



НИУ СПбГУ

**Экспертный семинар
под руководством И.Р. Агамирзяна
“Инжиниринг как важнейший стимул
экономического развития”
11 апреля 2013 г., Москва,
Российская венчурная компания**

А.И. Боровков,
проректор по перспективным проектам СПбГУ
член Экспертного совета “Промышленный и технологический форсайт
Российской Федерации на долгосрочную перспективу” Минпромторга России,
член РГ НИИ “Создание национальной системы компетенций и квалификаций” (НСКК)

**Компьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering, CAE)
– основа создания глобально конкурентоспособной
продукции нового поколения**



Выдающиеся ученые и деятели, связанные с СПбГПУ



Витте С.Ю.



Менделеев Д.И.



Кирпичев В.Л.



Гагарин А.Г.



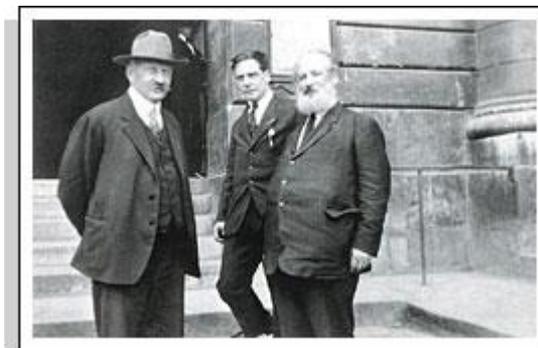
Мещерский И.В.



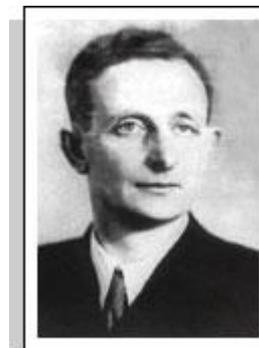
Иоффе А.Ф.



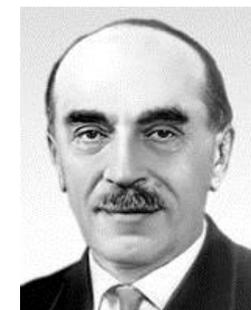
Тимошенко С.П.



Иоффе А.Ф., Капица П.А.,
Крылов А.Н. (1-й Президиум ФМФ)



Харитон Ю.Б.



Семенов Н.Н.



Поликарпов Н.Н. Антонов О.К.



Бериев Г.М.



Галеркин Б.Г.



Кошкин М.И.



Духов Н.Л.



Иоффе А.Ф. Тимошенко С.П.

1911 год – два одноклассника, впоследствии академики: физик **А.Ф. Иоффе**, родоначальник советской школы физики, и механик **С.П. Тимошенко**, “отец-основатель современной прикладной механики в США”, разработали учебную программу и составили проект создания **первого в мировой практике инженерно-исследовательского факультета – физико-механического факультета (Физ-Меха)** в Петербургском Политехническом институте.



Первый Президиум Физ-Меха (1919 г.): А.Ф. Иоффе, П.Л. Капица, А.Н. Крылов

Физ-Мех, созданный в 1919 году академиком А.Ф. Иоффе, не имел аналогов в мире и обогатил российское политехническое образование “**системой Физ-Меха**”, в рамках которой “**...было более обширное, а главное – более углубленное изучение математики, теоретической механики и физики, чтобы выпускать не рядовых инженеров, а ведущих деятелей в прикладной науке**” – вспоминал выдающийся математик, механик и кораблестроитель академик **А.Н. Крылов**.



Стратегические цели и задачи современной высокотехнологичной промышленности

(в условиях глобализации
и гиперконкуренции)

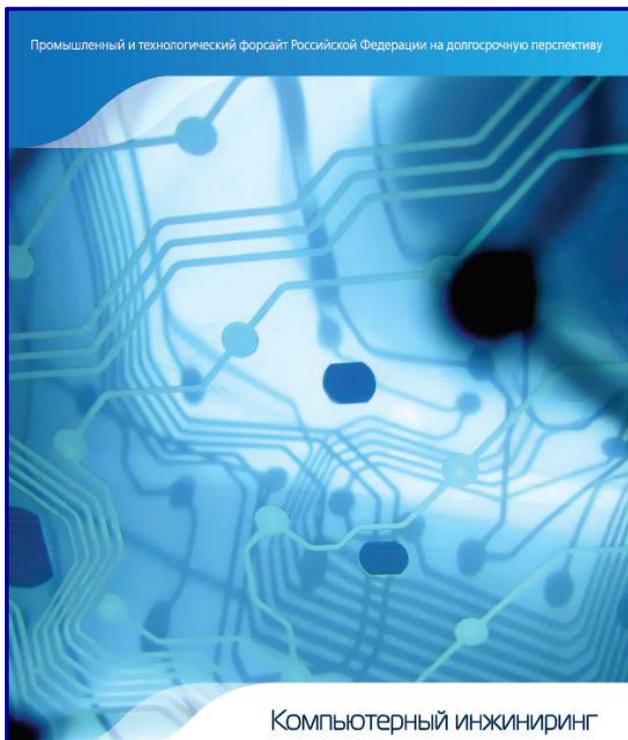


**Создание
в кратчайшие сроки
глобально конкурентоспособной
и востребованной
продукции нового поколения**





Зеленые книги, подготовленные в рамках проекта "Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации"



Доступны в pdf-формате на сайте www.FEA.ru



Москва – Санкт-Петербург
 2012



Москва – Санкт-Петербург
 2012



Engineering is the **science, skill, and applying scientific**, economic, social, and **practical knowledge**, in order to **design** and also **build structures, machines, devices, systems, materials and processes.**

The American Engineers' Council for Professional Development (ECPD) has defined “**Engineering**” as: The creative application of scientific principles to **design or develop structures, machines, apparatus, or manufacturing processes, or to forecast their behavior under specific operating conditions; ...**

CAD / CAM / **CAE** / PDM / PLM / ... / MES / ... / ERP



Инжиниринг – это область человеческой интеллектуальной деятельности и процесс, задачей которого является **проектирование**, создание, сооружение, использование, поддержка, переработка или утилизация **концепции, модели, продукта, процесса, системы или технологии**

для **решения конкретных технических задач**.

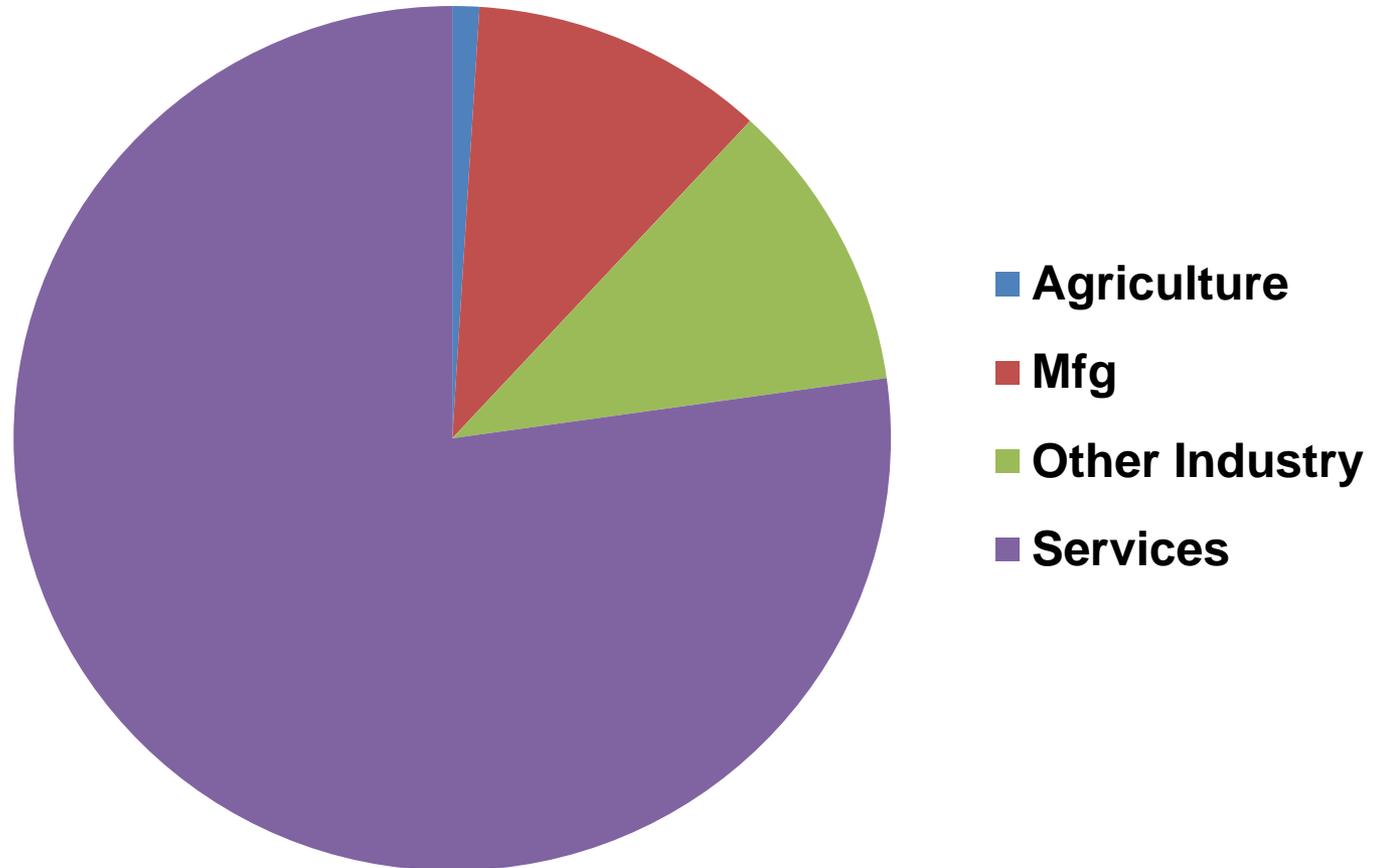
Ключевые термины:

- **“проектирование”**, потому что именно эта область деятельности является уникальным фундаментом инженерного дела,
- **“решение конкретных технических задач”**, потому что инжиниринг является, в первую очередь, прикладной деятельностью.

SuperComputer Simulation-Based Design & Engineering

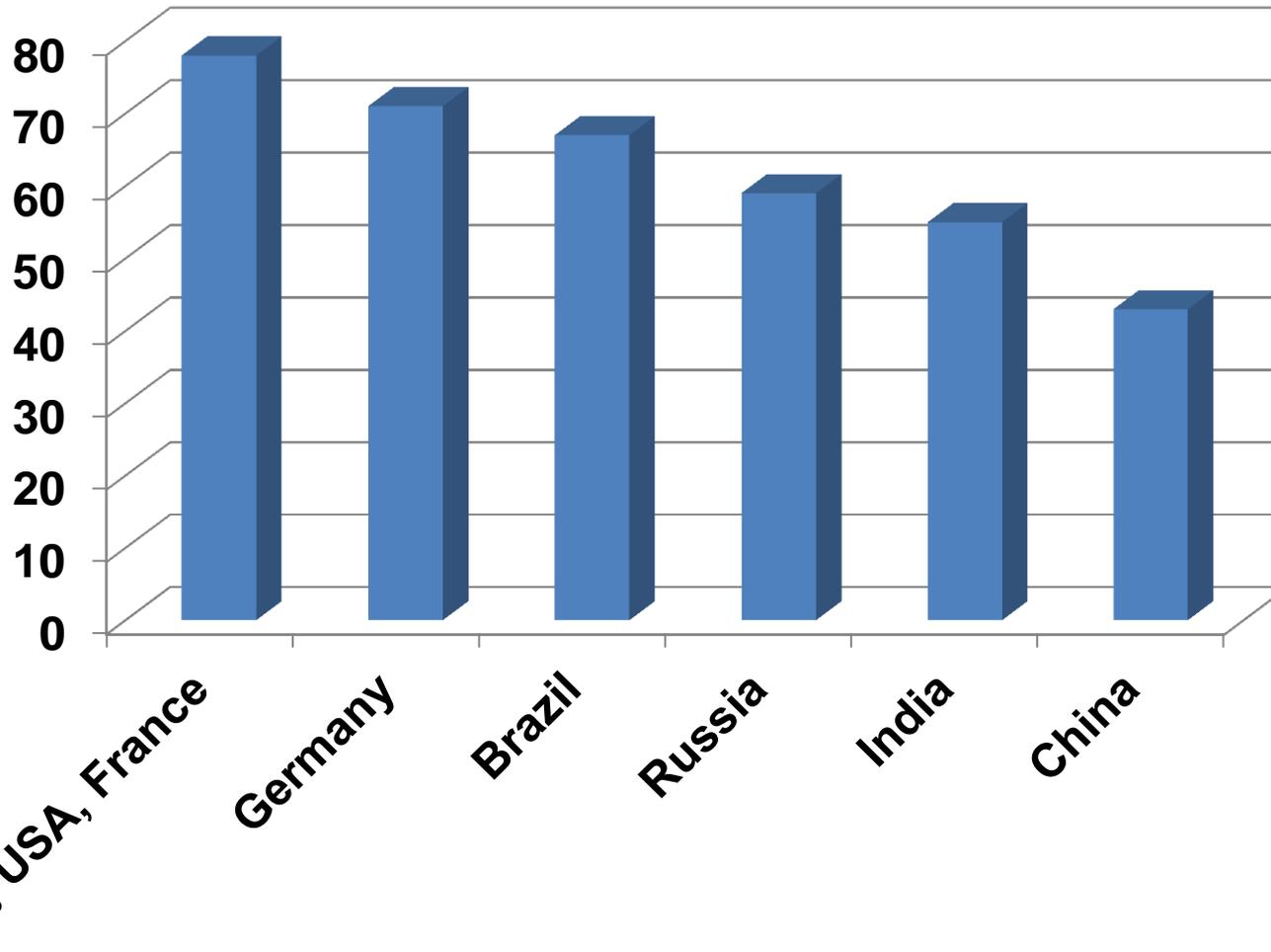
Royal Academy of Engineering. Jobs and growth: the importance of **ENGINEERING SKILLS** to the UK economy

(UK Economics Structure, 2010 г.)





Service Sector in Economics



■ Service Sector in Economics



Fields of Engineering / Области Инжиниринга

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Aerospace engineering | 13. Materials engineering |
| 2. Applied engineering | 14. Mechanical engineering |
| 3. Biological engineering | 15. Military engineering |
| 4. Civil engineering | 16. Mechatronical engineering |
| 5. Chemical engineering | 17. Nuclear engineering |
| 6. Computer engineering | 18. Offshore engineering |
| 7. Electrical & Electronics engineering | 19. Optical engineering |
| 8. Engineering Science | 20. Petroleum engineering |
| 9. Financial engineering | 21. Geo engineering |
| 10. Food engineering | 22. Software engineering |
| 11. Industrial & Manufacturing engineering | 23. Sport engineering |
| 12. Marine engineering | 24. Systems engineering |
| | 25. Textile engineering |

...



Mechanical Engineering

1. **Aerospace** engineering
2. **Automotive** engineering
3. **Composite structures engineering**
4. **Earthquake** engineering
5. **Marine** engineering
6. **Mechatronics**
7. **Nanoengineering**
8. **Nuclear** engineering
9. **Power** engineering
10. **Structural** engineering
- ...

Materials Engineering

1. **Ceramics** engineering
2. **Composite Materials**
3. **Metal Forming**
4. **Nanomaterials**
5. **Plastics** engineering
6. **Polymer** engineering
7. **Welding** engineering
- ...



Software Engineering

1. **Computer-Aided Engineering**
2. **CAD/CAM/CAE/PDM/PLM/.../MES/ERP/...**



**Автомобилестроение, Авиа-, Судо-, Машино-строение,
 Космос, ТЭК, Атомная энергетика, Транспорт, Строительство, ...**

**Надотраслевой Мультидисциплинарный
 Суперкомпьютерный Инжиниринг &
 (Материалы & Конструкции) * Оптимизация**

M_1

M_0 - мировой уровень

CAE

$$P^* = T1_{BMW} - KH_1 - T2_{Boeing} - KH_2 - T3 - ...$$

$$M_1 - M_0 > L_2 - L_1$$

"Неопределенности": " $\infty \cdot 0$ " \rightarrow " $0 \cdot \infty$ "

L_2

L_1

Финальный уровень инжиниринговой услуги...

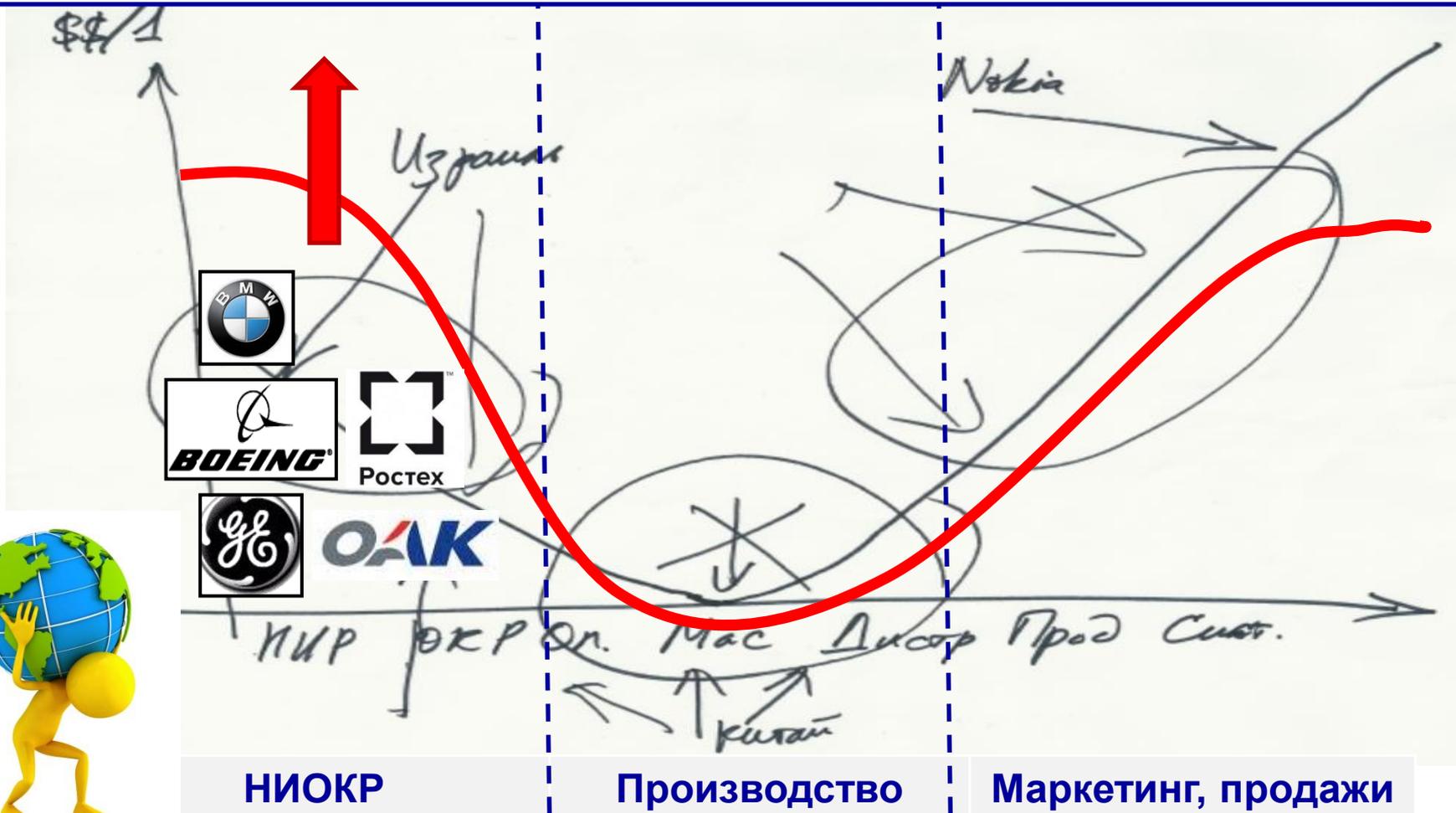
**EPCM = Engineering - Procurement - Construction - Management
 (инжиниринг, закупки, строительство, управление проектами)**



О маржинальности разных этапов жизненного цикла продукции

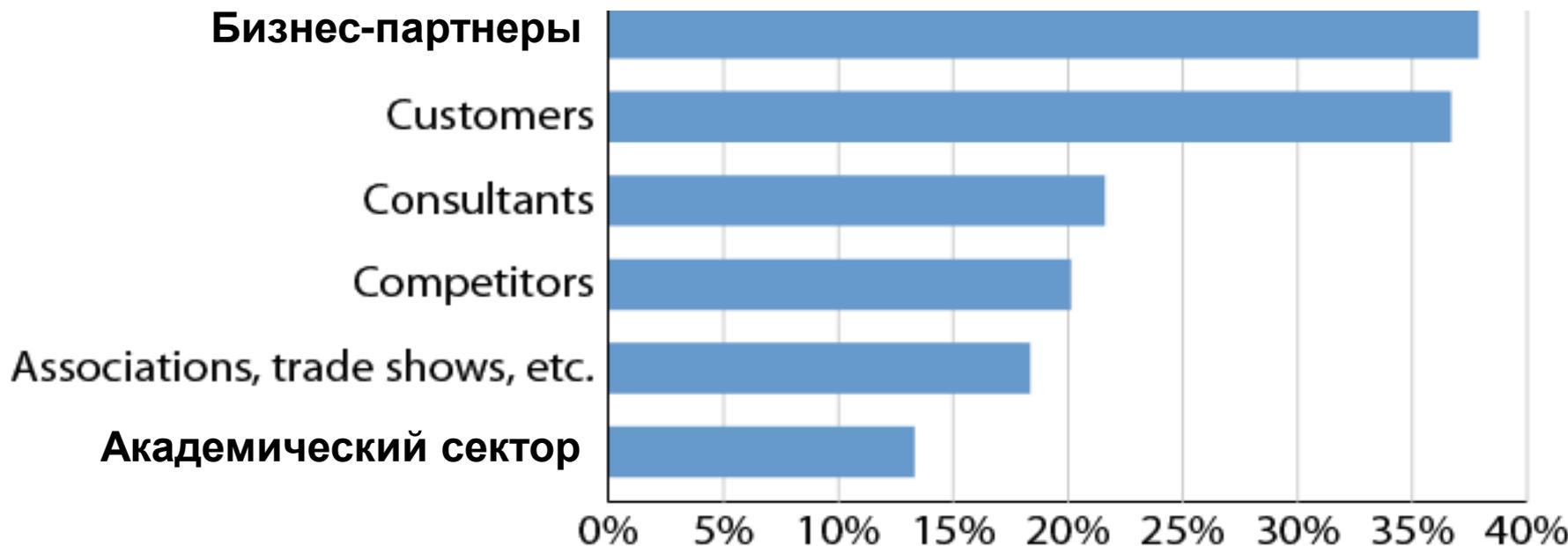
И.Р. Агамирзян:

... "маржинальность на всех этапах кардинально отличается. Самая высокая вначале (НИОКР), она стремится к нулю в области массового производства и вновь растет в области дистрибуции и маркетинга"...

