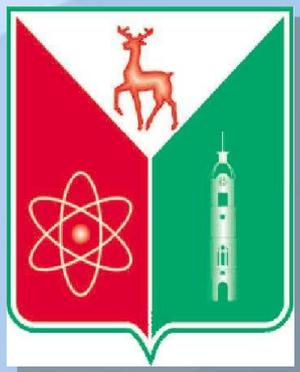


ВНИИЭО

РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР

# Российский федеральный ядерный центр



**Саров**  
**2014**



# Институт теоретической и математической физики



Основан в ноябре 1999 года на основе теоретических и математического отделений.

ИТМФ - центр теоретической физики и прикладной математики, оснащенный самой современной вычислительной техникой.





# Основные задачи ИТМФ в условиях действия ДВЗЯИ

- **Поддержание надежности и безопасности ядерного арсенала РФ.**
- **Модернизация ЯЗ и ЯБП в интересах дальнейшего повышения их боеготовности, надежности и безопасности.**
- **Разработка новых образцов ЯЗ и ЯБП , в том числе на новых физических принципах.**
- **Работы по созданию неядерных боеприпасов (НБП).**
- **Расчетно-теоретическое сопровождение работ на экспериментальных стендах и установках ВНИИЭФ.**

Структура математического сектора в соответствии с утверждённым штатным расписанием на 1952-1953 г.г.



Численность  
математического  
отделения в 1952-1953  
г.г. вместе с  
руководством

56 чел.

Отдел интегральных  
уравнений  
В.С.Владимиров

13 чел.

Отдел дифференциальных  
уравнений  
А.А.Бунатян

11 чел.

Отдел уравнений  
газовой динамики  
И.А.Жернак  
(И.А.Адамская)

14 чел.

Отдел математической  
физики

5 чел.

Отдел  
программирования  
С.А.Авраменко

5 чел.

Отдел ремонта счётных  
машин

5 чел.

1950-1960 гг

# Технологии разработки и модернизации ядерных зарядов

## Технология с использованием полномасштабных испытаний

Создание модели ЯЗ и расчетно-теоретическое обоснование его характеристик

Конструкторская отработка модели

Экспериментальная отработка

Проведение полномасштабных испытаний

Создание опытного образца ядерного заряда

**СДАЧА НА  
ВООРУЖЕНИЕ**

## Новая Технология без полномасштабных испытаний

Расчетно-теоретическое обоснование характеристик ЯЗ

Создание модели ЯЗ и расчетно-теоретическое обоснование его характеристик

Конструкторская отработка модели

Экспериментальная отработка: газодинамические, лазерные и электрофизические эксперименты

