100 - 1/1000 от длительности разряда, десятки миллисекунд и выше.
- **Транспорт** – эволюция с учетом нагрева плазмы, радиальных потоков тепла и частиц, выделения энергии и др. Характерное время – как в эволюции.
- **Кинетика** – эффекты термоядерного синтеза, нагрева плазмы и генерации тока инжекцией и ВЧ-волнами, потерь и источников частиц, тепловой нагрузки элементов конструкции. От сотен миллисекунд до часа и более.
- **МГД-устойчивость** – свойство МГД-равновесной плазмы быть устойчивой по отношению к малым возмущениям. От микро- до миллисекунд в зависимости от типа неустойчивости. Около 15 типов основных неустойчивостей.
- **Диагностика** – восстановление внутренних параметров плазмы по внешним измерениям. Обработка и анализ данных. Обработка в реальном времени.
- **Управление** – целенаправленное изменение параметров плазменного шнура.

5. Системное программное обеспечение

Максимальное применение **готовых пакетов**.

Использование **платформенно-независимого языка Java** для GUI.

- Операционная система **Linux**.
- Эмуляция других ОС: **Wine, VMware**.
- Удалённый графический доступ: протокол **VNC** (Virtual Network computing).
- Система компьютерной безопасности: **SELinux**.
- Система управления Интернет-порталом: **Drupal**.
- Распределение вычислений по сети компьютеров: **TADISYS** (Task Distribution System, Java). **GRID**.
- Мониторинг и визуализация: **SCoPEShell** (Java), **Gnuplot**.
- Интерфейс пользователя библиотеки кодов «Виртуальный токамак», **Java**.
- Генератор расчётных программ из текстов набора модулей: **UMB** (Universal Meta Builder, Java).

Основные компоненты системного ПО имеются.

<http://leader.cs.msu.su>

6. Вычислительные ресурсы

Архитектура вычислительной системы

Internet users

Portal server.
Powerful, Intel-based

Super-computer 1

Super-computer 2

Data storage

MPI-cluster

Оценка ресурсов ВС:

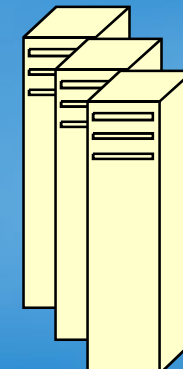
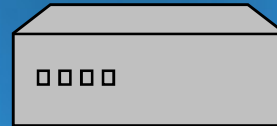
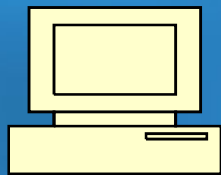
Flops: до 10^{18} - 10^{30} и выше
(метод ϵ -сетей, 10^{10} - 10^{20} вариантов)

RAM: от 1 терабайт

HD: от 10 терабайт

Network: Интернет, Fast Ethernet и выше

Метод ϵ -сетей
и квантовый
компьютер?



6. Заключение.

Представлены структура и функциональные возможности комплекса «Виртуальный токамак»

- Разработка и конкретная реализация **прорывных технологий**: информационно-вычислительные порталы, управление сложными динамическими объектами, супер- вычисления, имитационное моделирование. Актуальность **подготовки** кадров для решения прикладных задач, задач имитационного моделирования на **супер-ЭВМ петафлопного и эксафлопного класса**.
- **Экономический эффект** - экономия значительных средств проектов ITER и Ignitor за счёт существенного уменьшения затрат на производство уникального технического оборудования и систем управления. Полномасштабная имитация эксперимента позволит существенно сэкономить дорогое экспериментальное время, которое на действующих крупных токамаках оценивается в 100 тыс. USD в день, а на проектируемом токамаке ITER - в 1 млн. USD в день.
- **Необходимый этап** на пути к **эффективному** переходу к термоядерной энергетике – решению одной из основных гуманитарных проблем человечества.
- Комплекс находится **в стадии реализации**, которая в условиях недофинансирования идёт достаточно медленно. Оценка бюджета и сроков проекта: от 30 млн. руб. в год, 3-5 лет. (<http://leader.cs.msu.su>)
- **Применение** технологий, алгоритмов управления и ПО **в других отраслях науки**. (Управление в: накоплением энергии в суперпроводящих катушках, переработке нефти, выращивании монокристаллов, лазерном преобразовании наноструктур в медицине).

Разработки авторов **поддерживались грантами** Президента РФ, РФФИ с 1996 г. по настоящее время, Правительства Москвы, совместными проектами России с Великобританией, США, ФРГ, Швейцарией и другими странами, группой FARG Ltd.