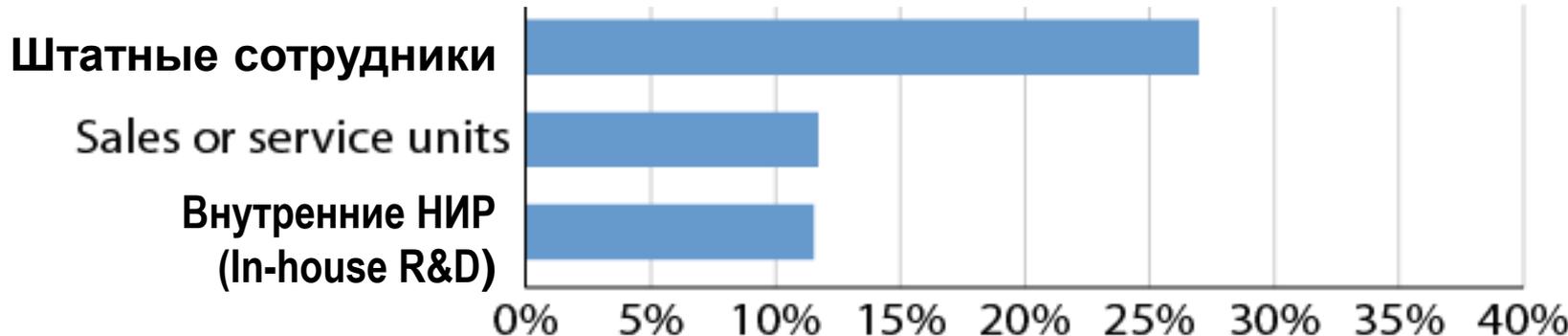




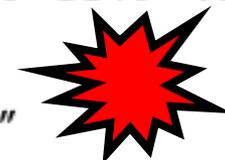
ВНЕШНИЕ источники инноваций



ВНУТРЕННИЕ источники инноваций



Base: 765 global CEOs





Basic & Applied Sciences vs Science-Intensive Innovations



© A. Borovkov, 2004



**“Компетенции =
 ЗНАНИЯ В ДЕЙСТВИИ”**

**COOperation &
 comPETION =
 COOPETION**



Организация R&D в Германии

Research orientation

Technical prototypes
 Pilot plants

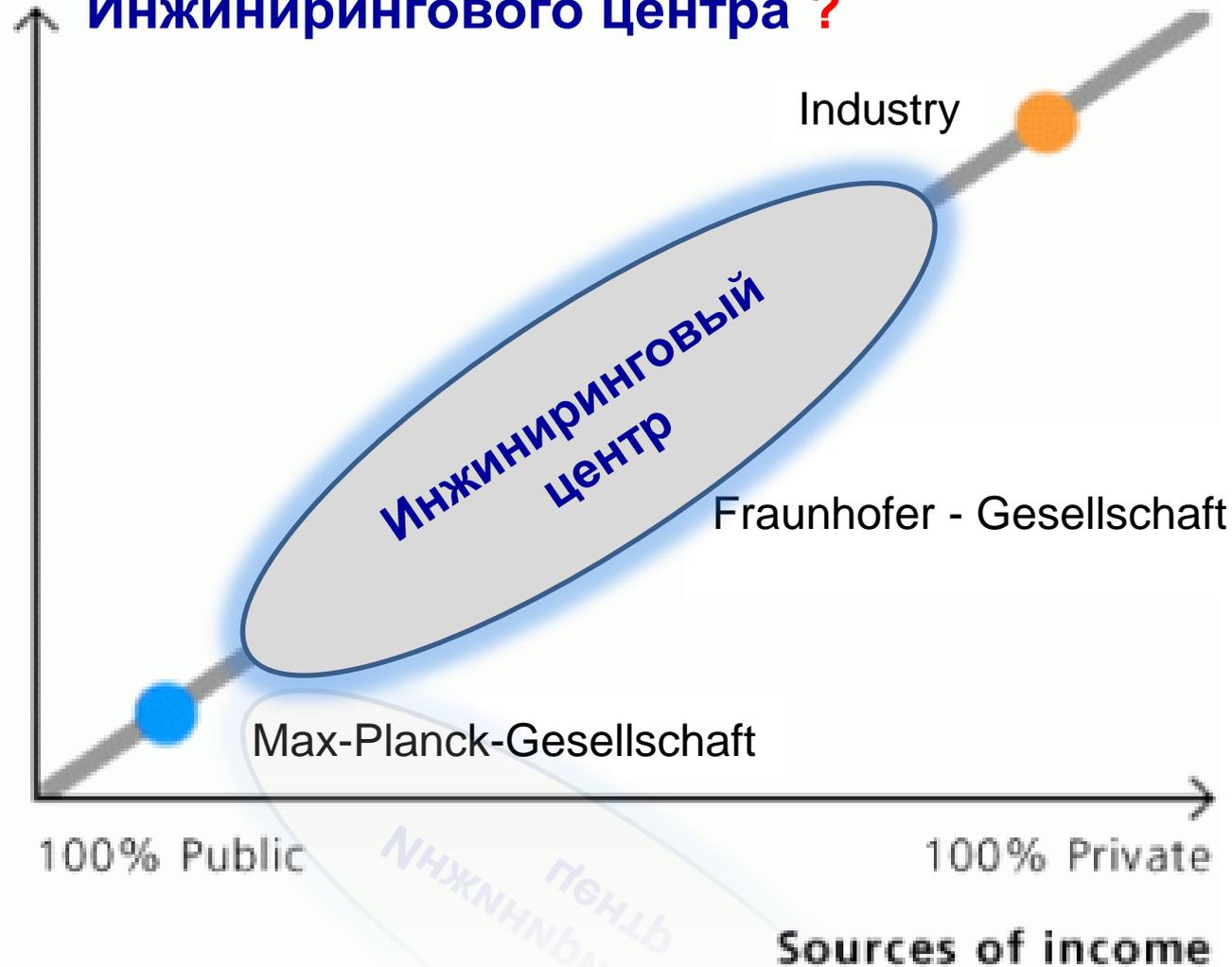
Development

Applied research

Application-oriented
 fundamental research

Fundamental research

Позиционирование и дифференциация Инжинирингового центра ?





НИР и НИОКР в осях "деньги - время"

Необходимое условие - квалификации

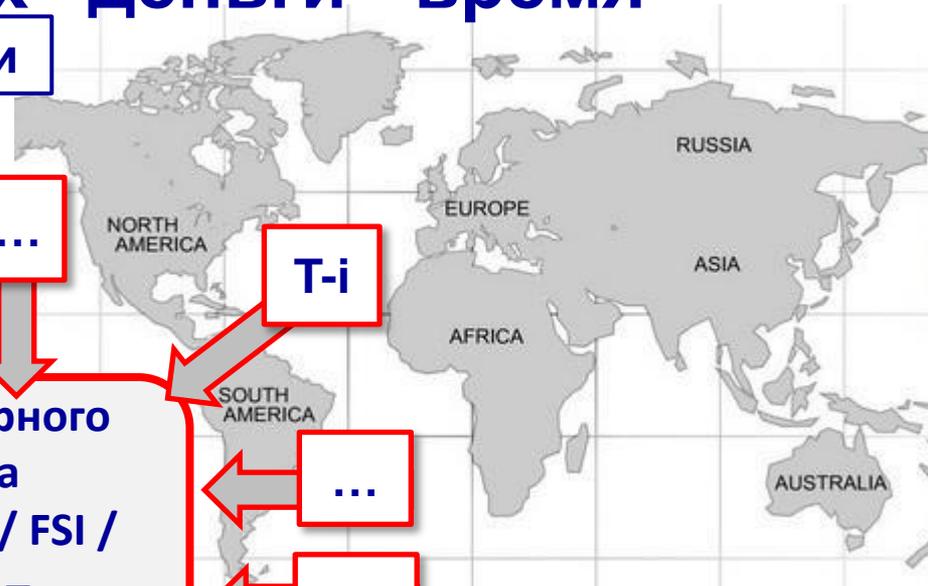
t (время)



ВУЗЫ, РАН

Центр компьютерного
 инжиниринга
 (MBD / FEA / CFD / FSI /
 CAE / HPC ...) –
 Centre of Excellence

Промышленность



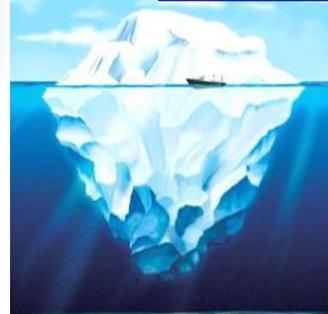
Необходимое условие –
 квалификации

Достаточное
 условие –
 компетенции

f*

t*

f (деньги)



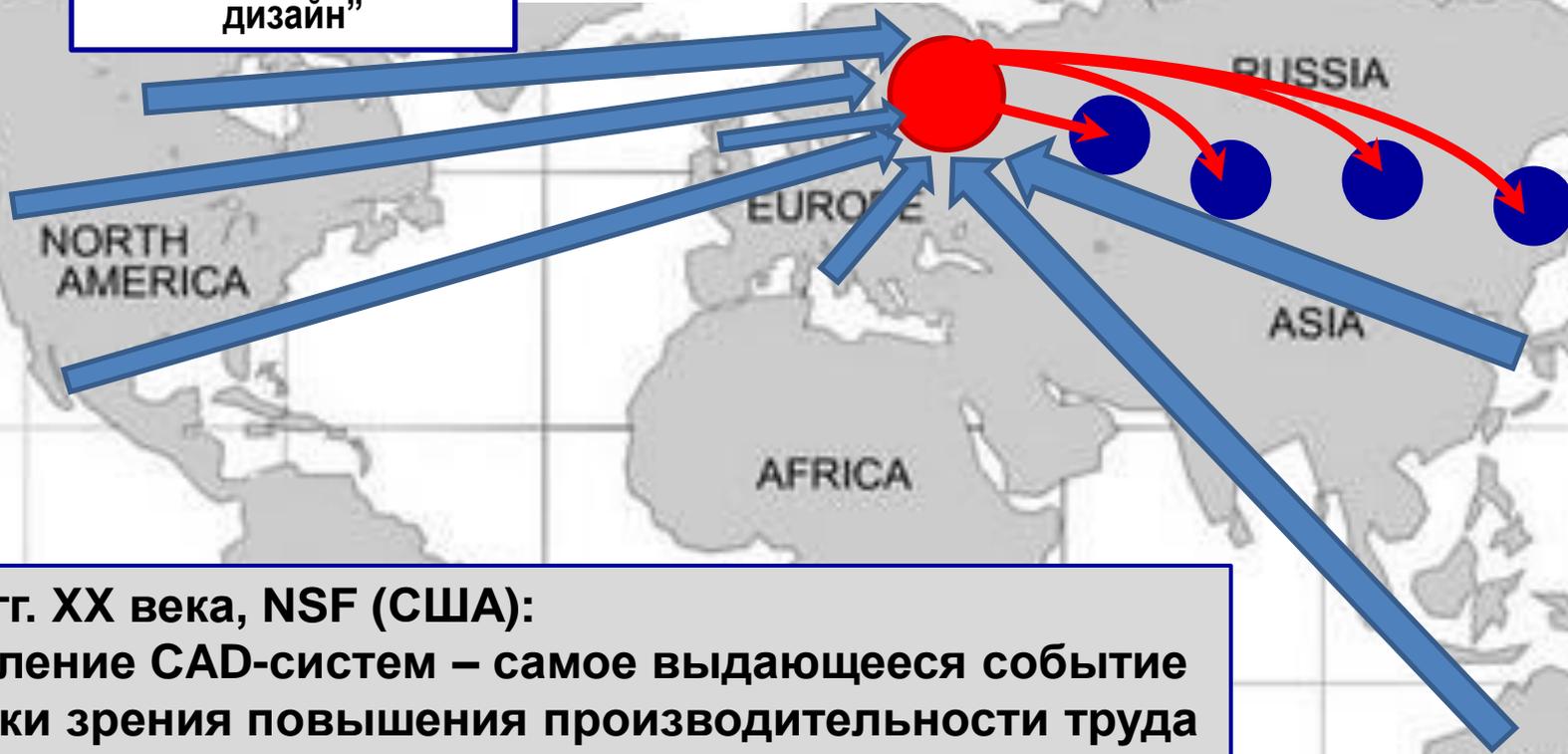


Профессиональное сообщество практик
"Материалы –
Инжиниринг –
Промышленный
дизайн"



Centre of Excellence

Regional / Branch Centers of Competences



70-е гг. XX века, NSF (США):
появление CAD-систем – самое выдающееся событие
с точки зрения повышения производительности труда
со времен изобретения электричества

**MBD / FEA / CFD / FSI / HPC - Centre of Excellence –
обеспечение глобальной конкурентоспособности**



Алгоритм возможного взаимодействия промышленности и университетов на основе многолетнего успешного опыта взаимодействия с ведущими отечественными и зарубежными промышленными организациями, имеющегося у НИУ СПбГПУ в рамках созданной Форсайт-структуры:

1 Промышленность / **Challenge Industrial Problem / Промышленная проблема-вызов**

2 ВУЗ должен быть готов решить эту конкретную Проблему. Что значит быть готов?

3 ВУЗ должен иметь компетентных специалистов мирового уровня, или типичную индустриальную команду специалистов, обладающих компетенциями / **Мультидисциплинарная команда специалистов, обладающих компетенциями мирового уровня**

4 Команда компетентных мультидисциплинарных специалистов в идеальной ситуации должна иметь для своевременного и качественного решения Проблемы необходимые ресурсы:

**Форсайт-структура (Centre of Excellence):
 Brainware & Software & Hardware & Experience & Know-How & ...**

5 Из всего арсенала Software & Hardware & Hi-Tech & Know-How компетентными специалистами (Brainware) формируется специали-

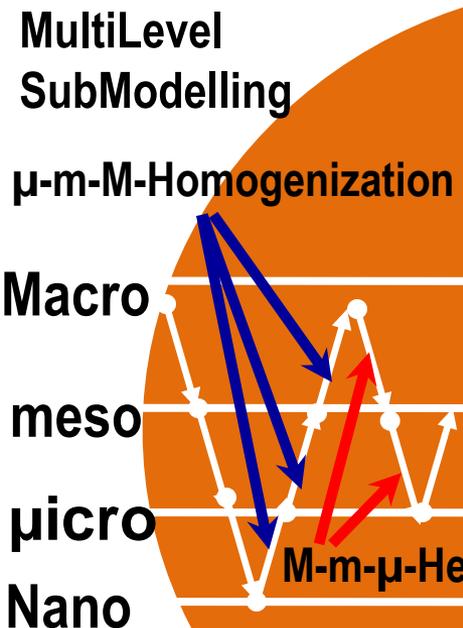
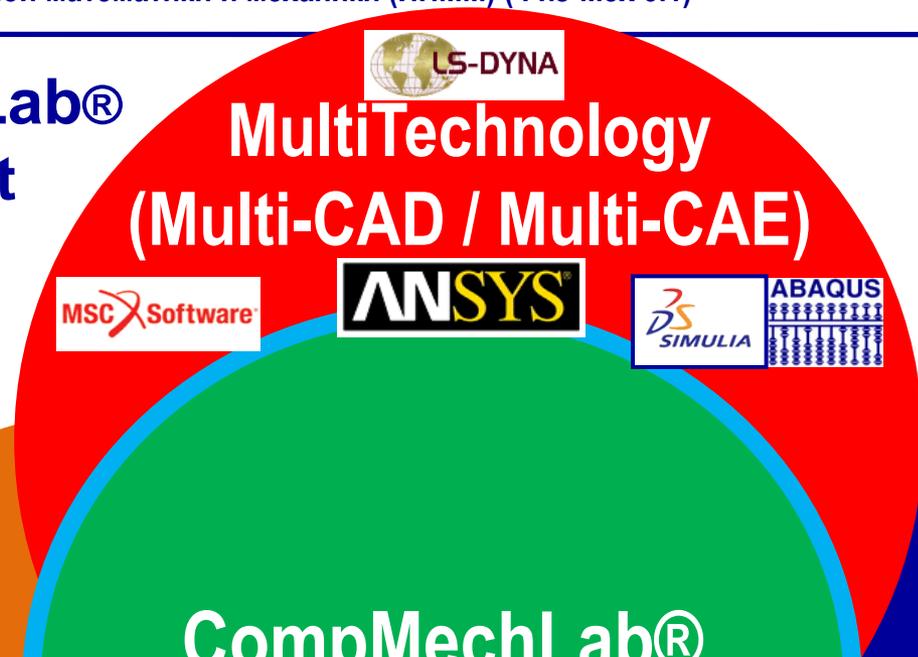
6 **Формирование специализированной технологической цепочки**

$$P^* = T1_{BMW} - KH_1 - T2_{Boeing} - KH_2 - T3 - \dots$$
 Решение проблемы

7 **Генерирование мультидисциплинарных знаний, формализованный и неформализованный трансфер знаний, опережающая подготовка конкурентоспособных и востребованных специалистов, развитие компетенций и технологий, надотраслевой трансфер знаний, технологий, ...**



© **CompMechLab®**
M³ - Concept



LS-DYNA

MultiTechnology
 (Multi-CAD / Multi-CAE)

MSC Software

ANSYS

SIMULIA

ABAQUS

CompMechLab®
M³ - Concept

MultiScale /
MultiStage

- MultiBody Dynamics**
- Acoustics**
- Fluid/Gas Mechanics**
- Mechanics**
- Thermal Analysis**
- ElectroMagnetism**

MultiDisciplinary





Применяемые мультидисциплинарные
 надотраслевые CAD/FEA/CFD/CAE-технологии
 (общая трудоемкость разработки и сопровождения
 – более 500 000 человеко-лет)
 Типичный узел CompMechLab®-DHP*C-Network



SuperComputer CRAY CX1
 (Intel Tylersburg 5520, Intel Westmere;
 2x HexaCore Intel Xeon X5670, 2933 MHz /
 96 cores, 192 Gb, 8*512Gb SSD + 10Tb)
 Microsoft Windows HPC Server 2008 R2



(Adams, Patran, Nastran, Marc, Easy,...)

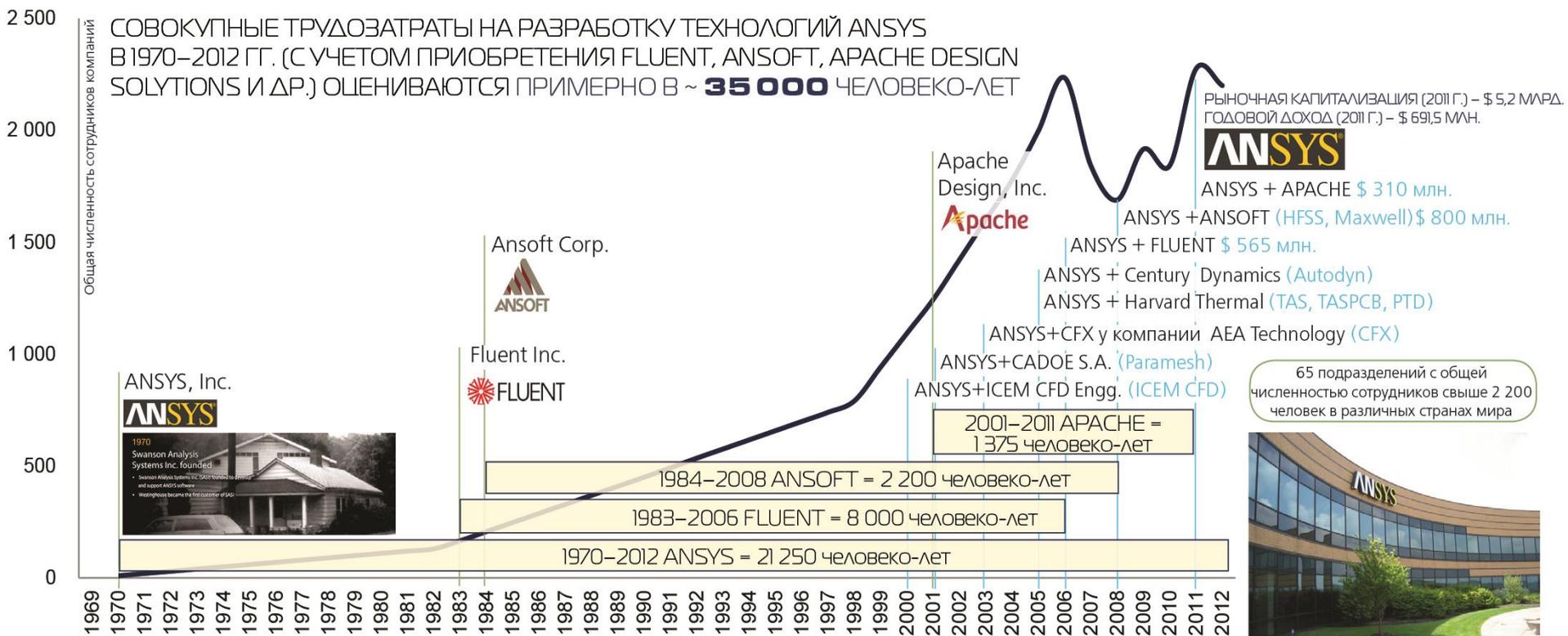


Livermore Software
 Technology Corp.