Формирование окончательного облика ЯЗ

Неядерно-взрывные эксперименты



## Технология разработки ЯЗ и обоснования надежности боезапаса без полномасштабных испытаний

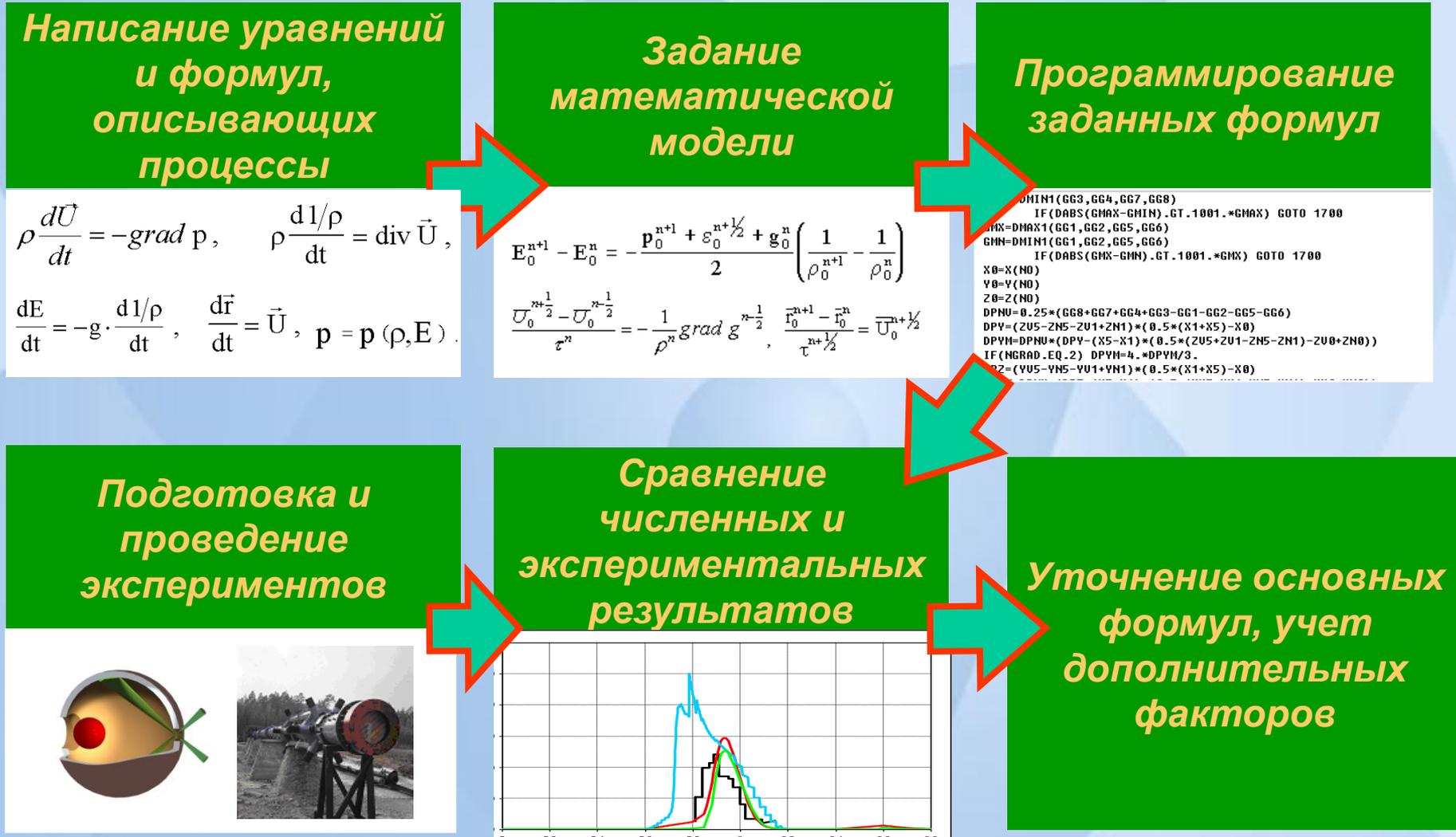


**Без натурального испытания основные характеристики ЯЗ (надежность, мощность и поражающие факторы) могут быть получены только путём компьютерного моделирования.**

# Комплексное развитие



# Разработка физико-математических моделей, создание комплексов программ



**Написание уравнений и формул, описывающих процессы**

$$\rho \frac{d\vec{U}}{dt} = -grad p, \quad \rho \frac{d1/\rho}{dt} = div \vec{U},$$

$$\frac{dE}{dt} = -g \cdot \frac{d1/\rho}{dt}, \quad \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{U}, \quad p = p(\rho, E).$$

**Задание математической модели**

$$E_0^{n+1} - E_0^n = -\frac{p_0^{n+1} + \varepsilon_0^{n+1/2} + g_0^n}{2} \left( \frac{1}{\rho_0^{n+1}} - \frac{1}{\rho_0^n} \right)$$

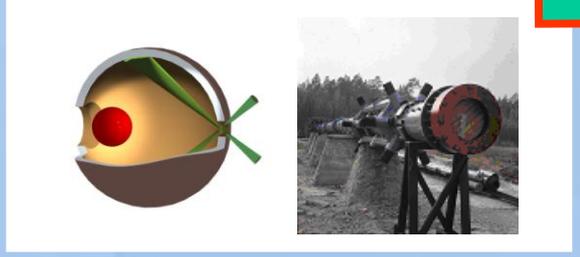
$$\frac{\sigma_0^{n+1/2} - \sigma_0^{n-1/2}}{\tau^n} = -\frac{1}{\rho^n} grad g^{n-1/2}, \quad \frac{\vec{r}_0^{n+1} - \vec{r}_0^n}{\tau^{n+1/2}} = \vec{U}_0^{n+1/2}$$

**Программирование заданных формул**

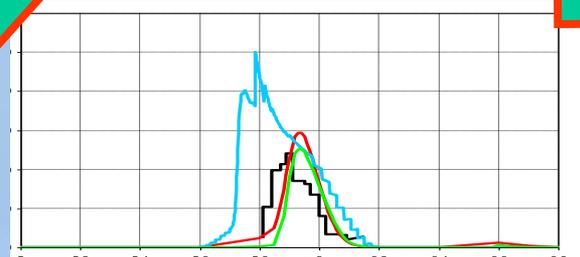
```

DMIN1(GG3,GG4,GG7,GG8)
IF(DABS(GMAX-GMIN).GT.1001.*GMAX) GOTO 1700
IMX=DMAX1(GG1,GG2,GG5,GG6)
GMN=DMIN1(GG1,GG2,GG5,GG6)
IF(DABS(GMX-GMN).GT.1001.*GMX) GOTO 1700
X0=X(N0)
Y0=Y(N0)
Z0=Z(N0)
DPNU=0.25*(GG8+GG7+GG4+GG3-GG1-GG2-GG5-GG6)
DPV=(ZU5-ZN5-ZU1+ZN1)*(0.5*(X1+X5)-X0)
DPVM=DPNU*(DPV-(X5-X1))*(0.5*(ZU5+ZU1-ZN5-ZN1)-ZU0+ZN0)
IF(NGRAD.EQ.2) DPVM=4.*DPVM/3.
PZ=(YU5-YN5-YU1+YN1)*(0.5*(X1+X5)-X0)
  
```

**Подготовка и проведение экспериментов**



**Сравнение численных и экспериментальных результатов**



**Уточнение основных формул, учет дополнительных факторов**

Area for refining formulas and accounting for additional factors.

# Компетенции РФЯЦ-ВНИИЭФ в области проектирования и создания супер-ЭВМ

## НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ

### Развитие ключевых аппаратно-программных компонент супер-ЭВМ и ее инфраструктуры:

- ✓ архитектура супер-ЭВМ
- ✓ инженерные системы
- ✓ универсальное системное программное обеспечение
- ✓ инфраструктура супер-ЭВМ (архивные системы, визуализационные кластеры, вычислительные сети для доступа к ресурсам супер-ЭВМ, средства защиты информации)
- ✓ интегрированные комплексные решения по архитектуре и составу вычислительных центров
- ✓ отечественные компоненты супер-ЭВМ

### Проектирование и создание базового ряда супер-ЭВМ:



Сверхмощные супер-ЭВМ

Вычислительный центр РФЯЦ-ВНИИЭФ для решения задач ЯОК и стратегических отраслей промышленности

Вычислительные системы среднего класса

Отраслевые и региональные центры



Компактные супер-ЭВМ

Массовый продукт для предприятий промышленности, организаций науки и образования

## Сверхмощные супер-ЭВМ разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ

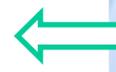
### Назначение высокопроизводительного вычислительного комплекса:

- Решение задач ГОЗ и оборонных отраслей;
- Решение задач предсказательного моделирования в интересах гражданских отраслей промышленности: атомной энергетики, авиастроения, автомобилестроения, ракетно-космической отрасли и др.