Оценка полных трудозатрат на разработку ANSYS-технологий в 1970 – 2012 гг.



© CompMechLab®
 © Информационно-аналитический форсайт-центр



FORTUNE Global 500. ANSYS products are used around the world by **96 of the top 100 industrial companies** on the current FORTUNE Global 500 list.

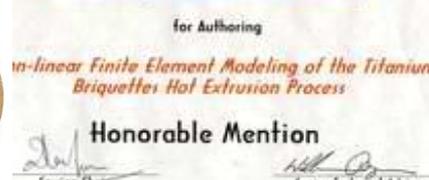
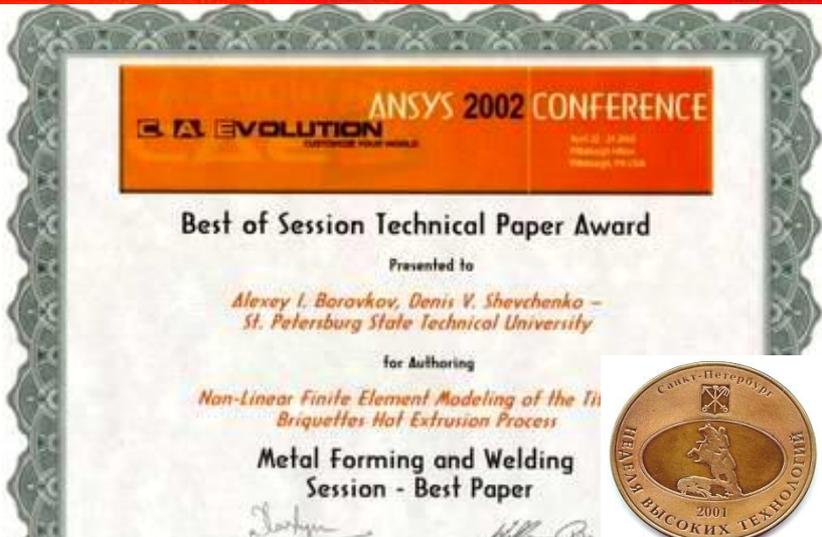
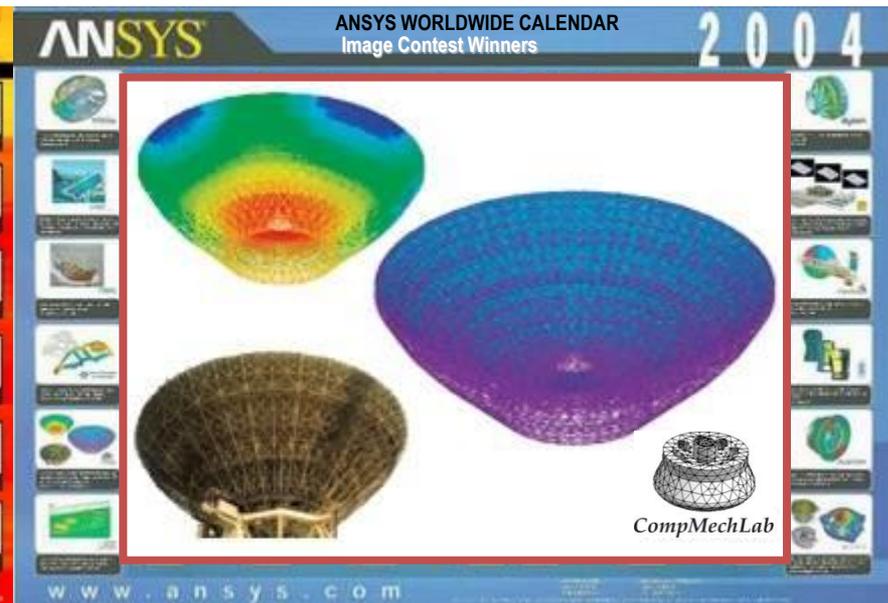
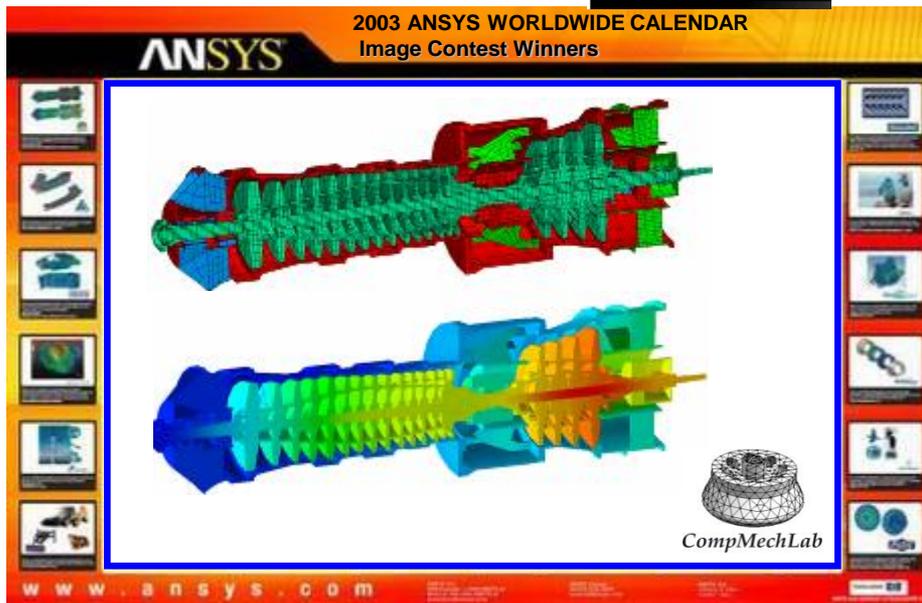
BusinessWeek. ANSYS products are used by **16 of the top 20 most innovative companies** in the world today, according to a 2008 BusinessWeek report prepared by The Boston Consulting Group.



CompMechLab

ANSYS

Competition Awards (2001-2008)



Golden (2001, 2007) and Silver (2008) Medals at Hi-Tech Exhibitions



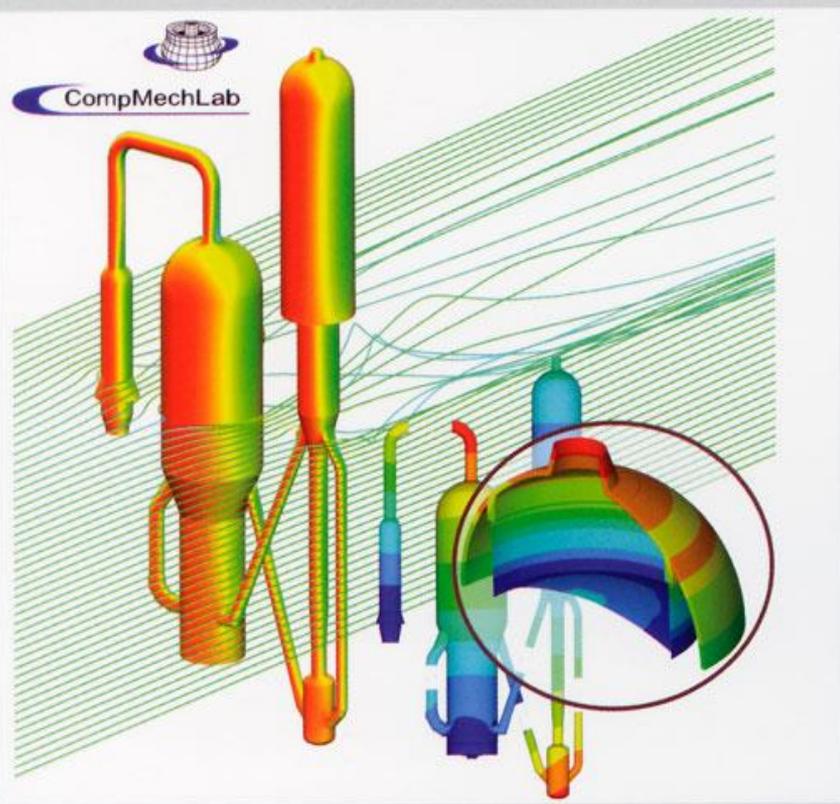
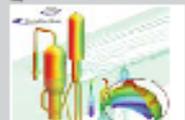
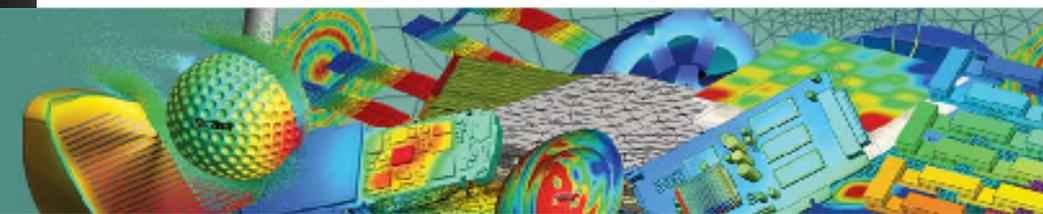
CompMechLab

ANSYS

Competition Awards (2008)

ANSYS

2008



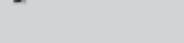
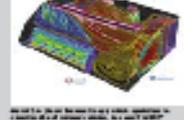
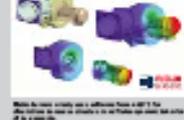
CompMechLab used ANSYS® Mechanical™ and ANSYS CFX tools to perform multiphysics FE analysis of a catalytic reforming apparatus under wind and thermo-structural loading.
 Russia



The Aerodynamic Department of Airbus has used ANSYS® ICEM CFD™ software for more than over 10 years to link performance with aerodynamic shape design.
 AIRBUS



The German Aerospace Center used ANSYS CFX software to investigate detailed shock structures of a supersonic diffuser flow.
 Germany





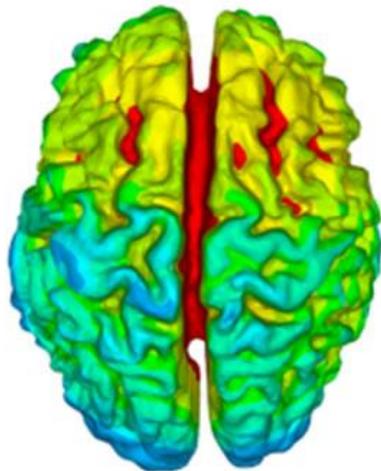
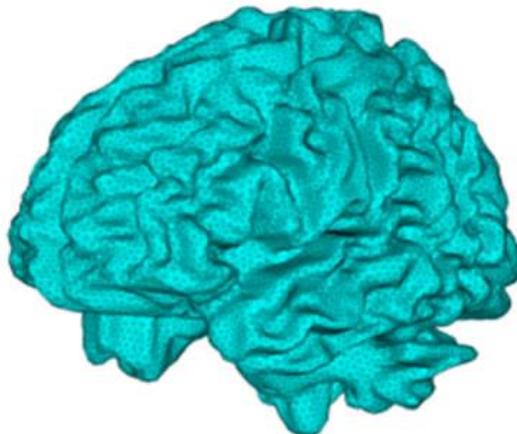
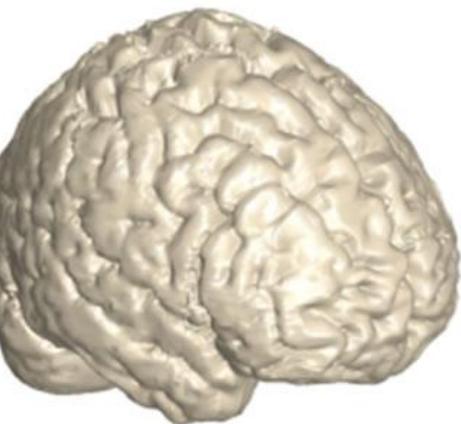
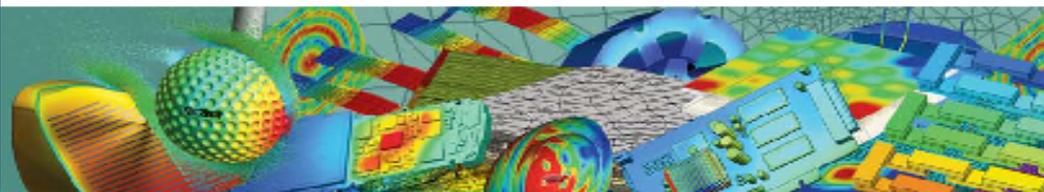
CompMechLab

ANSYS

Competition Awards (2009)

ANSYS

2009



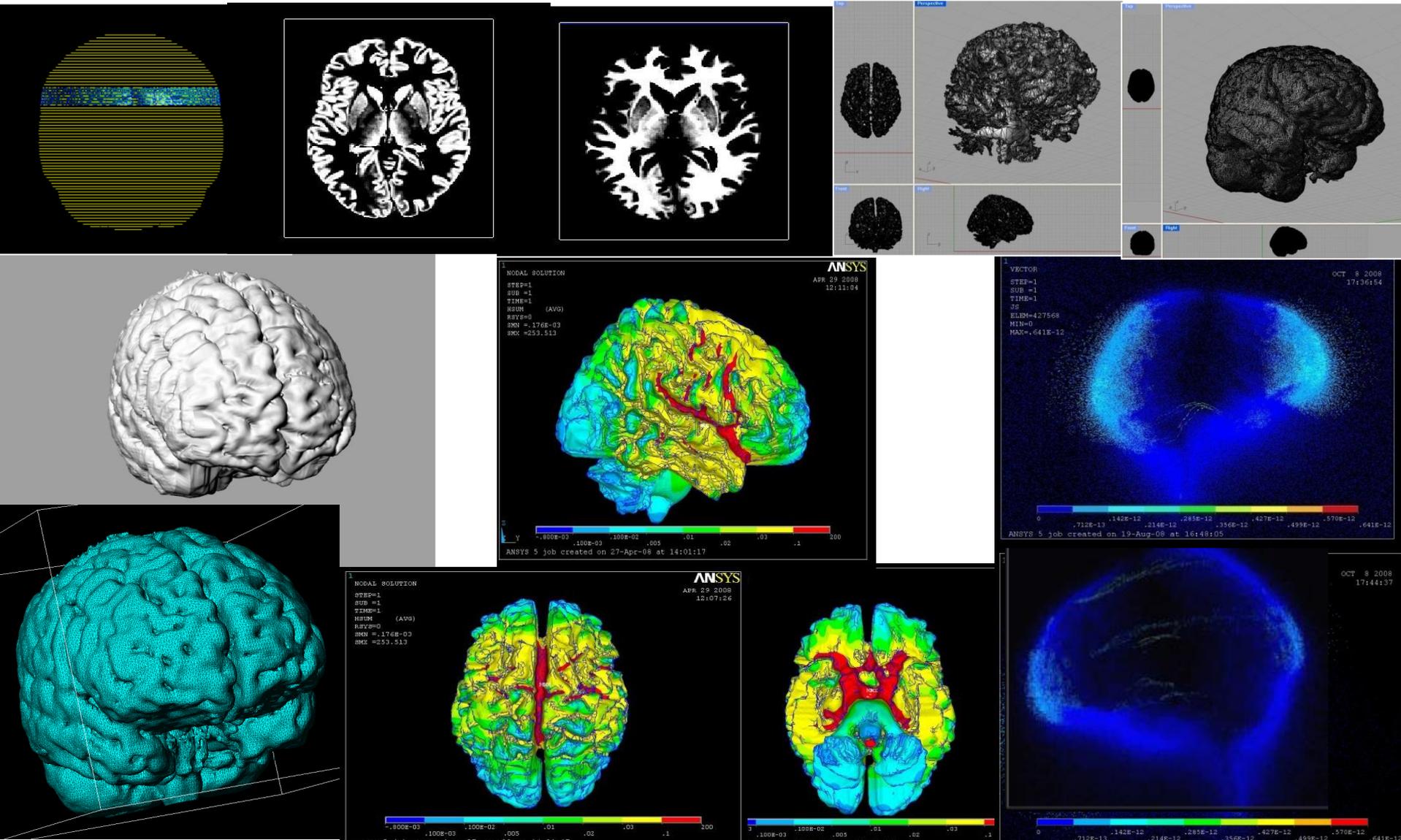
ANSYS

**Competition Winners
(2002-2009 гг.)**

- 79 winners in all (AIRBUS, Ferrari, General Electric Oil & Gas, Siemens Power Generation et al), including 12 universities;
- 4 victories – CompMechLab®
- 3 victories – EMT R, Dyson, Mouchell, TriVista Engg; and SPbSPU – unique university on a global scale



FE Solution of the Forward Problem in Magnetic-Field Tomography (MFT) Based on MagnetoEncephaloGraphy (MEG)





DEFENSE NEWS TOP 100

<u>Rank</u>	<u>Company</u>	<u>Leadership</u>	<u>Country</u>	<u>Last Year's Rank</u>	<u>2011 Defense Revenue</u>	<u>2010 Defense Revenue</u>	<u>% defense revenue change</u>	<u>2011 Total Revenue</u>	<u>% of Revenue from Defense</u>
1	Lockheed Martin	Robert Stevens, Chairman and CEO	U.S.	1	43,978.0	42,800.0	2.8%	46,499.0	94.6%
2	Boeing	W. James McNerney, Chairman, President and CEO	U.S.	4	30,700.0	30,858.0	-0.5%	68,735.0	44.7%
3	BAE Systems	Ian King, CEO	U.K.	2	29,130.2	33,109.5	-12%	30,723.0	94.8%
4	General Dynamics	Jay Johnson, Chairman and CEO	U.S.	5	25,506.0	26,622.0	-4.2%	32,677.0	78.1%
5	Raytheon	William Swanson, Chairman and CEO	U.S.	6	23,055.6	23,420.2	-1.6%	24,791.0	93%
6	Northrop Grumman	Wes Bush, Chairman, President and CEO	U.S.	3	21,400.0	31,181.0	-31.4%	26,400.0	81.1%

**For U.S. leading manufacturers,
to out-compete is to out-compute**

“U.S. Manufacturing – Global Leadership Through Modeling and Simulation” Council on Competitiveness, March 2009.

70-е гг. XX века, NSF (США): появление CAD-систем – самое выдающееся событие с точки зрения повышения производительности труда со времен изобретения электричества



Суперкомпьютерный инжиниринг – основа создания конкурентоспособной продукции нового поколения у мировых лидеров ВПК





Simulation - Based Engineering Science

*Revolutionizing Engineering
Science through Simulation*

May 2006

Report of the National Science Foundation
Blue Ribbon Panel on
Simulation-Based Engineering Science



“With technology, talent and capital now available globally, the U.S. is facing unprecedented economic competition from abroad.

The country that wants to out compete must to out-compute”

*Deborah Wince-Smith,
President of the Council of
Competitiveness (2004)*

- 1. Глобализация – технологии, таланты и финансы доступны всем;**
- 2. Гиперконкуренция – беспрецедентные глобальные вызовы;**
- 3. Страна, желающая победить в конкурентной борьбе обязана победить в вычислениях.**



Эволюция основных концепций и парадигм САЕ

“The Direct Hi-Tech Process Chains” (“Direct Innovations”, Boeing-, BMW-, ... oriented Hi-Tech Process Chains): $T1_{BMW} - T2_{BMW} - T3_{BMW} - \dots = P_{BMW}$

“The Reverse Hi-Tech Process Chains” (“Reverse Innovations”, Challenging Problem oriented Hi-Tech Process Chains): $P^* = T1_{BMW} - KH-1 - T2_{Boeing} - KH-2 - T3 - KH-3 - \dots$

Open Innovations / Total Reverse Engineering / Global Collaboration
(OutTasking, OutSourcing, OutStaffing) → **Embeddedness in Hi-Tech Process Chain**

- 9. **Digital Mock-Up → Digital Manufacturing** (Digital/ Virtual/ Smart Factory, Smart Real-Time Factory)
- 8. SuperComputer (SmartMat*Mech)*(Multi**3) Simulation and Optimization Based **Product Development**
- 7. SuperComputer (**SmartMat*Mech**)*(Multi**3) Simulation and **Optimization** -B D / E
- 6. SuperComputer (**Material Science * Mechanics**) (Multi**3) S-B D / E
- 5. SuperComputer (**MultiScale / MultiStage * MultiDisciplinary * MultiTechnology**) S-B D/E
- 4. SuperComputer **MultiDisciplinary** S-B D / E
- 3. SuperComputer S-B D / **Engineering** (S-B D/E)
- 2. **SuperComputer** S-B D (*Projects for BMW: 17 000 tasks / 2 week; 12 / 24 cores*)
- 1. **Simulation-Based Design (S-B D)**
- 0. Hardware ↔ Software ↔ Brainware → **Brainware** ↔ Software ↔ Hardware



“U.S. Manufacturing – Global Leadership Through Modeling and Simulation” Council on Competitiveness, March 2009:

U.S. manufacturers must compete on innovation, not cost. High performance computing (HPC) modeling and simulation enables innovation by reducing design cycle time, development costs, certification costs, and re-engineering costs, and improving performance and efficiency while reducing waste.