Супер-ЭВМ  
разработки  
РФЯЦ-ВНИИЭФ

Дата создания	Место в России (на момент создания)
01.2001	1
10.2004	1
12.2006	1
12.2007	1
03.2011	1
05.2013	1



- ✓ Передовые технические характеристики – **мировой уровень**
- ✓ Уровень загрузки – **95%**
- ✓ **Значительная часть** вычислительных ресурсов – для решения наукоемких задач стратегических отраслей промышленности

**ВЦКП – 320 Тфопс**

**Вычислительный Центр Коллективного Пользования –**

Обеспечение вычислительными ресурсами гражданских отраслей промышленности

## Создано универсальное СПО для всего базового ряда супер-ЭВМ

Параллельная  
операционная среда

Параллельная система  
визуализации и графического  
анализа больших объемов  
данных задач математического  
моделирования

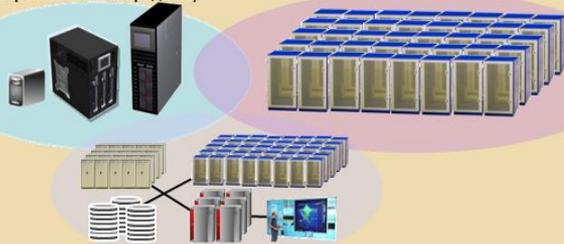
Система управления  
ресурсами,  
мониторинга и  
диагностики

Иерархическая система  
хранения  
и высокоскоростного доступа к  
данным сверхбольшого объема

### Область применения

Компактные суперЭВМ  
(универсальные и гибридные)

Супер-ЭВМ петафлопного класса



Неоднородные многомашинные комплексы

- ✓ **90%** компонент разработано самостоятельно или адаптировано в РФЯЦ-ВНИИЭФ на основе открытых кодов
- ✓ **18** свидетельств о государственной регистрации
- ✓ Решением Государственной комиссии СПО РФЯЦ-ВНИИЭФ принято, как базовое для применения на предприятиях ГК «Росатом» и других отраслей
- ✓ Оснащено более **100** супер-ЭВМ различного более чем на **20** предприятиях

- ✓ 2014 год – **сертификация** защищенной операционной системы для высокопроизводительных вычислительных систем во ФСТЭК России для применения в АС класса защищенности 1Б-С

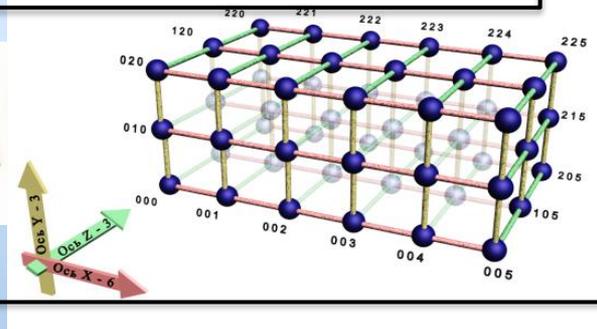
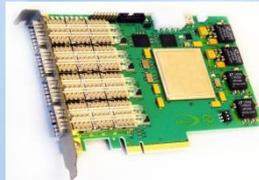
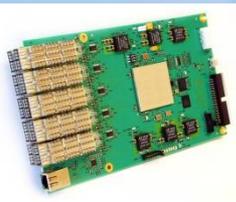
### Стратегическая цель:

Разработка отечественного конкурентоспособного полнофункционального системного программного обеспечения для эффективного использования ресурсов супер-ЭВМ и многомашинных вычислительных комплексов

## Отечественная система межпроцессорных обменов (СМПО) – ключевая аппаратная компонента супер-ЭВМ

**Впервые в России** разработан и изготовлен высокопроизводительный коммутатор и интерфейс связи с вычислительным модулем в одном кристалле:

- ✓ разработана отечественная коммуникационная среда - СМПО с пиковой производительностью линка **40 Гбит/с**;
- ✓ создана полнофункциональная библиотека межпроцессорных обменов в стандарте MPI;
- ✓ на базе СМПО создана экспериментальная вычислительная система (24 вычислительных узла), производительностью **3,5 Тфлопс**.



### Перспективы:

- ✓ уменьшение коммуникационной задержки и увеличение пропускной способности за счет оптимизация логических блоков;
- ✓ создание экспериментальной вычислительной системы на базе СМПО производительностью 10 ТФлопс;
- ✓ подготовка проекта к переводу на СБИС.

**ЦЕЛЬ:**

Ликвидация зависимости от импорта компонент, критичных для создания супер-ЭВМ

# Проектирование и создание супер-ЭВМ по заказам внешних организаций

## Компактные супер-ЭВМ РФЯЦ-ВНИИЭФ



2010г. АПК-1: 1,1 Тфлопс  
 2011г. АПК-3: 3 Тфлопс  
 АПК-1М: 1,1 Тфлопс  
 2012г. АПК-5: 5 Тфлопс  
 2013г. АПК-1М2: 1,3 Тфлопс



**Новый продукт** в России, не имеет отечественных аналогов, технико-экономические характеристики – **мировой уровень**, высокая **конкурентоспособность** на рынке

**Внедрение КС-ЭВМ:**  
около 100 КС-ЭВМ поставлены на предприятия



Создана защищенная многофункциональная КС-ЭВМ «Шторм» для изделия «Стужа-РН» (ВКО МО РФ). Обеспечены требования по защите информации и устойчивость к внешним факторам (пыль, жидкости, вибрации и удары, температура)

## Супер-ЭВМ среднего класса:

### 2013 год:

ФКП НИЦ РКП
ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ»
ВНИИА им. Н.Л. Духова
ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»
ОАО «ГИ ВНИПИЭТ»

### 2014 год:

ОАО «ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка»	
ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей»	МО РФ (НЦУО)
НТ Рубин	ВМФ России
ОАО «ЦКО»	ФГУП «ЦНИИХМ»

## Выездное заседание Комиссии при Президенте РФ по вопросам модернизации и технологического развития экономики

г.Саров, 22 июля 2009  
"РФЯЦ-ВНИИЭФ"



**СОСТАВ**  
Комиссия при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России

Медведев Д.А.	- Президент Российской Федерации
Собинин С.С.	- заместитель Председателя аппарата Президента Российской Федерации
Сурков В.Ю.	- первый заместитель Администрации Президента Российской Федерации
Дворкович А.В.	- заместитель Председателя Комиссии
Белусов А.Р.	- директор Департамента модернизации и технологического развития экономики Российской Федерации
Граф Г.О.	- заместитель Председателя Комиссии
Иванов С.Б.	- заместитель Председателя Комиссии

В целях содействия устойчивому технологическому развитию экономики России, совершенствования государственного управления программными модернизациями приоритетных сфер экономики и осуществления в ней:

1. Обратить Комиссию при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России.
2. Утвердить прилагаемое: Положение о Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России;
3. Настоящий Указ вступает в силу со дня его подписания.

УТВЕРЖДЕНО  
Указом Президента Российской Федерации от 20 мая 2009 г. № 579

### ПОЛОЖЕНИЕ о Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России

В Положении определяется порядок деятельности Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России (далее - Комиссия) в своей деятельности руководствуется Иской Федерацией, федеральными законами, указами Президента Российской Федерации, а также:

задачами Комиссии являются:

- вопросы, касающиеся выработки политики в области модернизации и инноваций экономики России;
- деятельности федеральных органов власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, а также экспертного сообщества в области технологического развития экономики России;
- приоритетных направлений, форм и методов стимулирования в целях модернизации и технологического развития экономики России.

4. Комиссия для решения возложенных на нее основных задач имеет право:

- а) запрашивать и получать в установленном порядке необходимые материалы от федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, а также от организаций;

протокол №2 от 22 июля 2009 г., утвержденный  
Президентом Российской Федерации  
12.08.2009 № Пр-2129

**Поставлена задача по разработке отечественных технологий проектирования и имитационного моделирования для супер-ЭВМ на основе базового программного обеспечения**

# Отечественные пакеты программ для имитационного моделирования на супер-ЭВМ

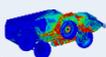
✓ **Неотъемлемый компонент** проектирования и разработки высокотехнологичных изделий

✓ **Научеёмкий продукт**, не имеющий отечественных аналогов

✓ **Основа для устранения зависимости** от зарубежных разработок (100% отечественная разработка)



ЛОГОС-CFD



ЛОГОС-Прочность (ЛЭГАК-ДК)



ДАНКО+ГЕПАРД



НИМФА

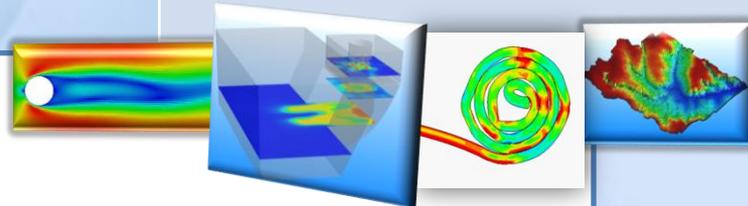
## Моделируемые процессы:

- аэро-, гидро-, газодинамика
- теплоперенос
- турбулентное перемешивание
- прочность
- деформация
- разрушение
- многофазная фильтрация и др.

## Области применения:

- Авиастроение
- Атомная энергетика
- Автомобилестроение
- Ракетно-космическая отрасль
- Нефтегазовая отрасль
- Нефтехимическая отрасль
- Строительная отрасль и др.

- 2012 год: **базовые версии**
- уровень распараллеливания – до **100 тыс.** ядер (превосходят ряд лучших мировых аналогов)
- число сеточных элементов – до **1 млрд.** (превосходят ряд лучших мировых аналогов)
- верификация, валидация, апробация на предприятиях – более **12000** тестовых и практических расчетов
- оснащено более **200** рабочих мест на **22** предприятиях
- **сертификация** ГОСТ Р, приняты Межведомственной Комиссией



**Пример применения суперкомпьютерных технологий  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОАО «Компания Сухой», ООО «СИНЦ»**

**Обоснование безопасности жесткой посадки пассажирского самолета SuperJet-100**



**Традиционные технологии**

✓ **Невозможность проведения  
натурных испытаний  
(стоимость эксперимента =  
стоимость самолета ~ 900 млн.руб.)**

✓ **Человеческая жизнь бесценна**



**Новые технологии**

**Полномасштабная компьютерная модель с учетом  
всех конструктивных элементов**

**Высокий уровень детализации: 12 млн. ячеек  
суперЭВМ петафлопсного класса: 3 600 ядер**

**Проведен полный цикл расчетных исследований  
по анализу безопасности конструкции  
современного пассажирского лайнера в условиях  
посадки без шасси**

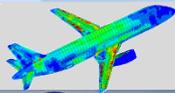
**Получен сертификат безопасности  
«Международного авиационного комитета» без  
проведения эксперимента**

**Виртуальная модель - комплекс взаимосвязанных систем расчётов, виртуальных испытаний и моделирования процессов разработки изделий**

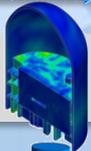
Пакеты программ для имитационного моделирования на супер-ЭВМ, адаптированные под специфику задач отраслей

Детальные компьютерные модели реальных изделий автомобильной техники и их отдельных элементов

Базы данных геометрий, свойств материалов, постановок и результатов расчетов



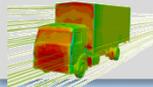
• виртуальный самолет/двигатель  
(Компания Сухой и др.)