Создание в кратчайшие сроки

**глобально конкурентоспособной и востребованной
продукции нового поколения**

**{ SuperComputer (SmartMaterials*Mechanics)*
(MultiScale/MultiStage*MultiDisciplinary*MultiCAD/CAE)
Simulation and Optimization } -Based
Design / Engineering & Product Development**



Промышленность → Тренды, Технологии, Образование, Наука, Компетенции → CAD/FEA/CFD/CAE CompMechLab® Centre of Excellence





Промышленность → Сложные научно-технические (промышленные) задачи → Мультидисциплинарные надотраслевые компьютерные технологии → Технологии, Компетенции, Центр превосходства

Заказчики CompMechLab® - ведущие мировые и отечественные промышленные фирмы в области:

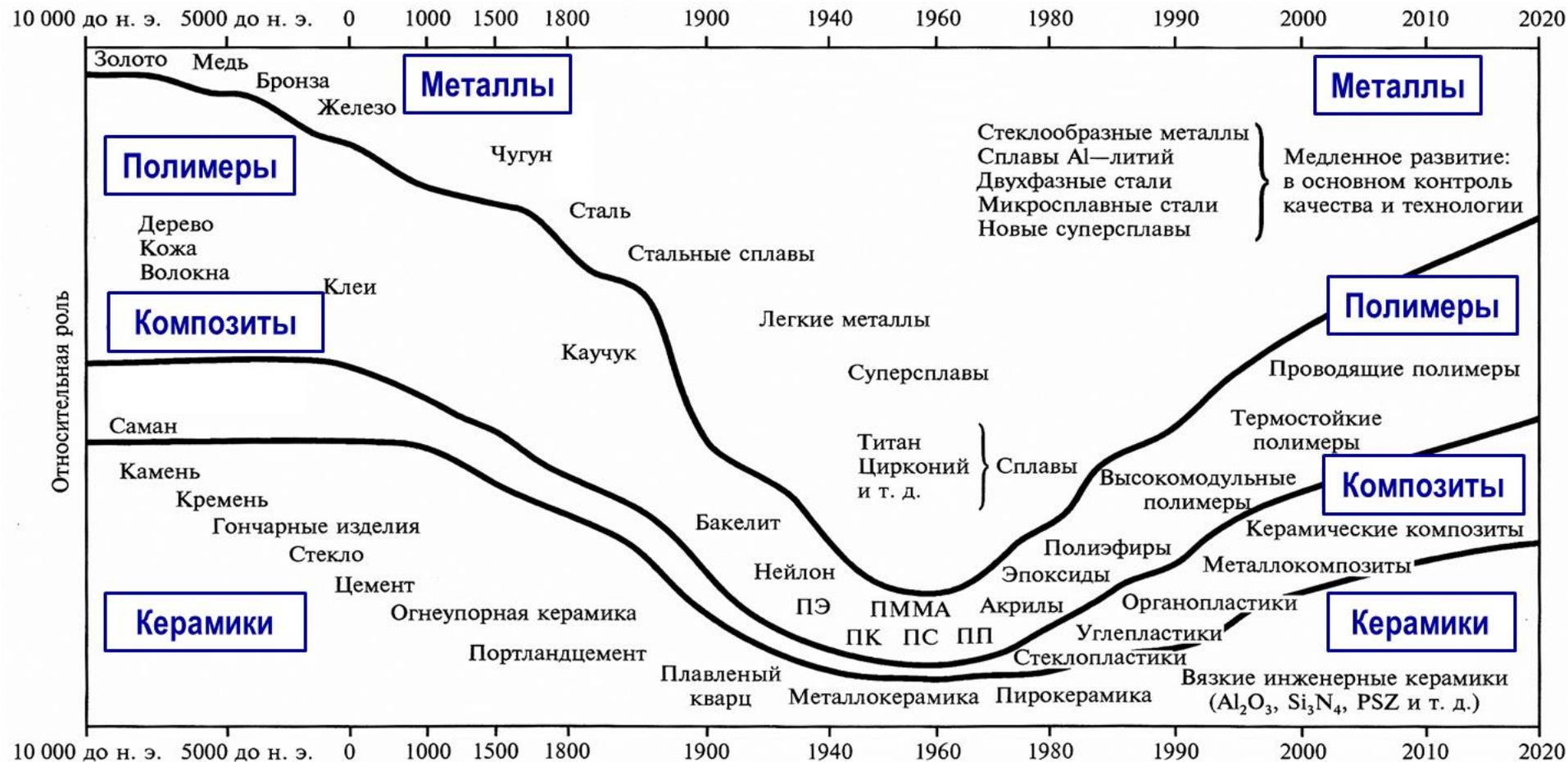


- **ракето- и авиастроения** (Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С.П. Королева, Airbus, Boeing, ОАК, ИРКУТ; ОБОРОНПРОМ, ОДК и др.);
- **автомобилестроения** (BMW, Daimler / Mercedes Benz, Audi, Porsche, GM, VW, Bugatti, Ferrari, Hummer, КАМАЗ, АВТОВАЗ, Ё-АВТО и др.);
- **нефтегазовой промышленности** (Газпром-ВНИИГАЗ, ГипроСпецГаз, НефтеХимПроект, GE, Schlumberger, Weatherford, Hydratight и др.);
- **металлургии** ("Северсталь", корпорация ВСМПО-АВИСМА, Ижорский трубный завод, ОМК / ВМЗ, Северский трубный завод и др.);
- **атомной энергетики** (концерн "РосЭнергоАтом", "Ижорские заводы", АтомЭнергоПроект, ЦКБ машиностроения, ЛАЭС, КуАЭС, СмаЭС и др.);
- **электро- и энергомашиностроения** (концерн "Силовые машины", "РосЭлектроПром Холдинг", General Electric, Siemens и др.).





Развитие инженерных материалов (металлы, полимеры, композиты, керамики)

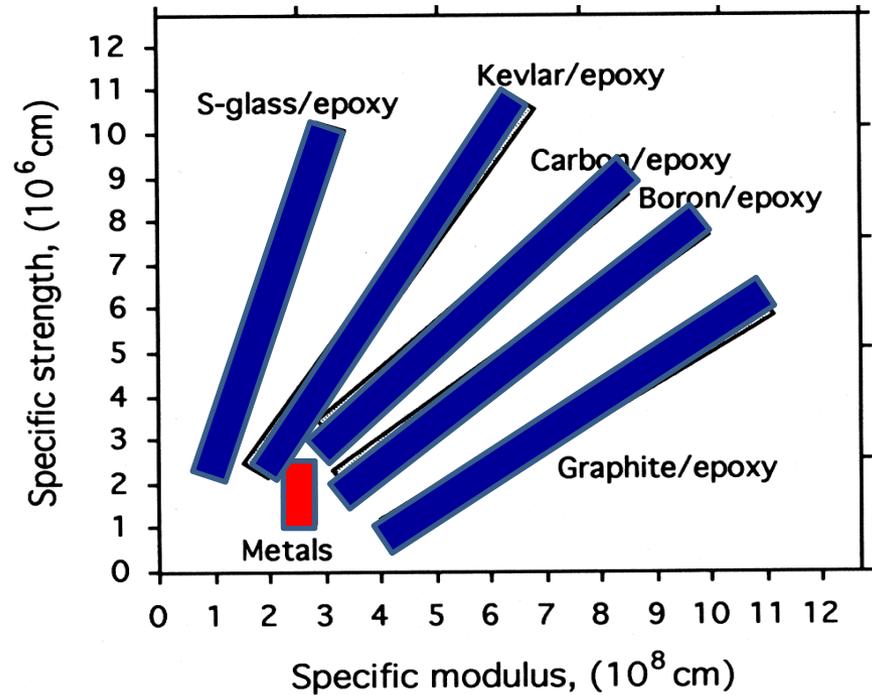
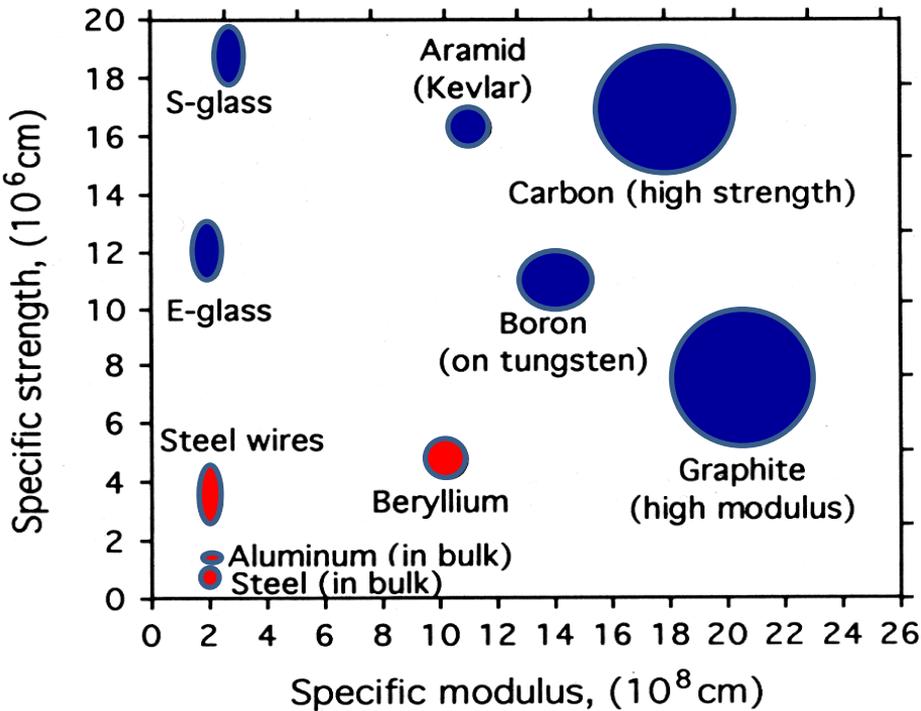


Схематическая диаграмма, иллюстрирующая изменение относительной роли четырех основных типов **конструкционных материалов** с течением времени.

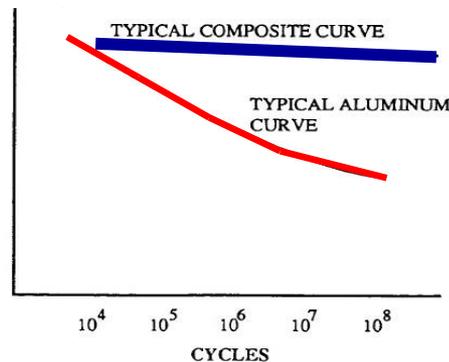
Шкала времени - нелинейная



Металлы vs композиты. Удельная прочность / удельный модуль упругости, усталость

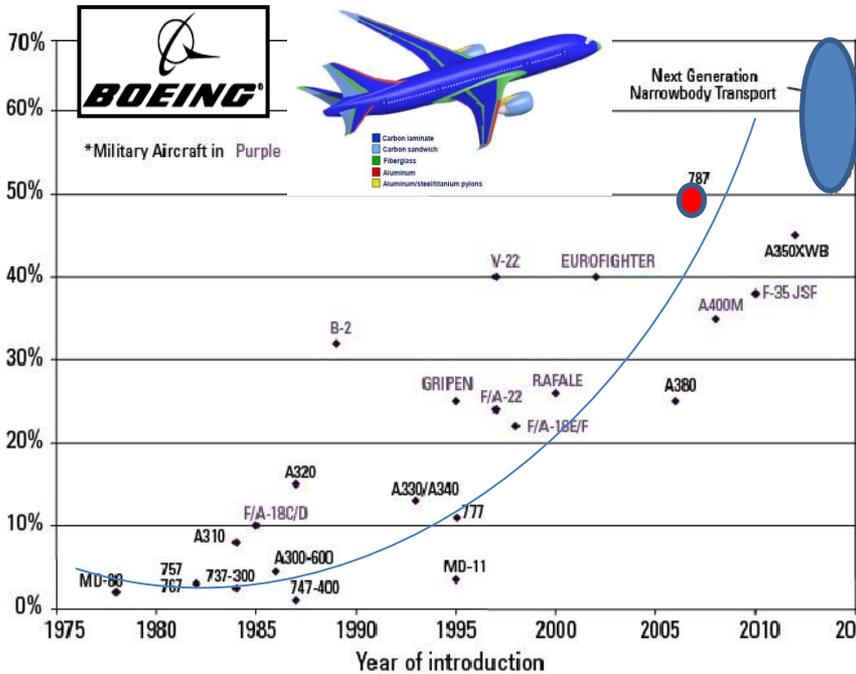


S/N кривая.
Al vs композиты



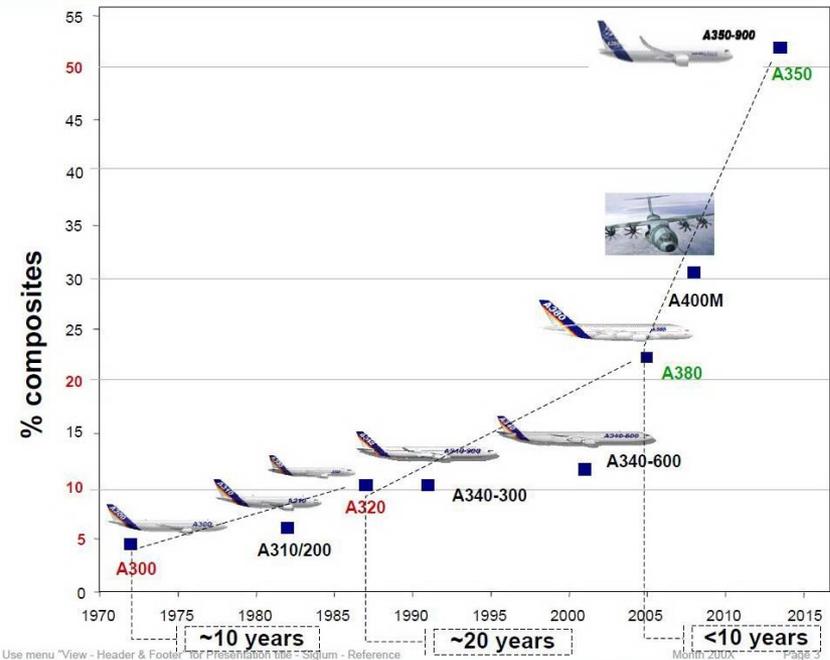
КОМПОЗИТЫ В АВИАЦИИ

The growth of composite structure on major aircraft programs (1975-2010) as a percentage of weight



Composites learning curve

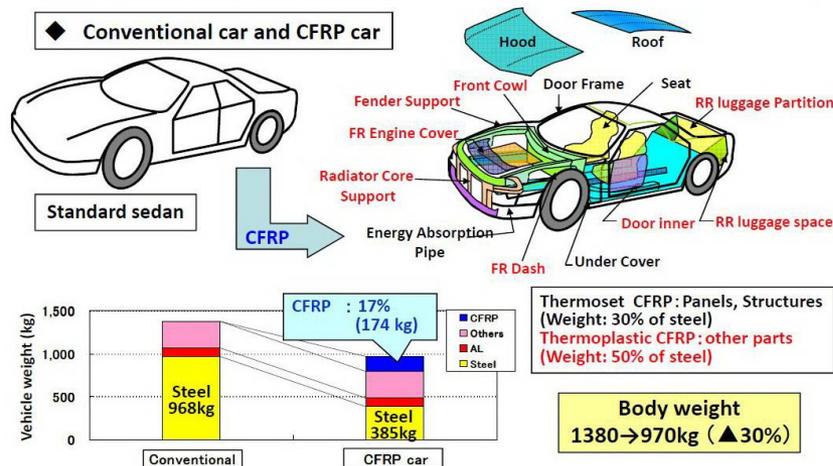
A350 XWB



КОМПОЗИТЫ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ



Automobile LCA "JCMS Model"

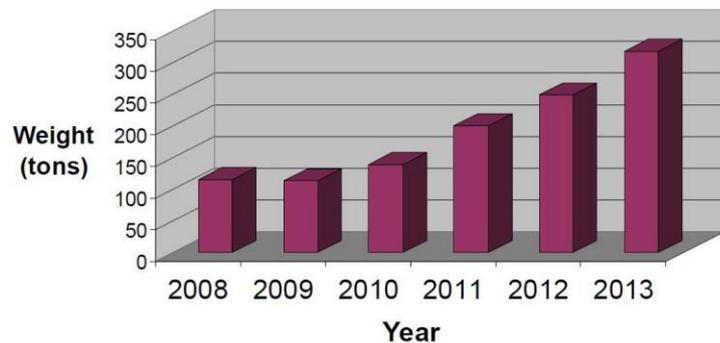


Body weight can be reduced by 30% with CFRP application

CFRP Lamborghini prevision trend



Total amount of Composite Materials used in Lamborghini



Scenario CFRP

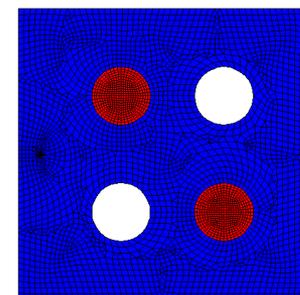
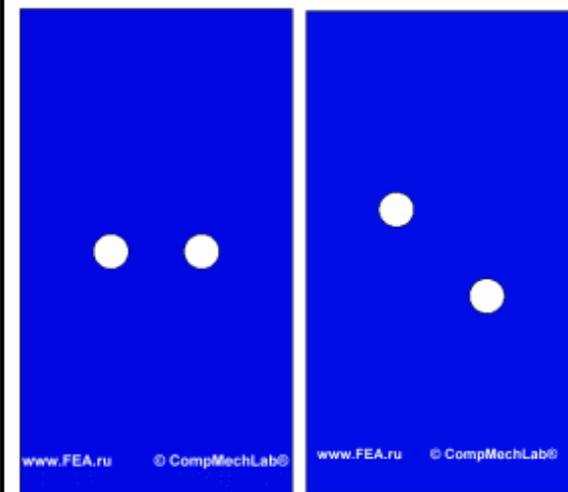
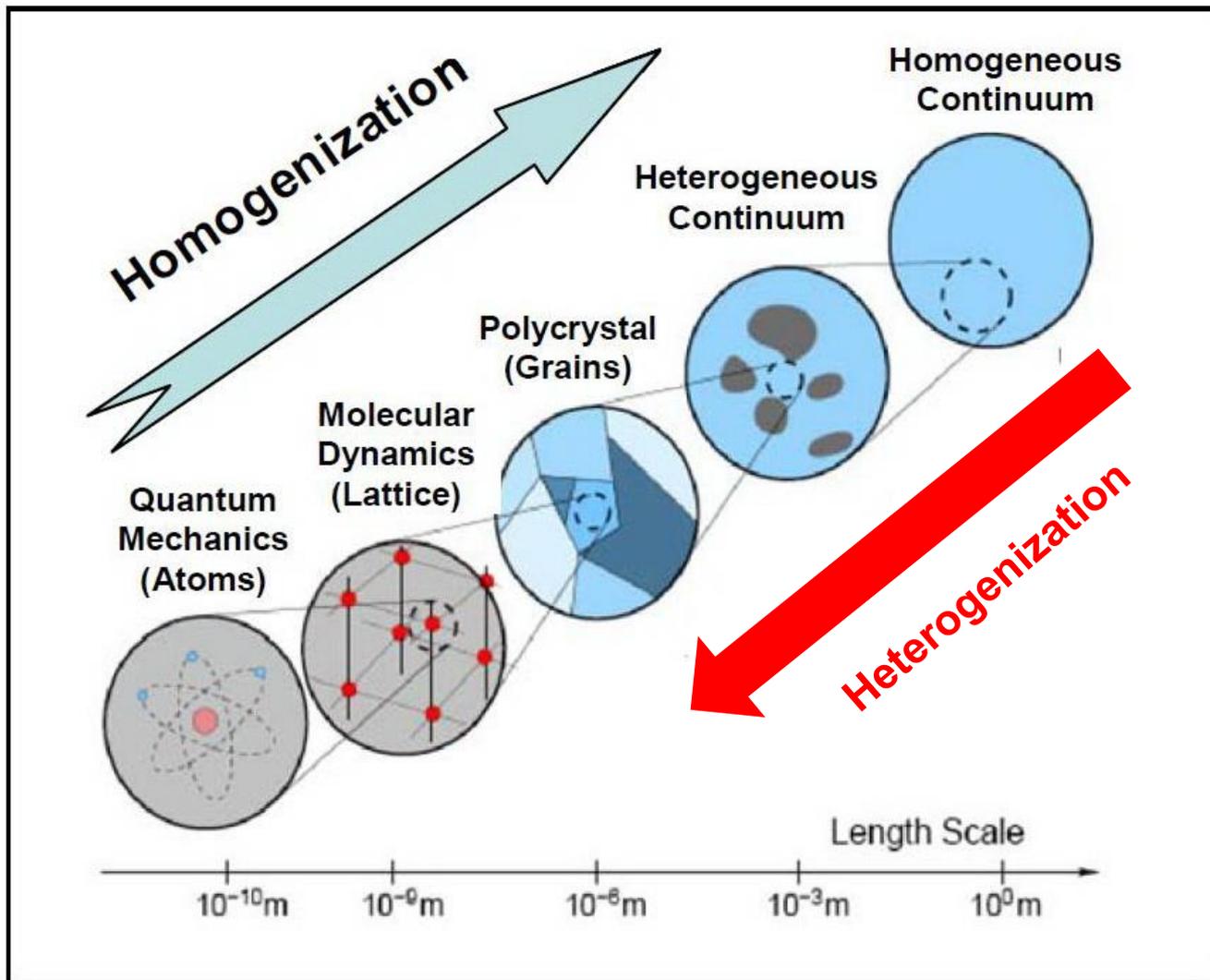
Approach:

- Rising demand through increasing number of applications
- Progressive, selective development of cfrp-technology
- Efficient applications / optimised production
- Rising productivity / Decreasing costs

→ break-through technologies cannot be bought but have to be developed



Многомасштабная мультидисциплинарная иерархия моделей материала





Многомасштабная мультидисциплинарная иерархия

$\{\mu^{(p)} - m^{(q)} - M^{(r)}\}$ – моделей

материалов, инженерных конструкций и сооружений

Количество частей

10 000 000

Автомобилестроение

– наиболее динамичная
 высококонкурентная
 отрасль со многими
 участниками

1 000 000



Boeing 787, 240 т
 ~ 56 м



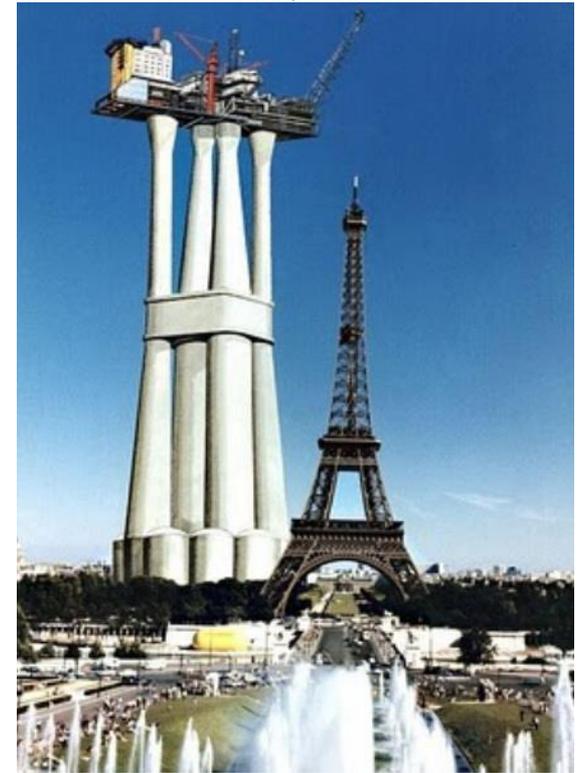
10 000



BMW X3, < 2 т
 ~ 4,5 м



Газовая платформа Тролл,
 Высота – 483 м, вес – 656 000 т



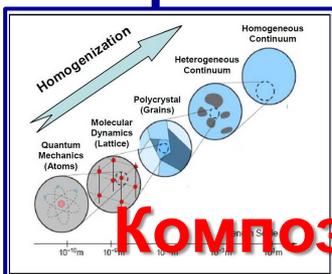
Характерный размер

5 м

50 м

500 м

Композиты – наиболее актуальная методология



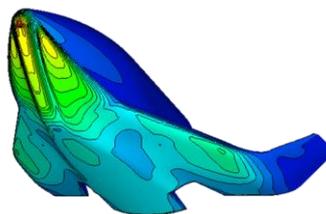
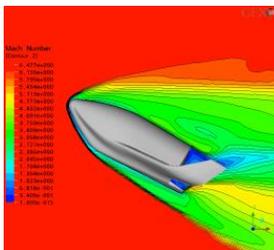


$T, ^\circ K$

1273

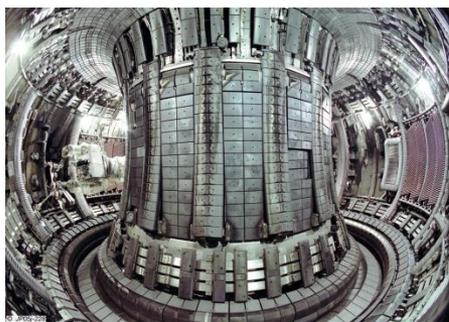
273

0

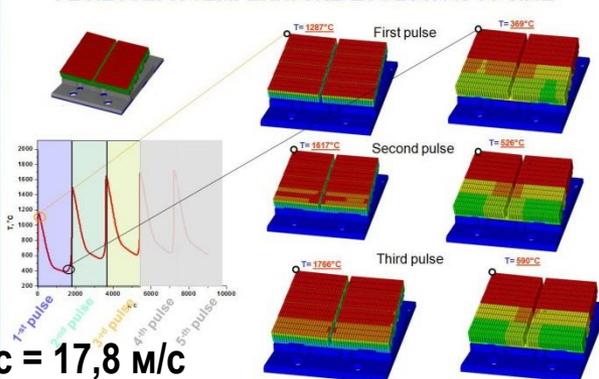


$v, \text{ м/с}$

5000
(15 M)



FE RESULTS. TEMPERATURE EVOLUTION VS TIME



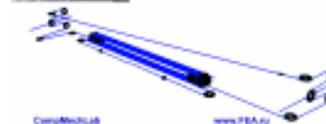
64 км/час = 17,8 м/с



2310 (7M)

330 (M)

240 км/час = 66,7 м/с



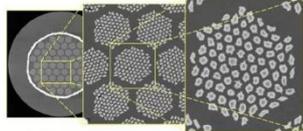
CompMechLab

0

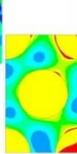
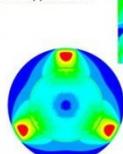
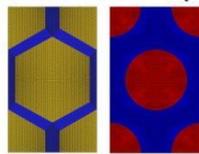
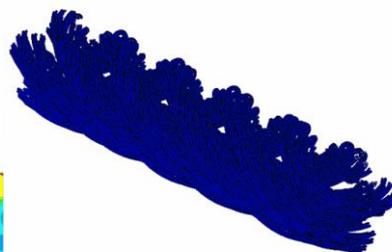
Многоуровневое моделирование композитных кабелей с иерархической структурой



Фото ENEA-FRASCATI



- 1422 жилы в кабеле
 - 4675 включений
 Nb₃Sn в каждой жиле

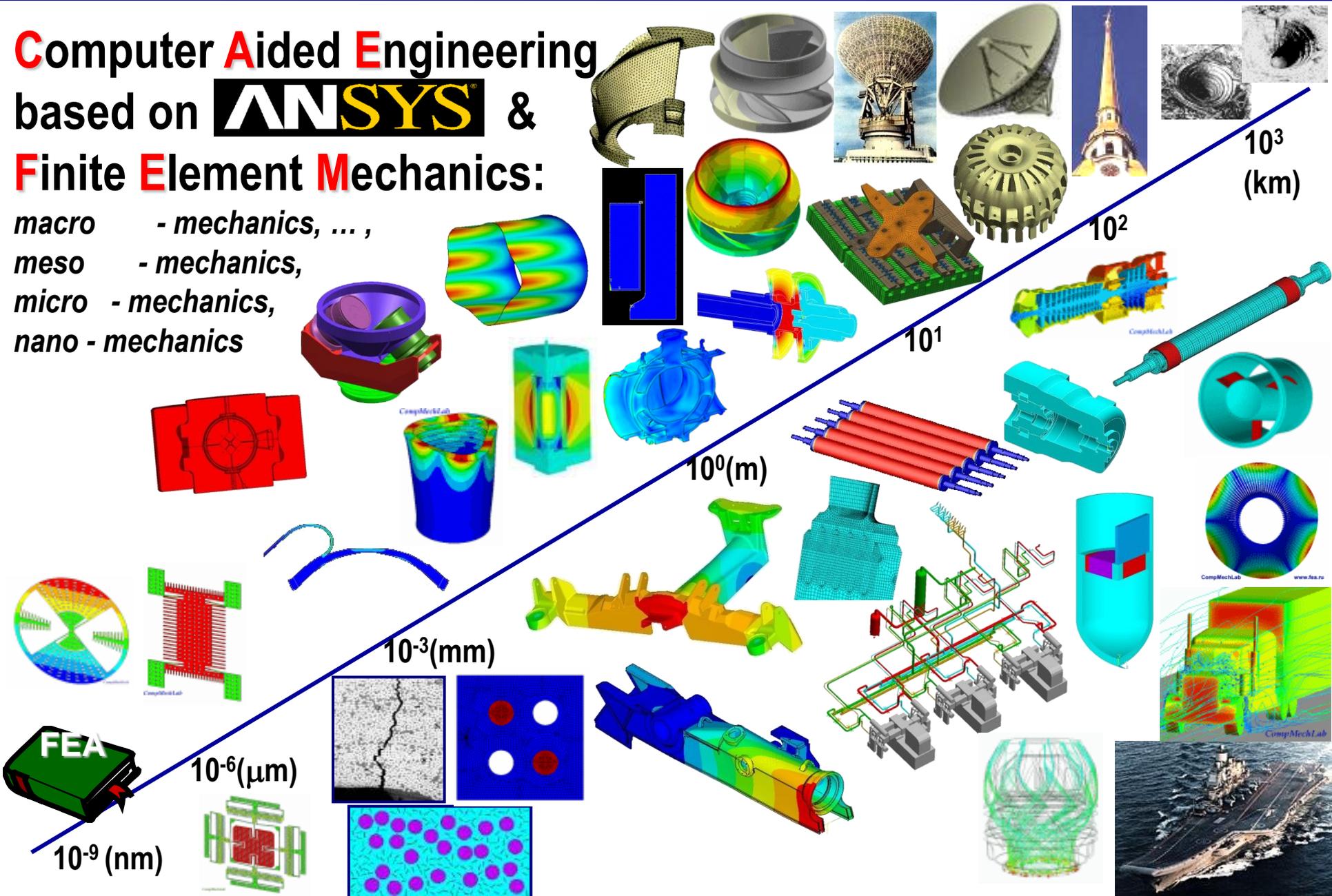


$\omega = 120\ 000$ об/мин
 $V \sim 477$ м/с
 $a/g \sim 610\ 000$



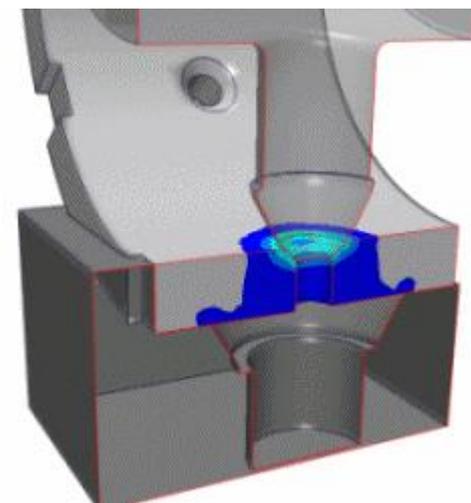
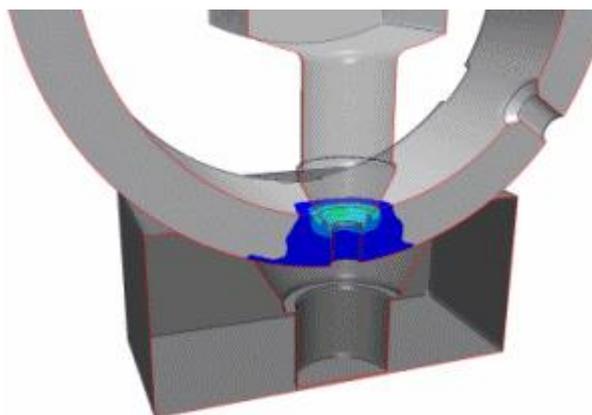
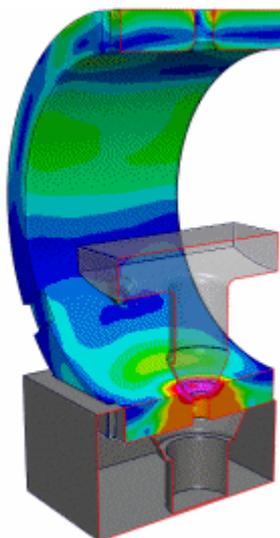
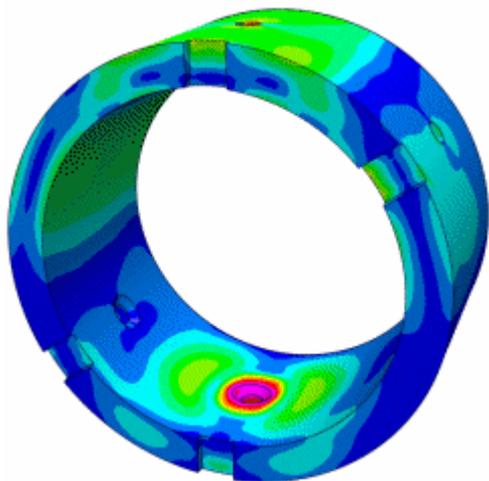
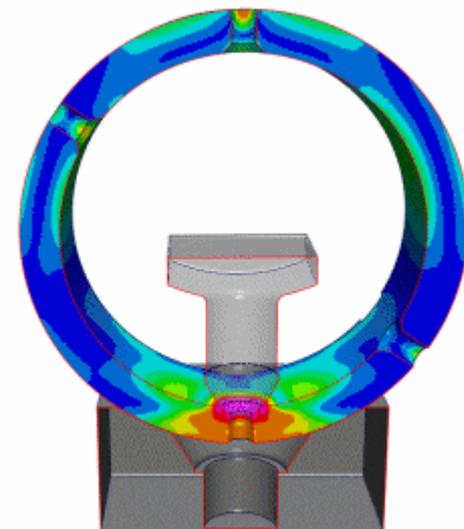
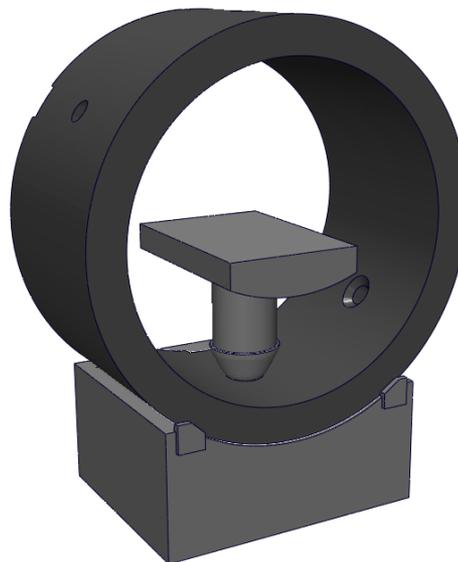
Computer Aided Engineering based on **ANSYS** & Finite Element Mechanics:

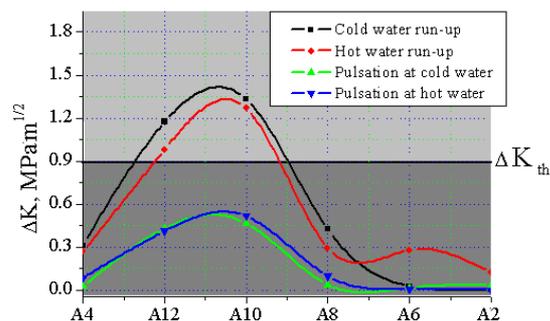
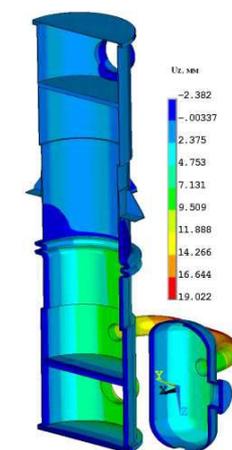
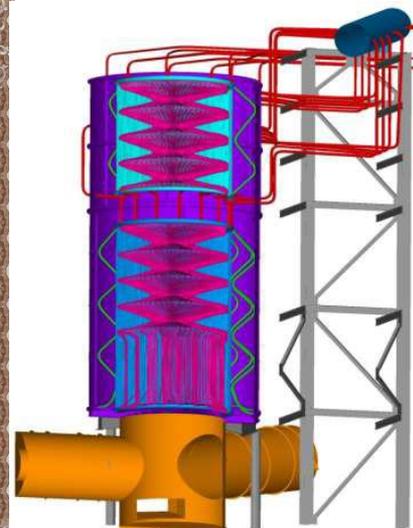
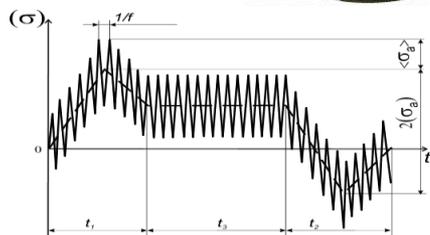
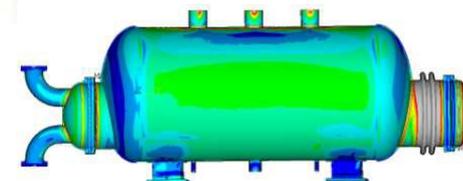
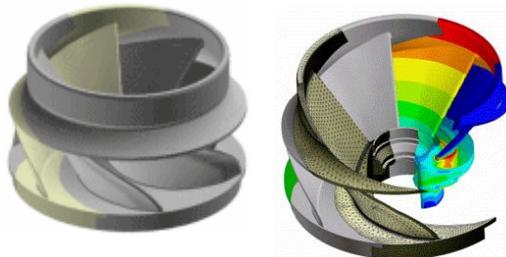
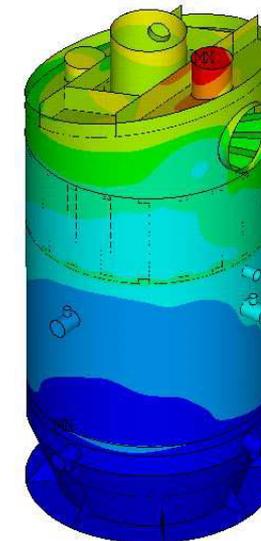
macro - mechanics, ... ,
meso - mechanics,
micro - mechanics,
nano - mechanics

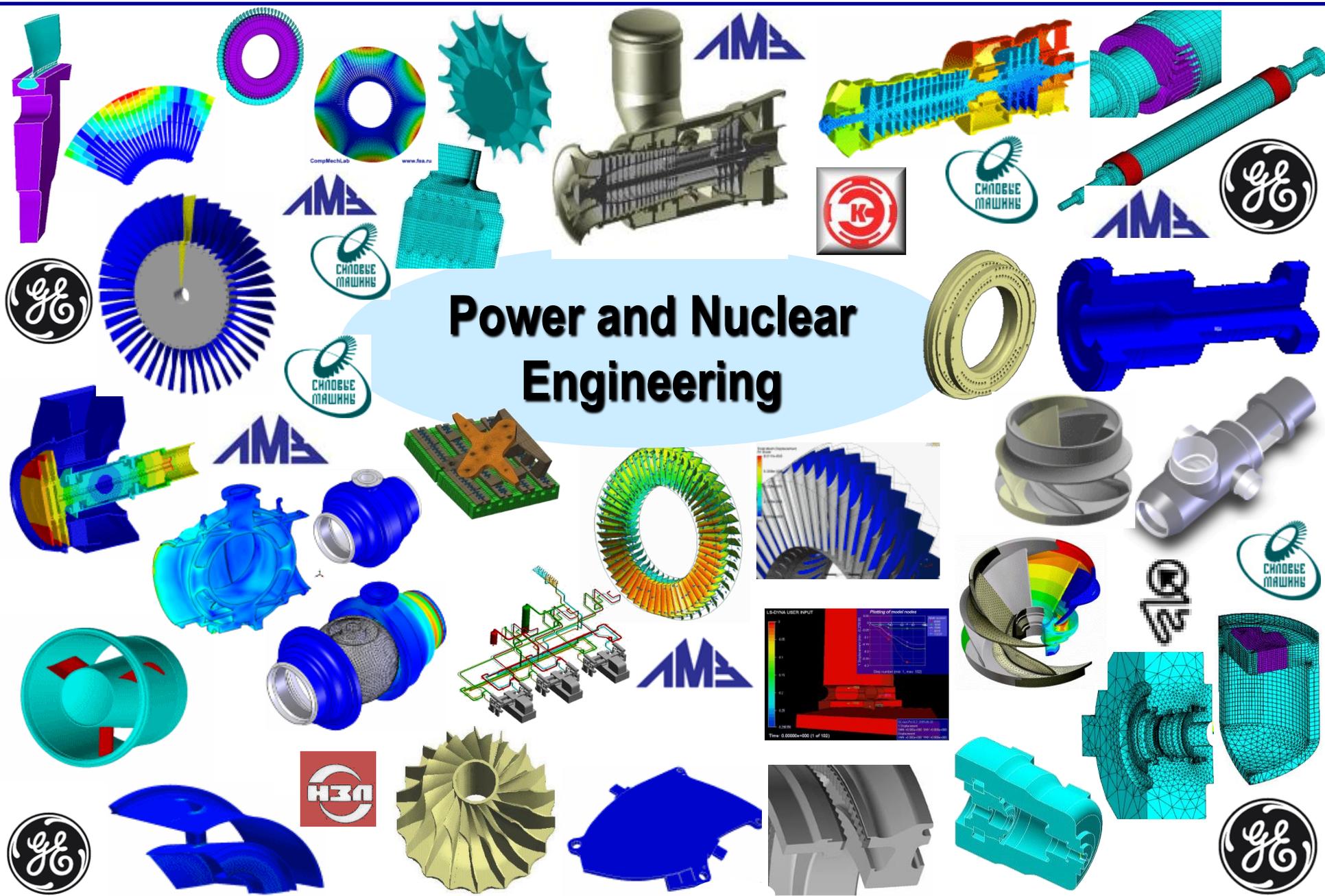




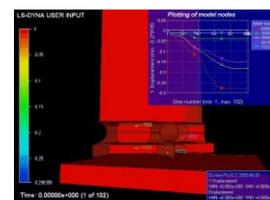
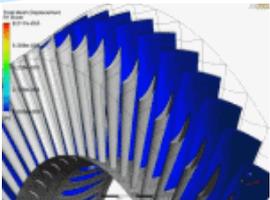
Material Processing (animations - 4)