• виртуальная АЭС с ВВЭР  
(СПБАЭП, ГИДРОПРЕСС и др.)



• виртуальная корабельная ЯЭУ  
(ОКБМ Африкантов и др.)



• виртуальный автомобиль  
(КАМАЗ)



• виртуальные модели изделий РКТ  
(НИЦ РКП и др.)

- 2012 год: **пилотные версии**
- **подтверждение эффективности** на конкретных образцах перспективных изделий : SSJ-100, Су-35, УРБК, КАМАЗ-5490, 5308, 43269, АЭС-2006, ВВЭР ТОИ, ЖРД РД0146, РН «Русь-М», «Союз», АПЛ проектов «Ясень», «Борей», РУ РИТМ-200 для ледокола нового поколения
- **приняты** Межведомственной Комиссией и введены в **опытную эксплуатацию** на выделенных предприятиях
- **уникальные** продукты межотраслевой кооперации, **недоступные** на рынке

**Предприятия – основные участники разработки**



# Примеры практического применения разработанных суперкомпьютерных технологий

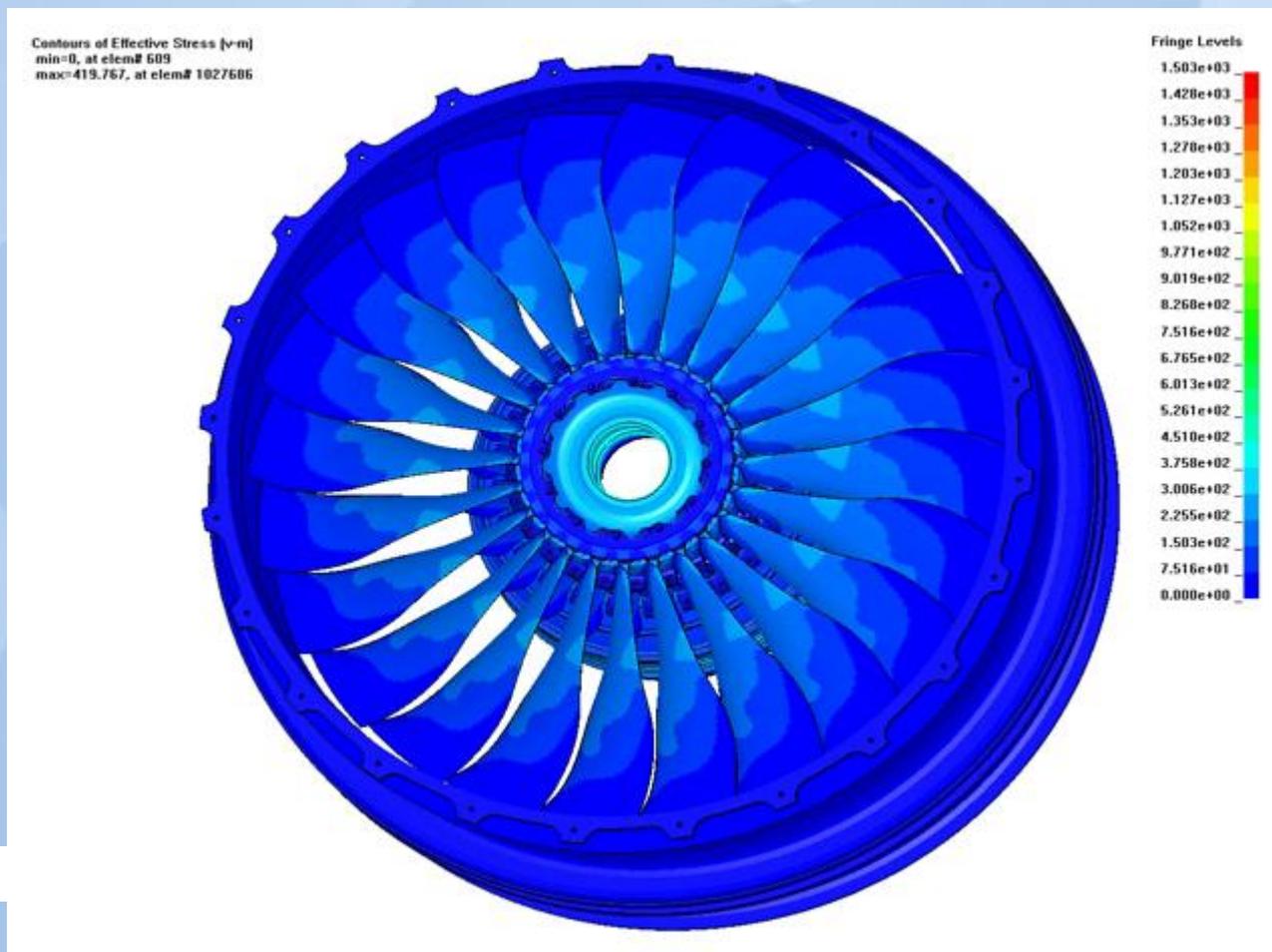
## Расчет оптимального расположения автоматического средства поражения в присутствии носителя (Су-30)