Power and Nuclear Engineering



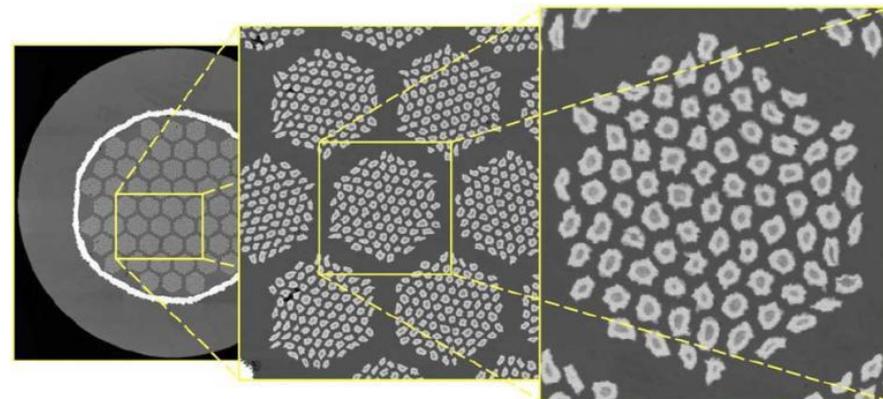
CompMechLab
www.fea.ru



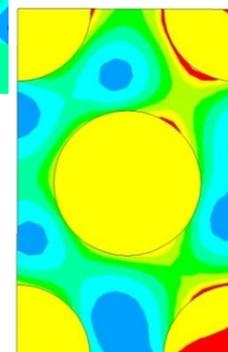
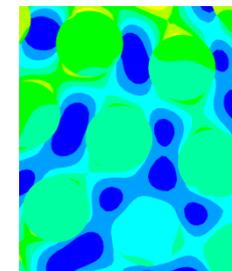
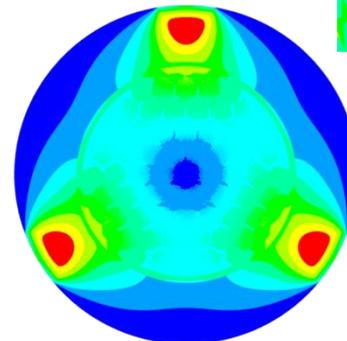
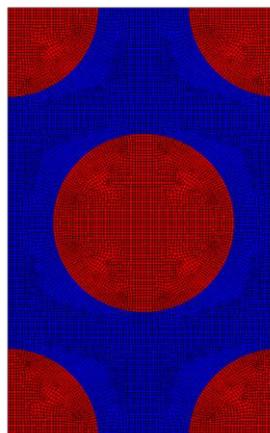
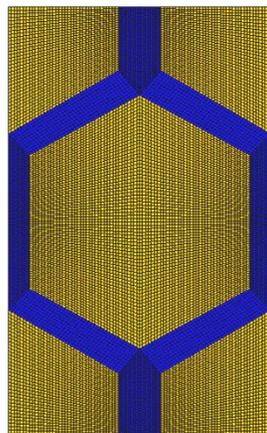
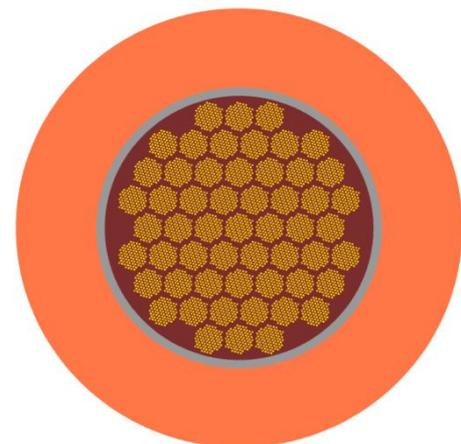
Многоуровневое моделирование композитных кабелей с иерархической структурой



*) фото ENEA-FRASCATI

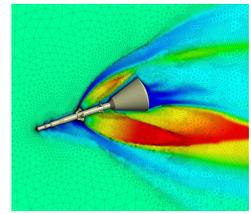
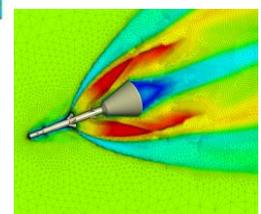
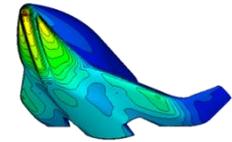
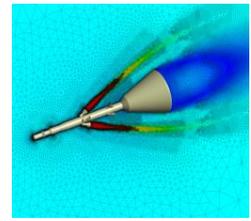
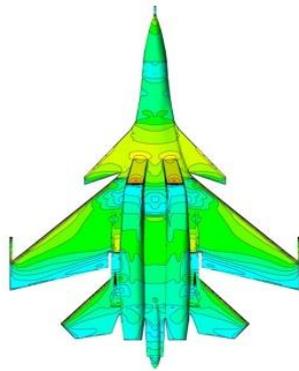
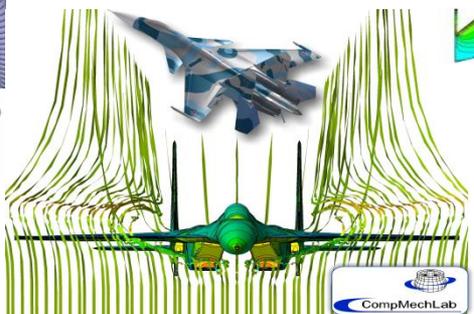
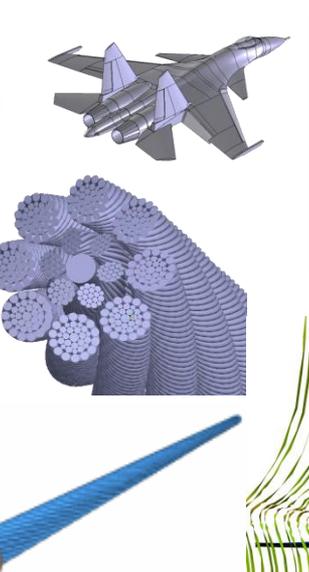


- 1422 жилы в кабеле
- 4675 включений Nb_3Sn в каждой жиле



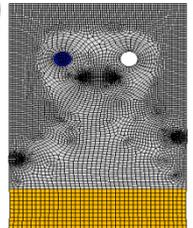
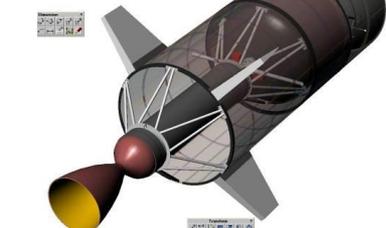
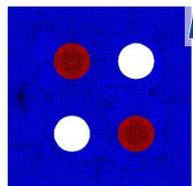
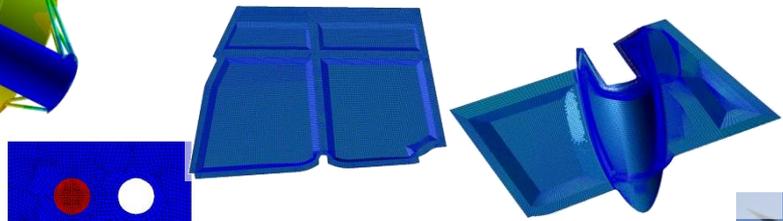
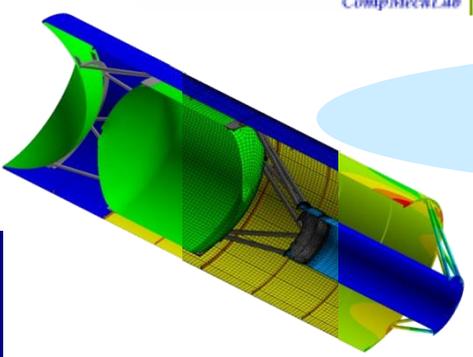
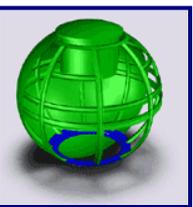
Nemov A.S., Boso D.P., Voynov I.B., Borovkov A.I., Schrefler B.A. Generalized stiffness coefficients for ITER superconducting cables, direct FE modeling and initial configuration // Cryogenics, 2010, Volume 50, Issue 5, 304 - 314.

Немов А.С., Боровков А.И., Шрефлер Б.А. Многоуровневая гомогенизация кабелей с иерархической композитной структурой // Научно-технические ведомости СПбГПУ. СПб.: Изд. СПбГПУ. 2009. № 3. 153 – 162.



CompMechLab

CompMechLab





О работах сотрудников *CompMechLab* в BDC

- **16** *CompMechLab*-инженеров принимали участие в 2006-2007 гг. в работах *Boeing Design Center (BDC)* по расчетам прочности различных **КОМПОЗИТНЫХ И ТИТАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ САМОЛЕТА** нового поколения ***Boeing 787 Dreamliner***;
- *CompMechLab*-инженеры регулярно применяли *Boeing*-специализированные программные продукты и нормы прочности – ***Boeing Design Manual***;
- Основные виды расчетов – конечно-элементные расчеты на основе CAE-систем **MSC.Software (Patran, Nastran)**.

Результаты деятельности *CompMechLab* отмечены Дипломами:

- **«Appreciation Award»** за активное участие в программе ***787 Dreamliner***,
- **«Best of the Best 2006»** за работу в BDC в 2006 году.





Boeing 7E7 DreamLiner / 787



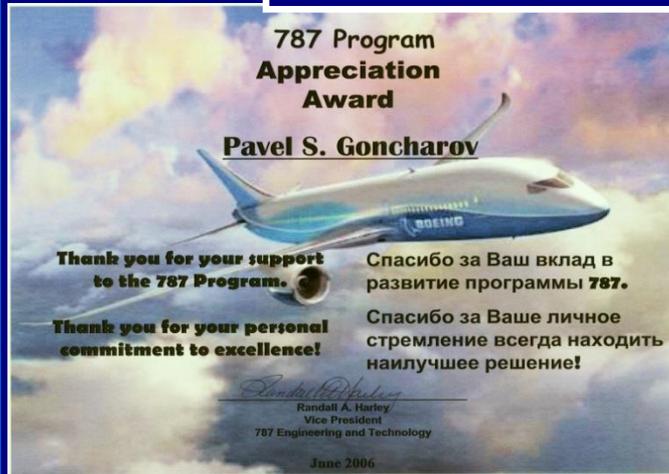
BDC Engineering Area

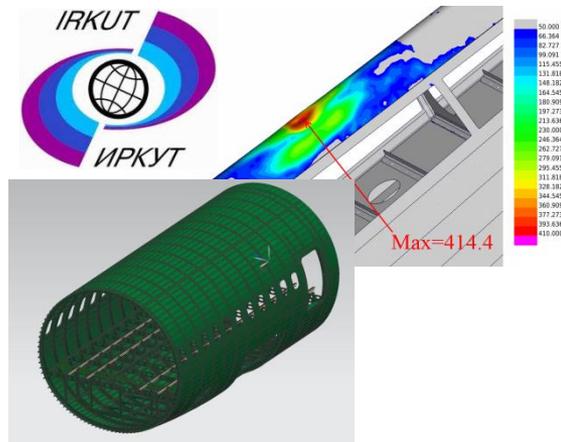
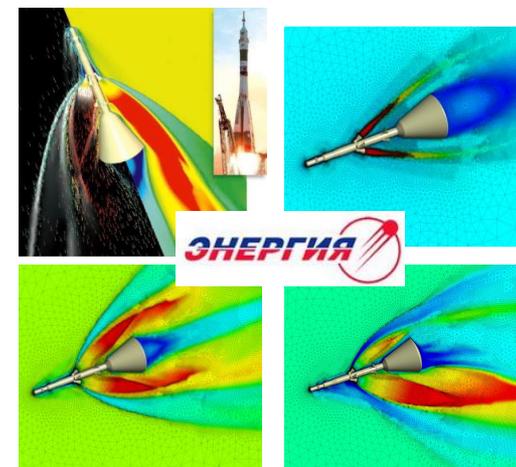


Video Conference Room



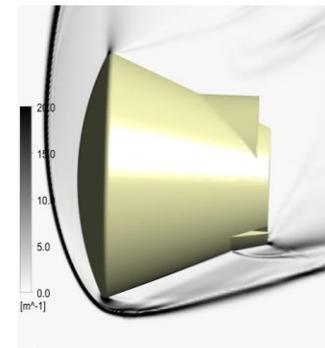
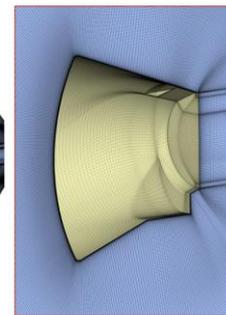
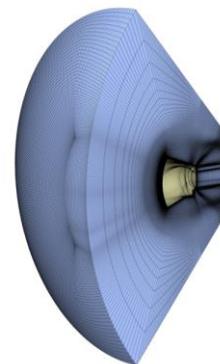
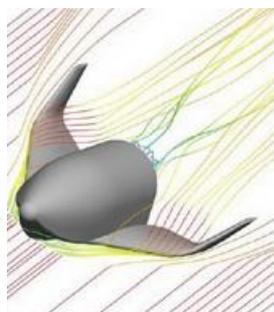
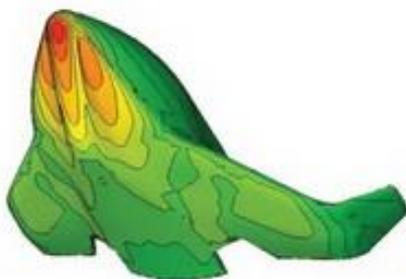
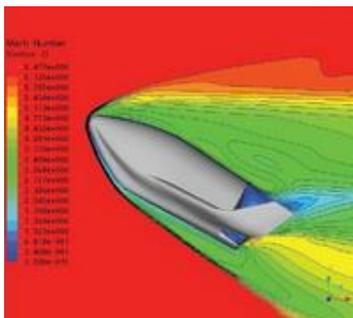
CompMechLab Diplomas from Boeing Chiefs



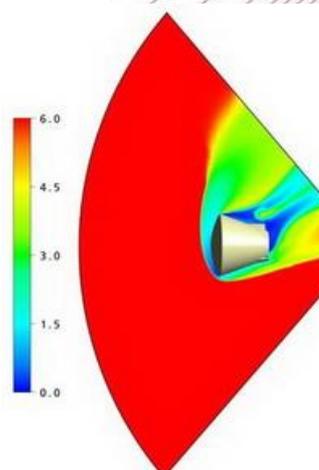
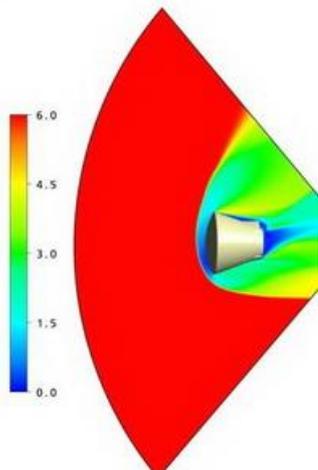
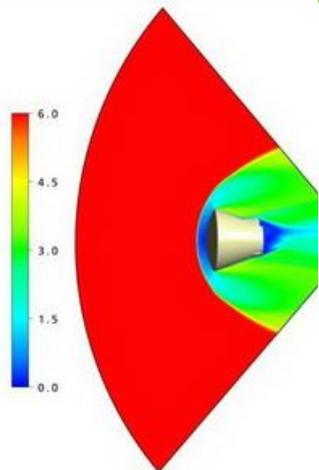




CRAY CX1 & (ANSYS ICEM CFD & ANSYS CFX). Гиперзвуковое обтекание возвращаемого аппарата



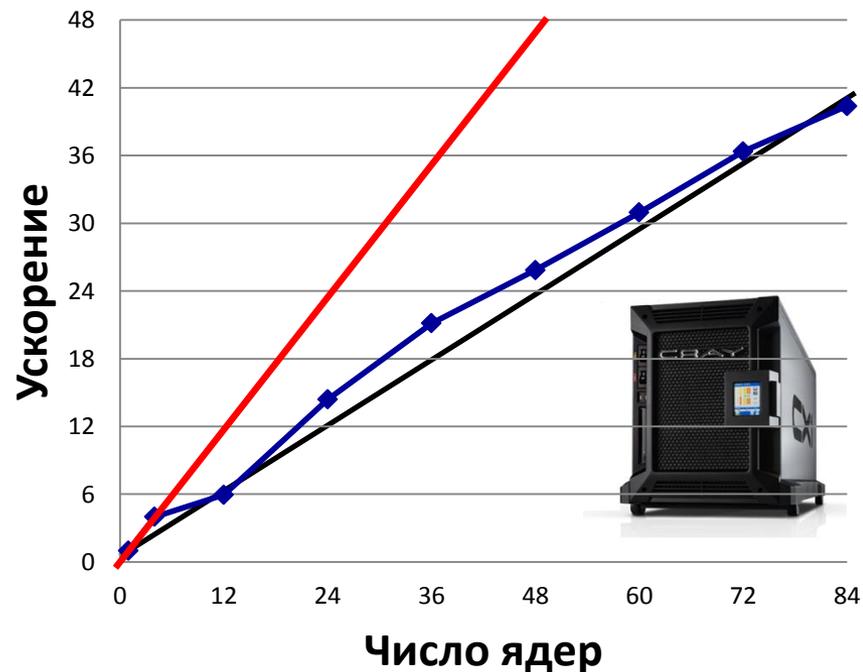
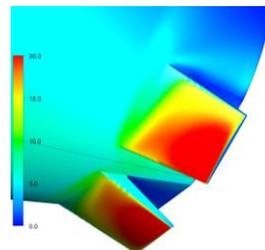
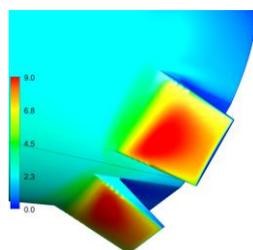
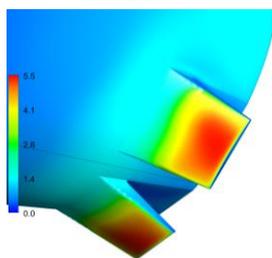
Производительность



$\alpha = 0^\circ$

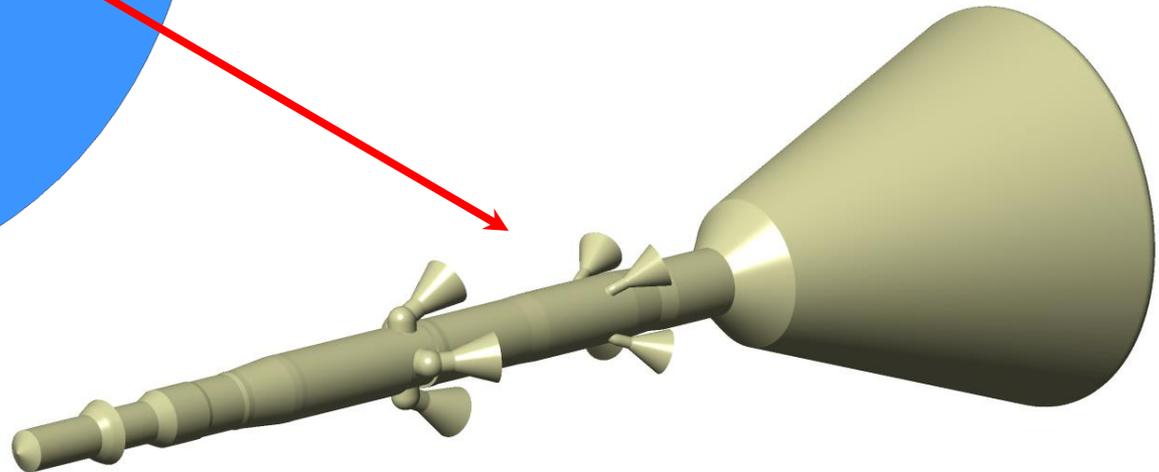
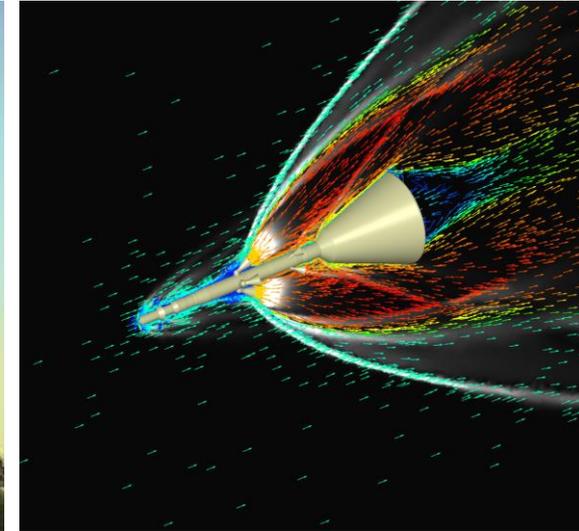
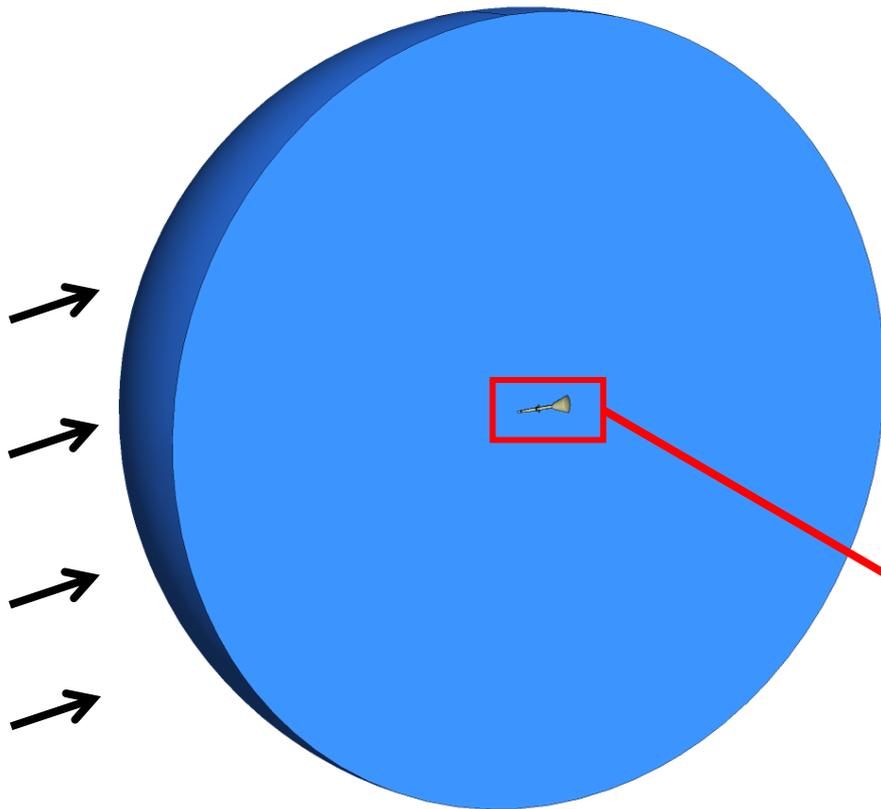
$\alpha = 20^\circ$

$\alpha = 40^\circ$





Ракетный блок аварийного спасения (РБАС)