Цель решения задачи: сократить количество экспериментальных пусков ракет

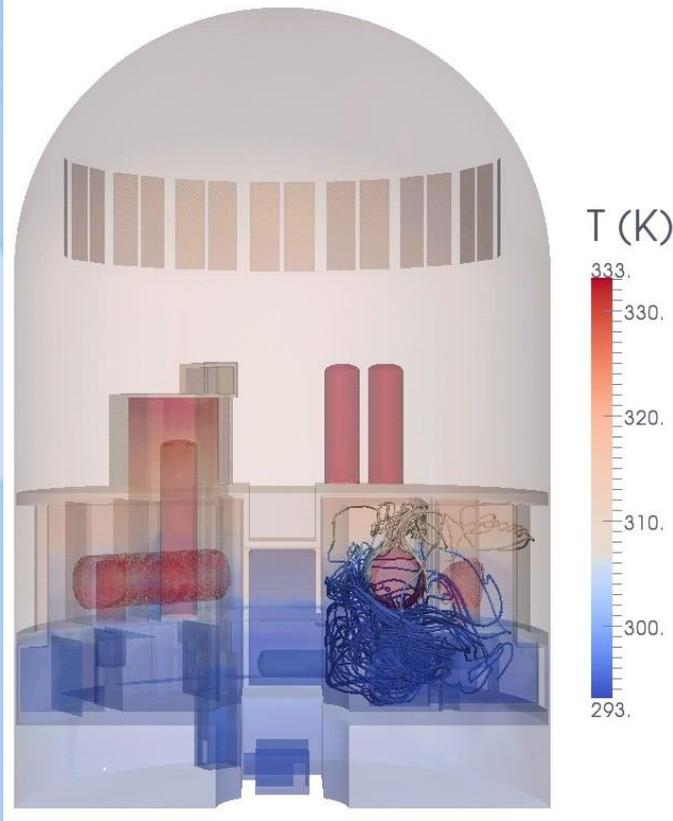


## Определение прочности корпуса двигателя SAM-146 при обрыве лопатки во время сертификации

**Цель:** анализ безопасности конструкции, получен Сертификат безопасности «Международного  
Авиационного Комитета» без натуральных испытаний

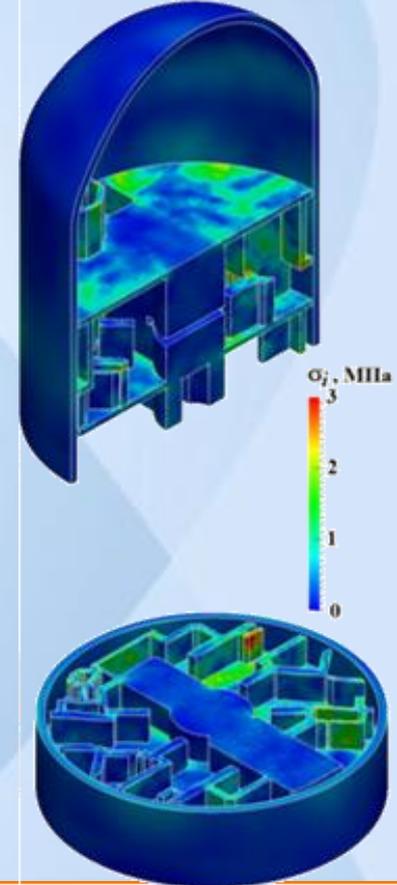
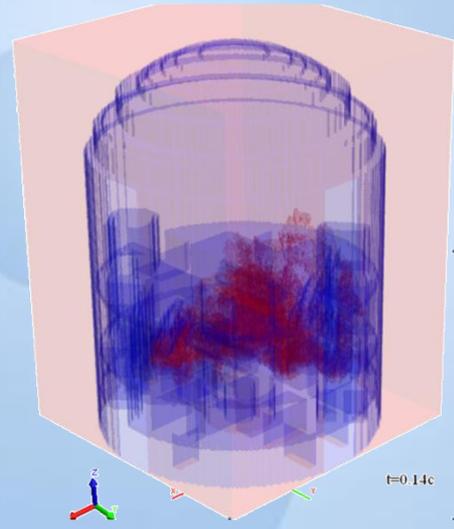


# Моделирование контейментного помещения с помощью пакетов программ ЛОГОС и ДАНКО+ГЕПАРД (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОАО «СПбАЭП»)