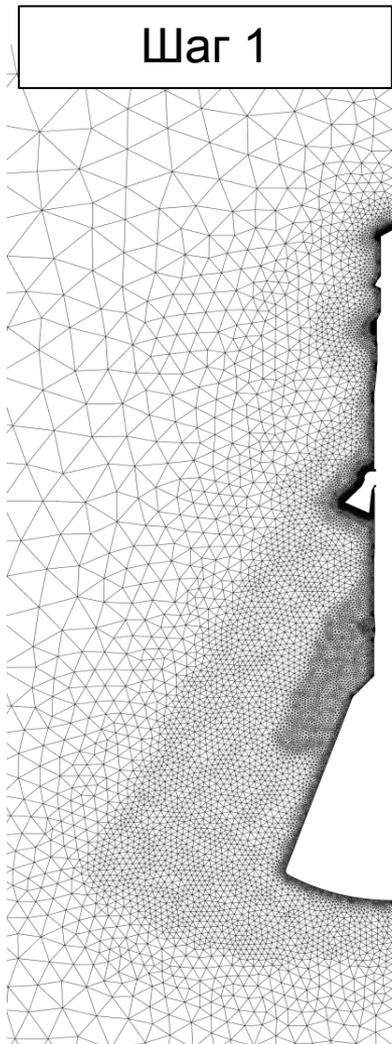


Расчетные числа Маха
 $M = 0.6; 1; 1.5; 4$



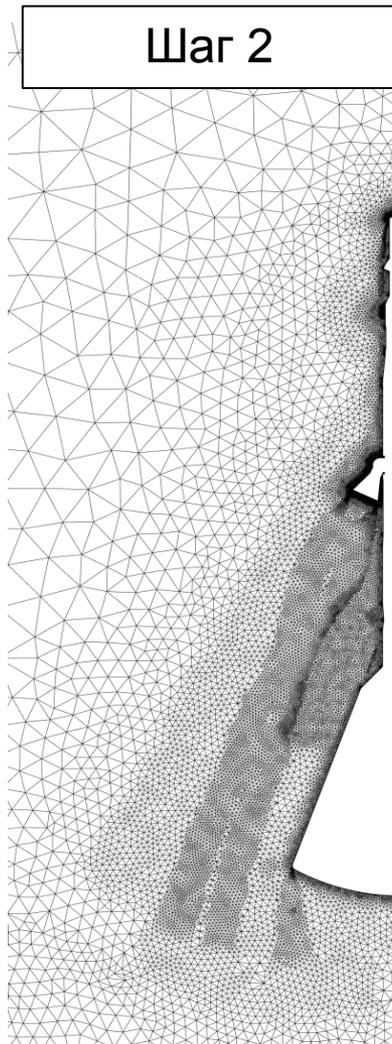
Автоматическая адаптации сетки расчетной области

Шаг 1



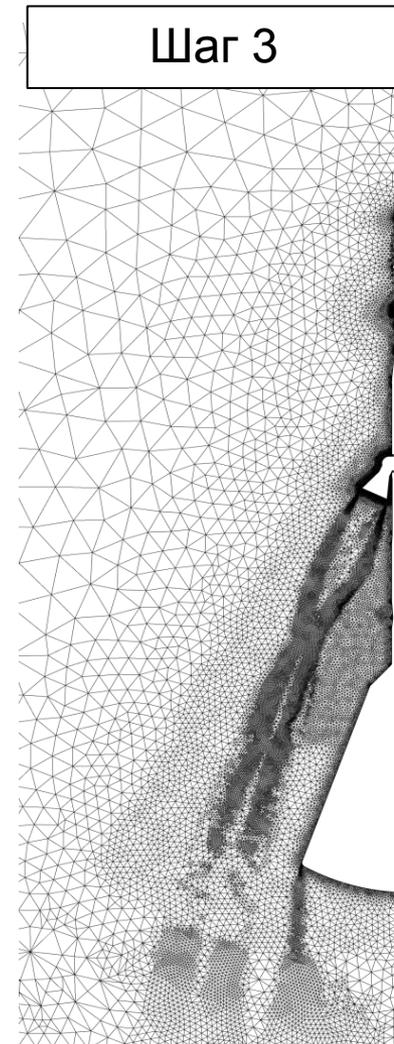
~ 25 млн. ячеек

Шаг 2



~ 37 млн. ячеек

Шаг 3



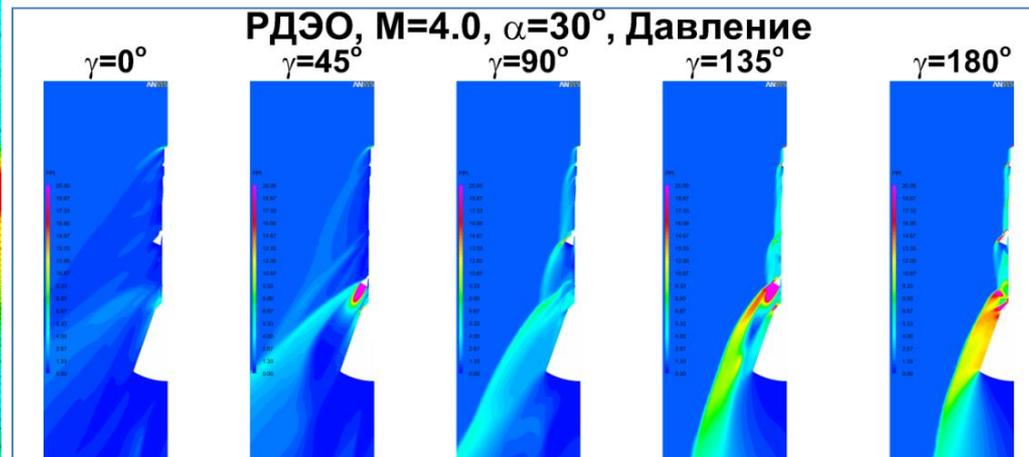
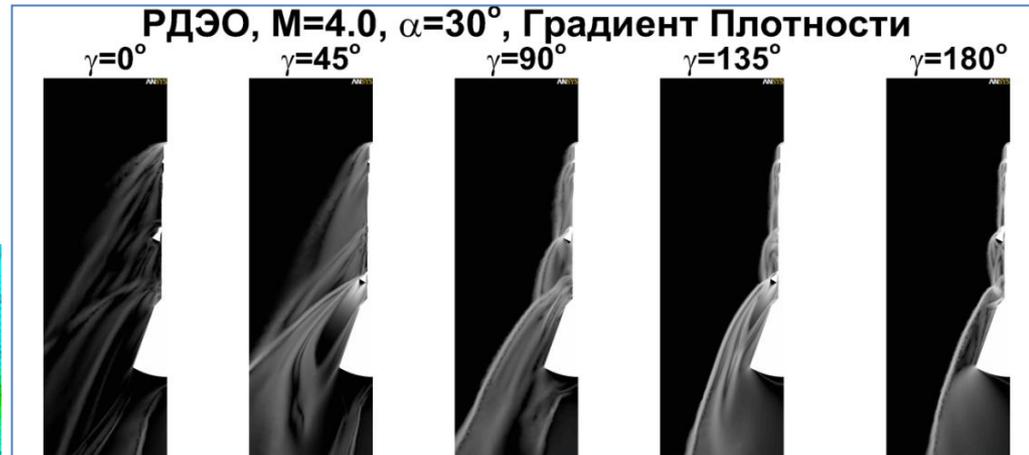
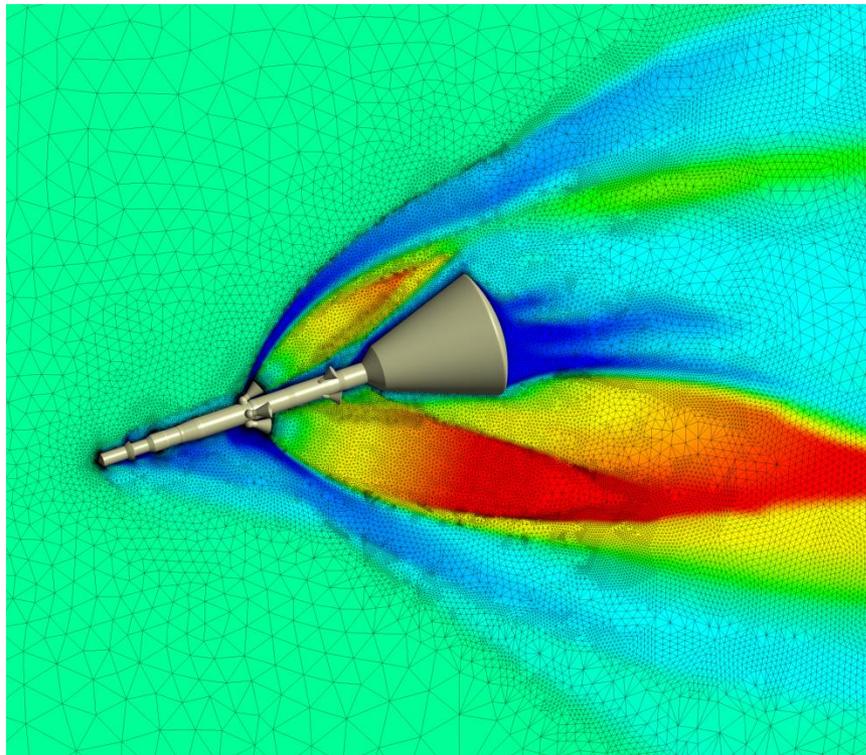
~ 55 млн. ячеек



Результаты расчета обтекания РБАС с включенными двигателями ОРД (основной ракетный двигатель). $M = 4$

Угол атаки $\alpha = 30^\circ$

Поле чисел Маха





Палубный аэрофинишер на авианосце



Приемный трос

Тормозной цилиндр

Тормозной трос

Соединительная муфта

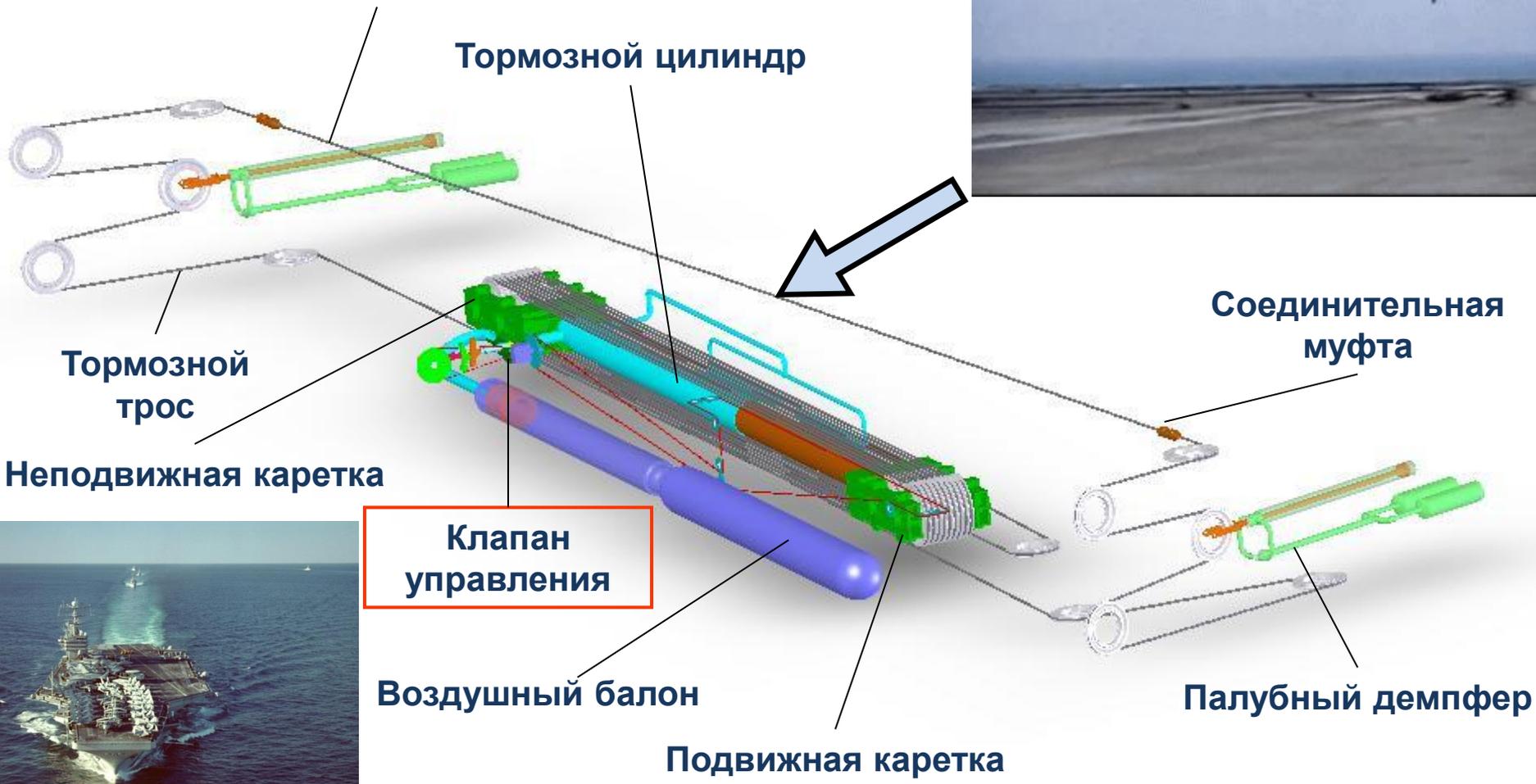
Неподвижная каретка

Клапан управления

Воздушный баллон

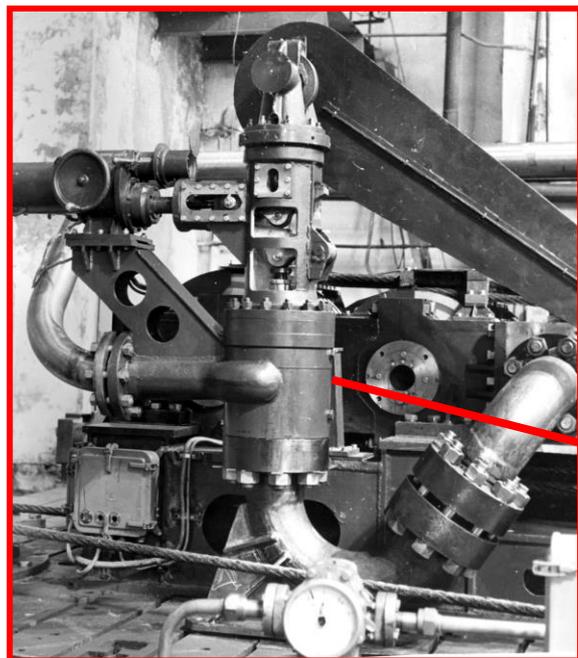
Палубный демпфер

Подвижная каретка

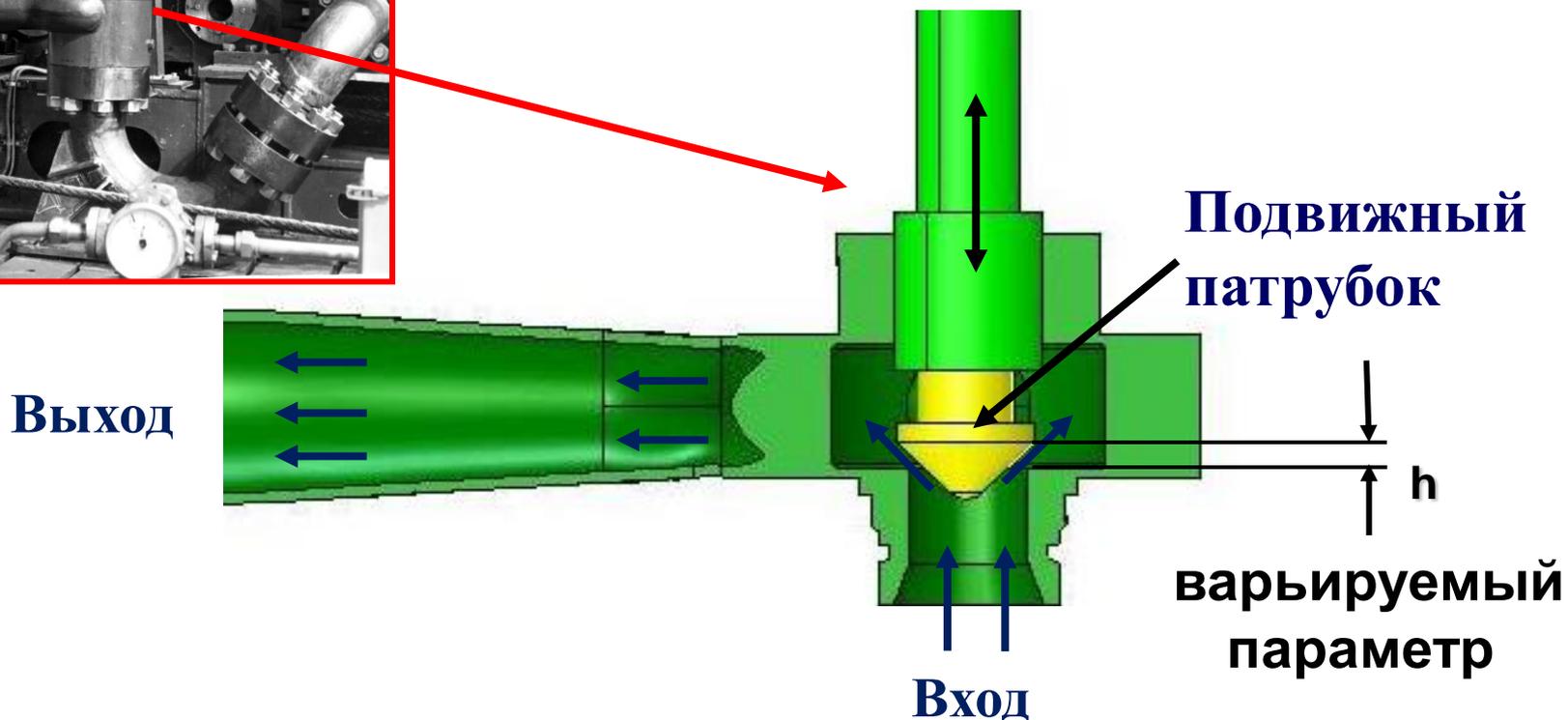




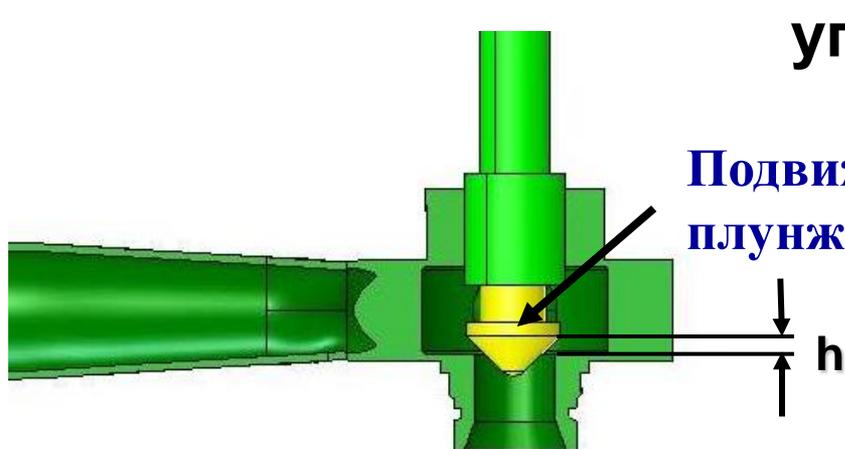
Регулировочный клапан управления тормозной машины палубного аэрофинишера



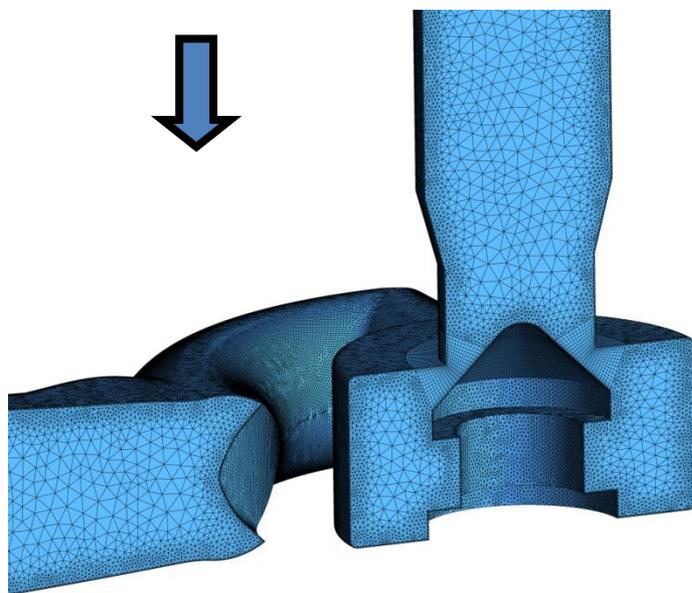
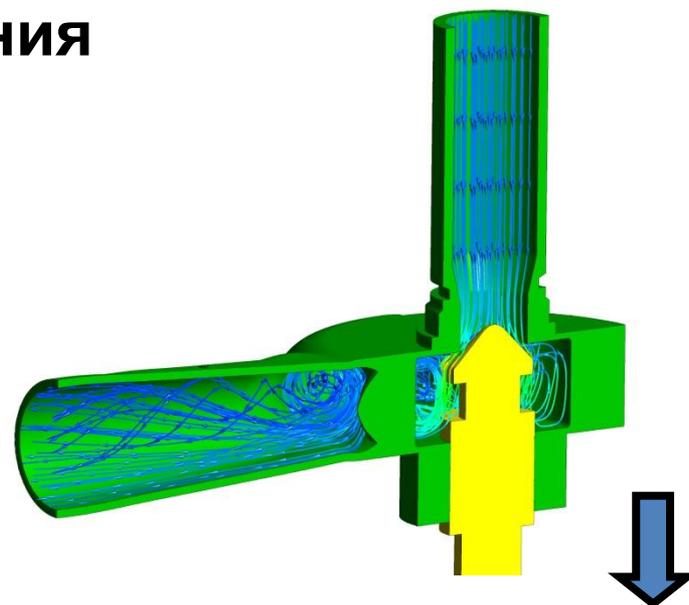
3-D геометрическая модель регулировочного клапана управления