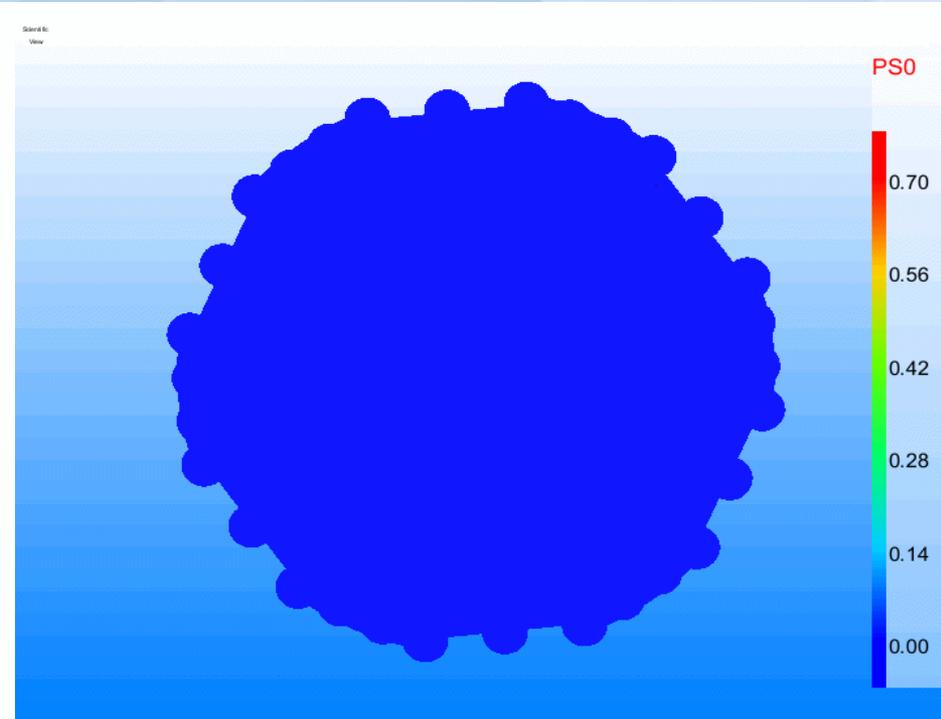
- моделирование работы системы вентиляции;
- определение нагрузок на строительные конструкции, возникающих при горении водородосодержащих смесей, образующихся в помещениях контеймента при тяжелых запроектных авариях
- расчетное обоснование надежности сооружения

Закрытие «белых» пятен при проектном обосновании



## Обоснование безопасности различных ситуаций при несимметричной работе оборудования РУ ВВЭР

### Моделирование перемешивания теплоносителя в напорной камере РУ ВВЭР

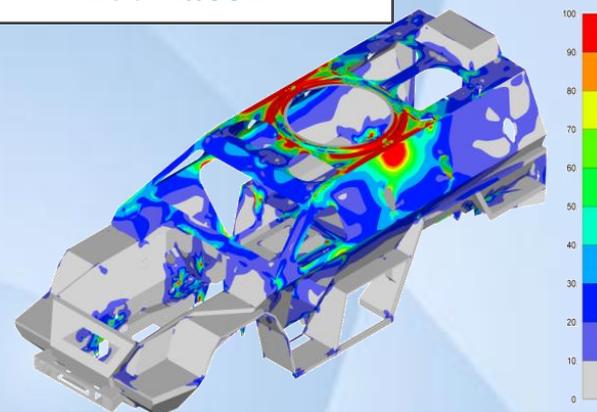


# Пример применения суперкомпьютерных технологий ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОАО «КАМАЗ»



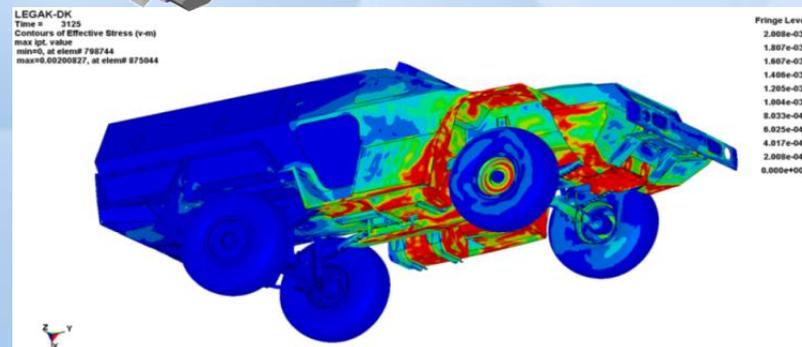
Расчетная сетка:	Число процессоров:	Время расчета:
5 млн. ячеек	1000	~100 часов

Расчет на ПЭВМ  
**НЕВОЗМОЖЕН**



## Переход от описательного моделирования к предсказательному:

- максимальная детализация без упрощений
- учет всех физических процессов (контакт, трение, тепло, ...)
- прямое пространственно-временное моделирование исследуемого процесса

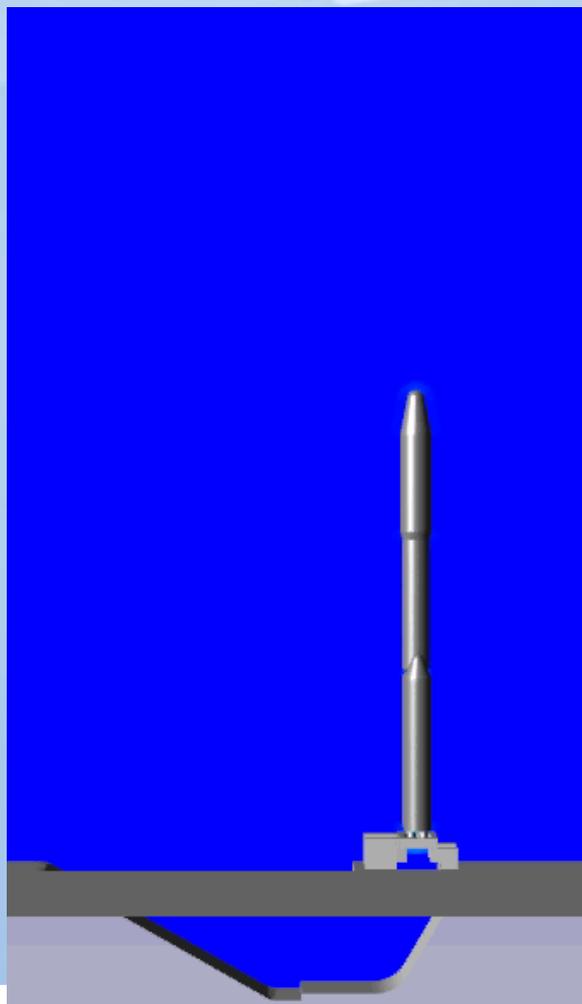
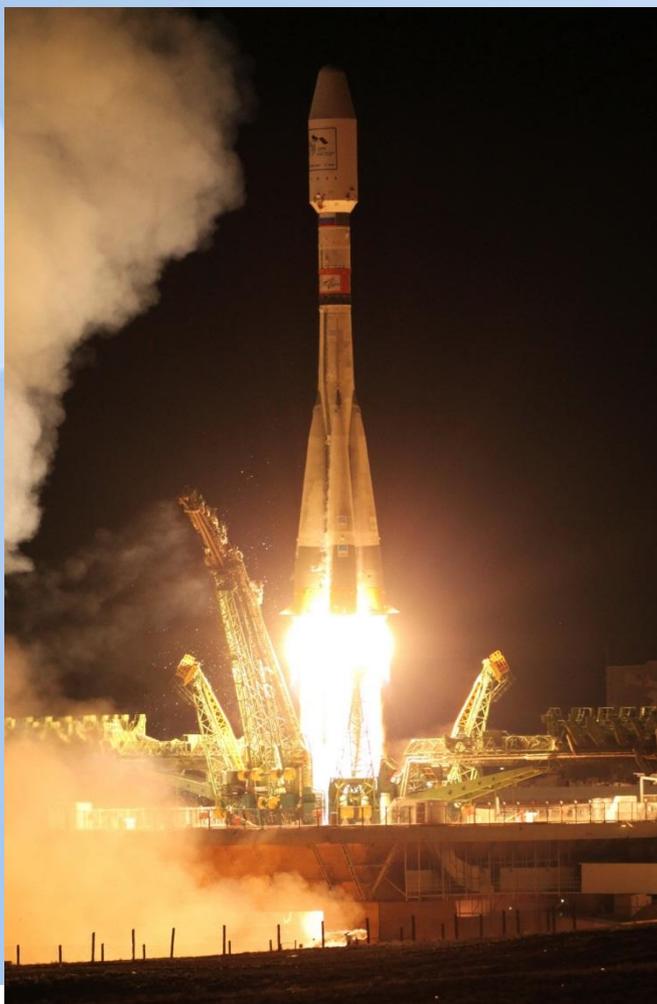


Цель решения задачи: оптимизация конструкции автомобиля на основе расчетных исследований для обеспечения безопасности экипажа при подрыве на mine

Проведенные взрывные испытания автомобиля подтвердили оптимальность и надежность конструкторских решений, выработанных на основе расчетного анализа

## Анализ взаимодействия струй ЖРД на стартовый комплекс (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФКП «НИЦ РКП»)

**Цель:** Моделирование старта ракетносителя со стартового комплекса космодрома «Восточный». Выбор оптимальной конструкции для стартового комплекса



Расчетная сетка:

20 млн. ячеек

Число  
процессоров:

600

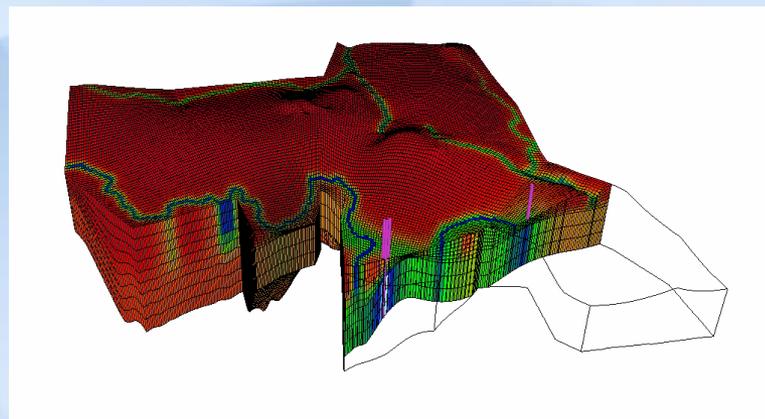
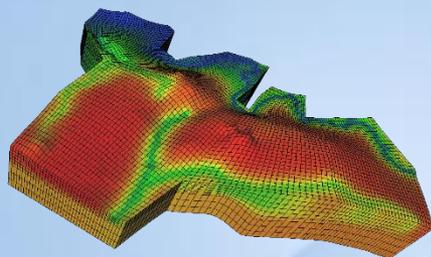
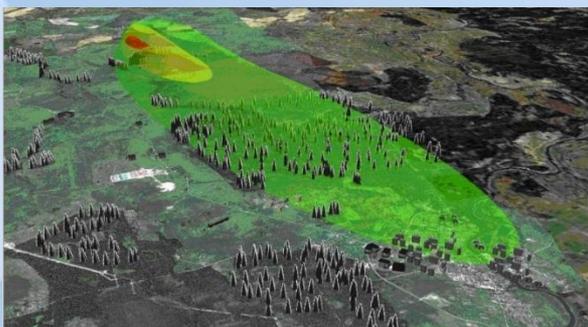
Время расчета:

~60 часов

## Результаты применения суперкомпьютерных технологий для решения задач экологии

### Площадка Балтийской АЭС

Цель: обоснование безопасности строительства водозабора подземных вод в долине р.Неман для Балтийской АЭС



### Илецкое месторождение каменной соли

Цель: выработка рекомендаций по безопасному режиму эксплуатации Илецкого месторождения каменной соли (промышленная и экологическая безопасность)