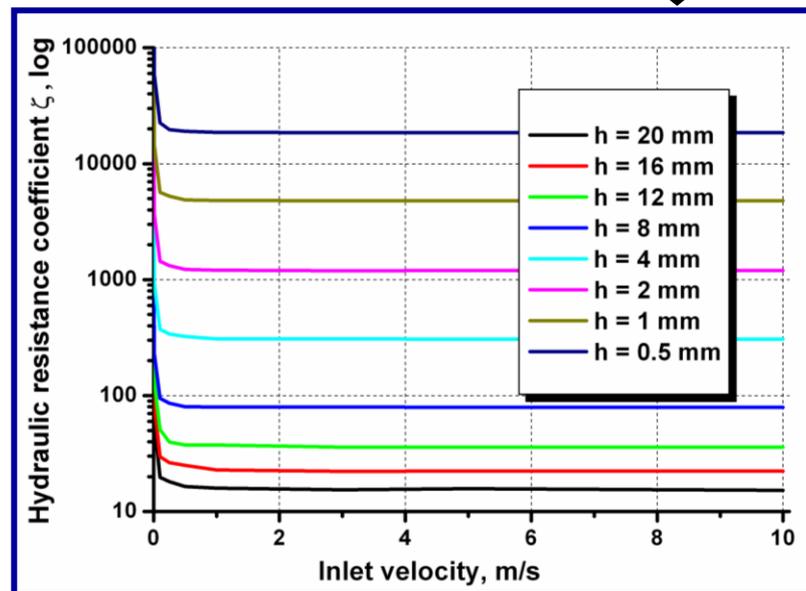
Исследование гидравлических характеристик клапана управления



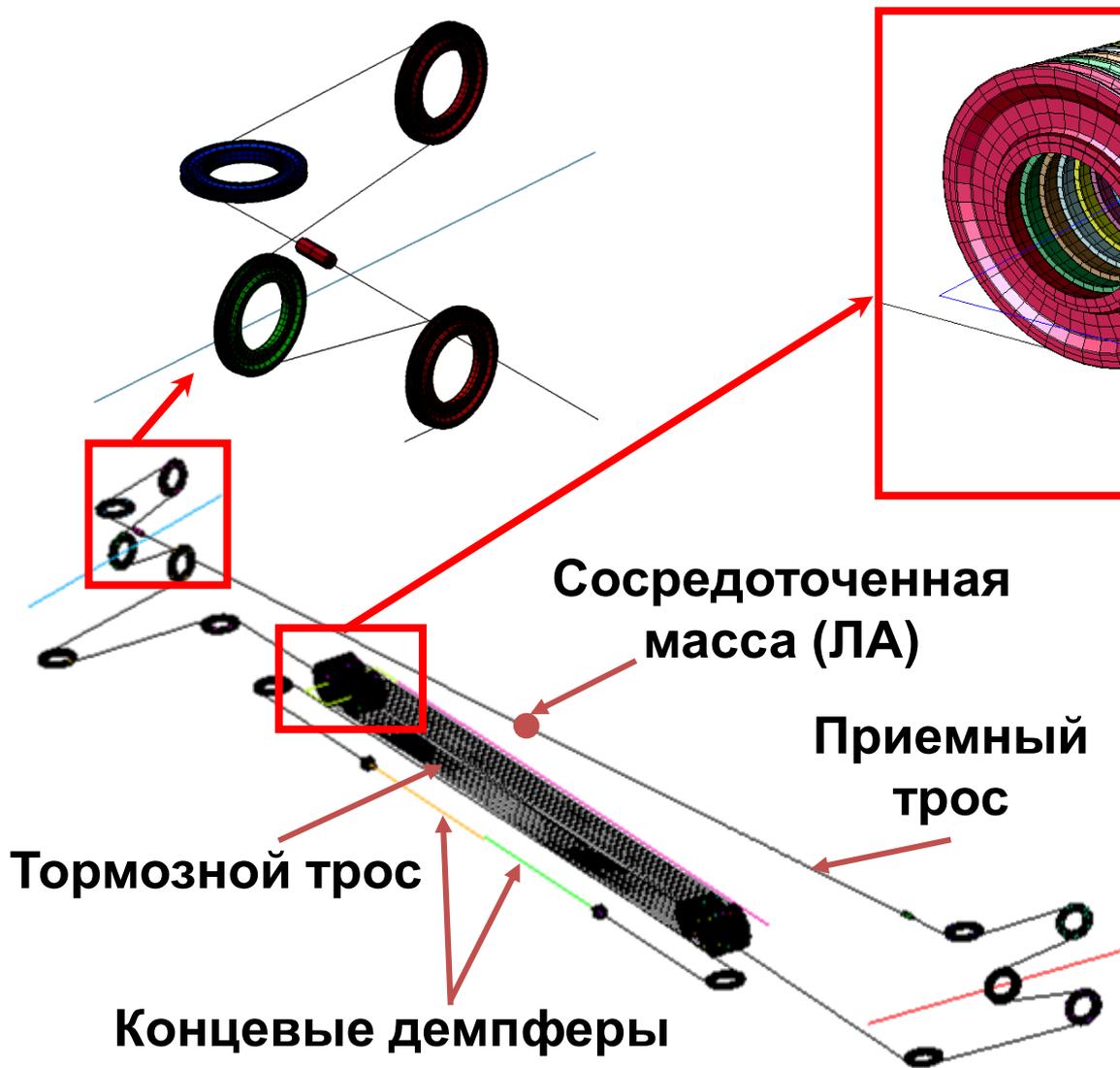
h – переменный параметр



Типичная расчетная сетка для CFD анализа



КЭ динамическая модель палубного аэрофинишера

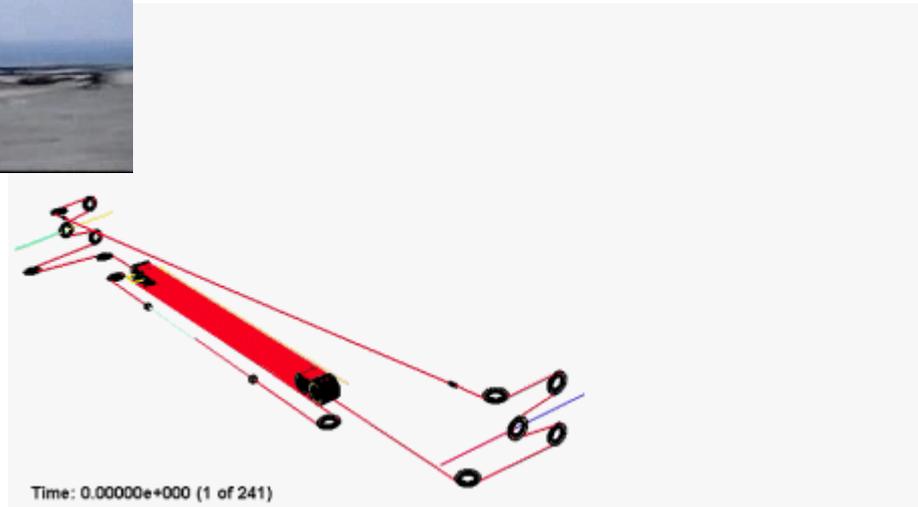
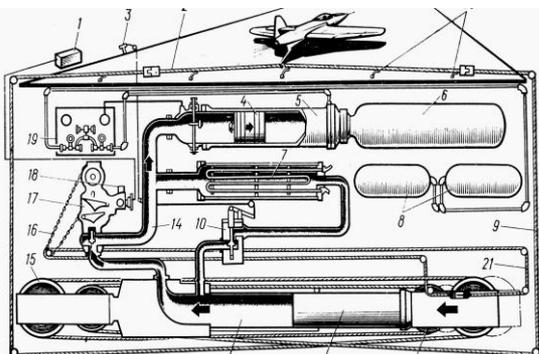
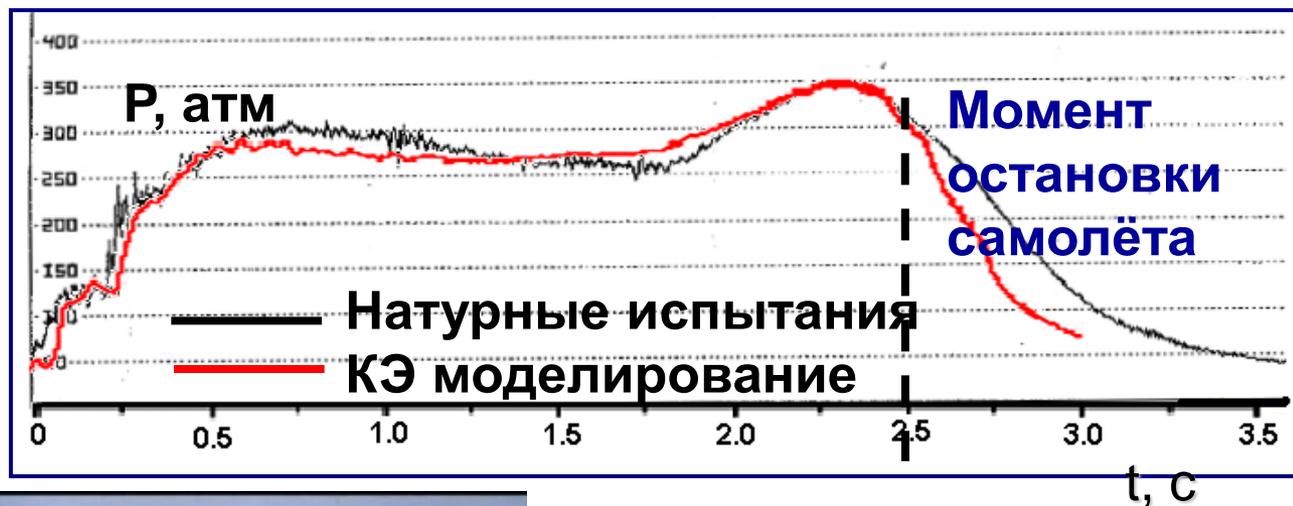


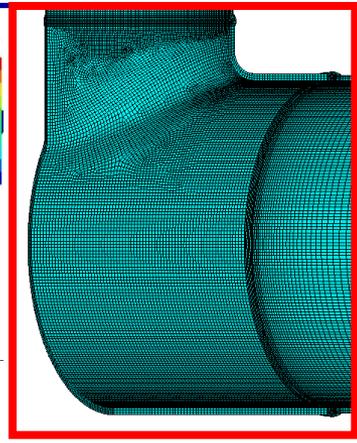
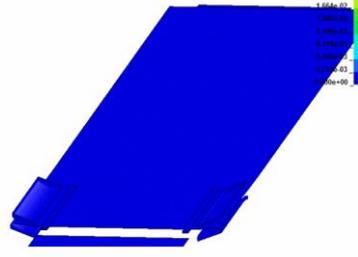
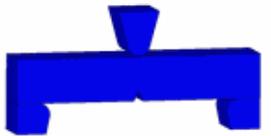
**Подвижные блоки.
18 блоков на 2-х осях**

Число элементов "трос"	14 326
Число 3-D элементов (блоки)	63 408
Число дискретных элементов (жесткость, вязкость)	8
Общее число узлов	118 953

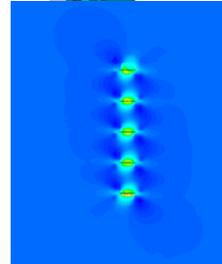
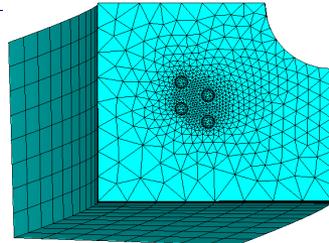
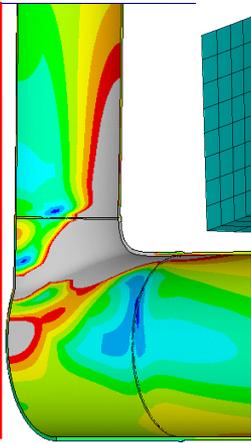


Изменение давления в гидроцилиндре тормозной машины

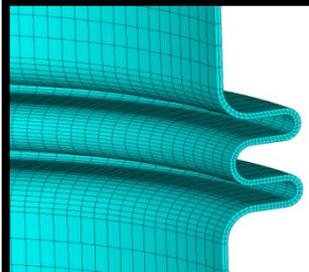
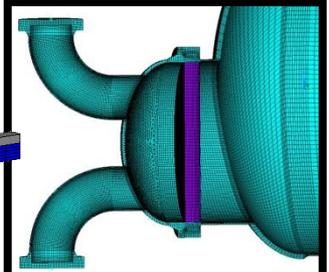
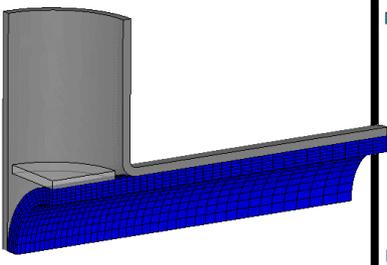
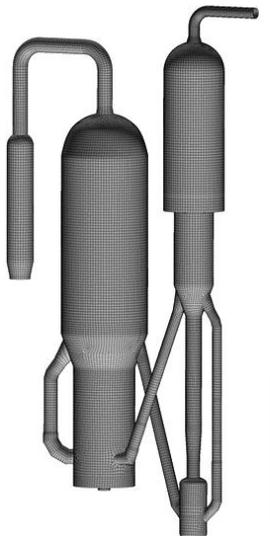
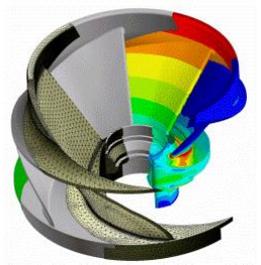
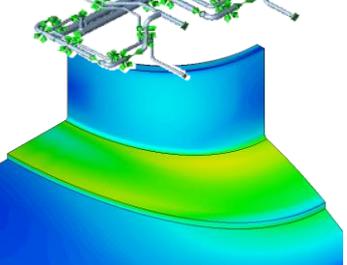
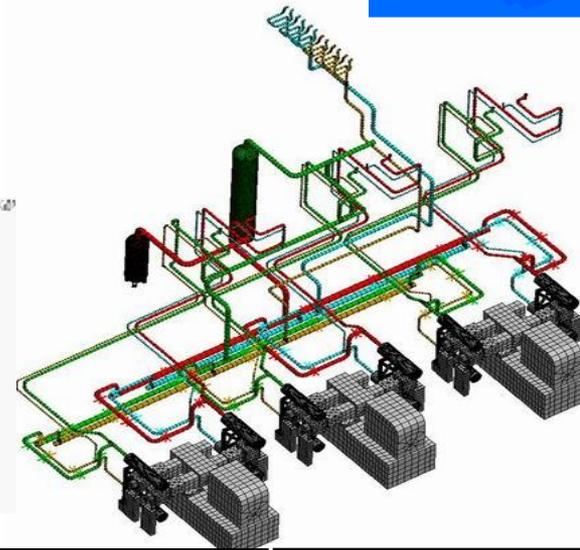
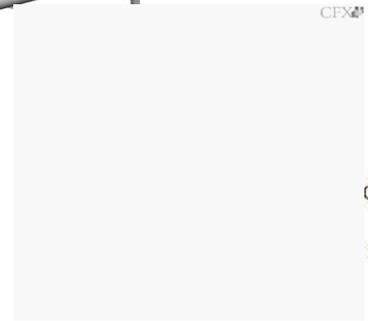
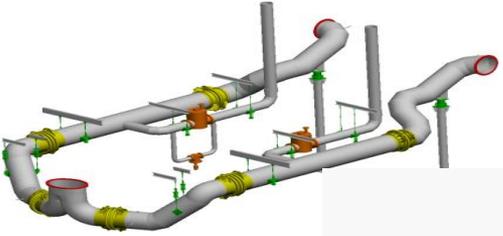
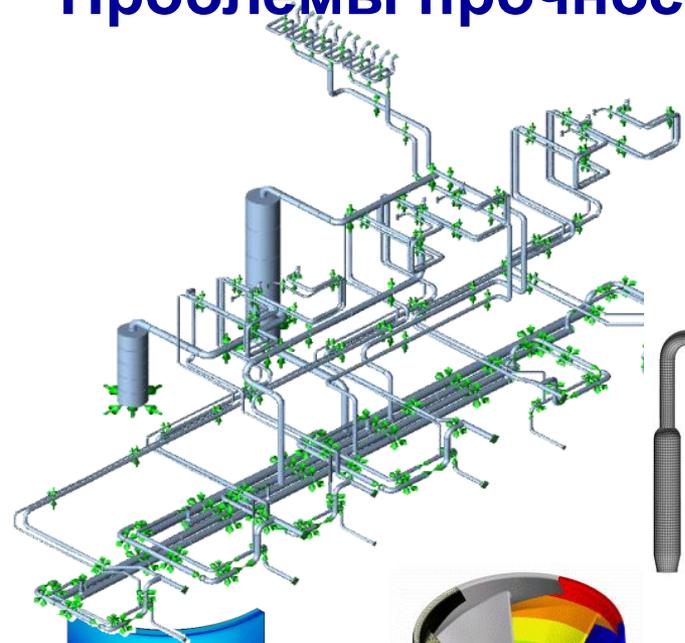




Fringe Levels
 2.773e-02
 2.496e-02
 2.218e-02
 1.941e-02
 1.664e-02
 1.387e-02
 1.110e-02
 8.330e-03
 5.560e-03
 2.790e-03
 0.000e+00



Проблемы прочности трубопроводов



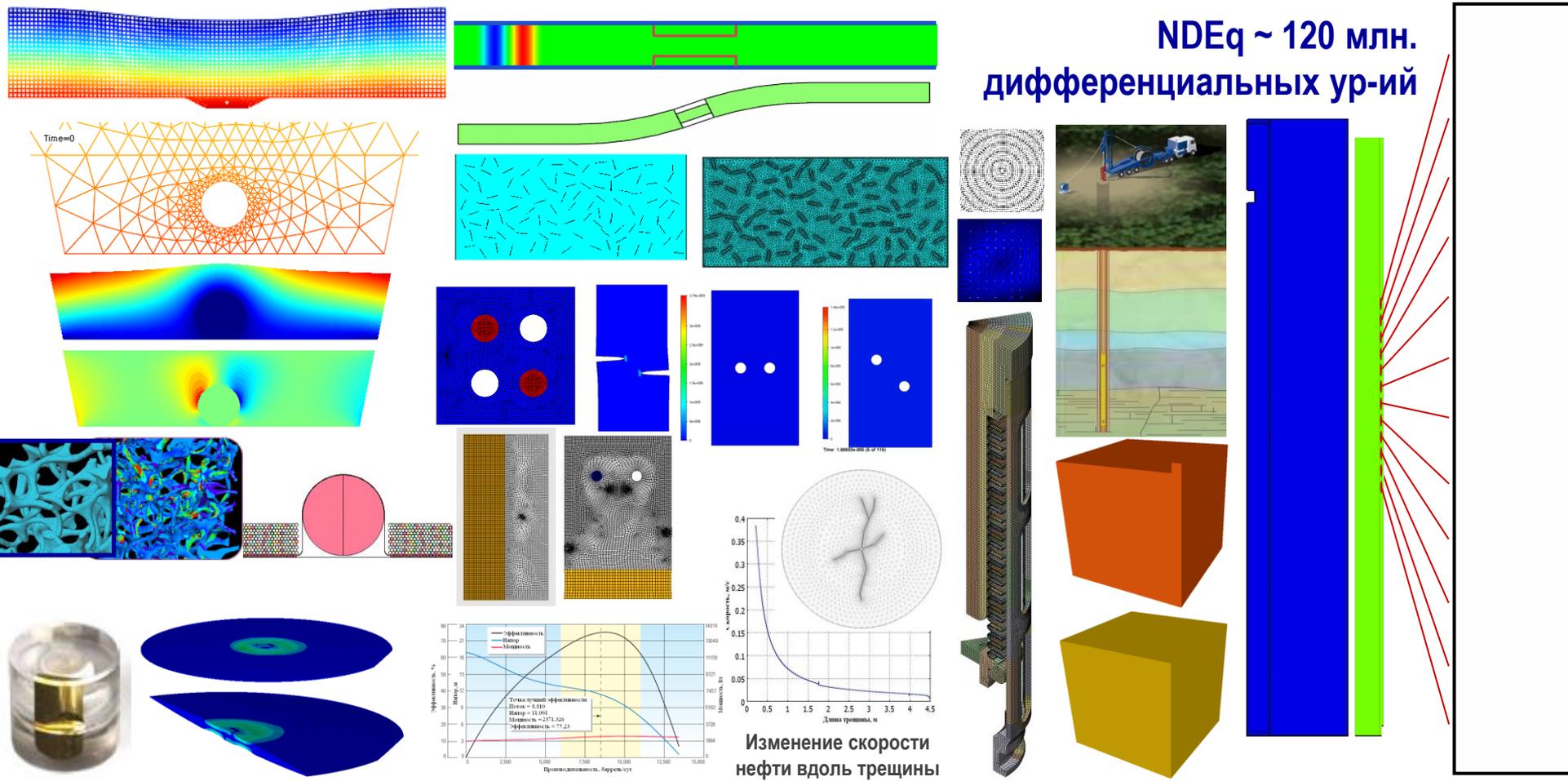


Нефтегазовая отрасль. Нефте- / газо- разведка и добыча

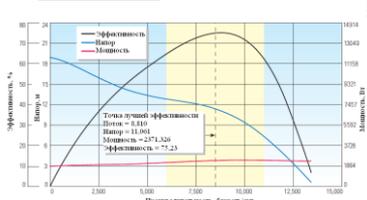
Направления деятельности: геомеханика, фильтрация, течения в пористых средах, акустика, распространение волн в микронеодн. средах, акустический каротаж, гомо-/гетеро-генизация (определение эффективных хар-к и локальных полей), скважинные приборы, диагностика засоренных волноводов, ГРП и мн. др.

H&S: суперкомпьютер CRAY CX1 & HP*С-CAE / (ABAQUS, ANSYS, LS-DYNA, MARC, RADIOSS, ...)

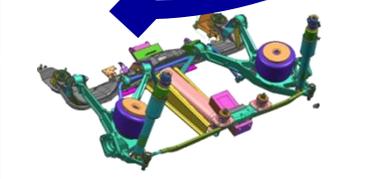
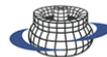
Заказчики: Газпром (ВНИИГАЗ, ГипроСпецГаз, ...), Schlumberger, Weatherford, Hydratight, Apache Energy, ...



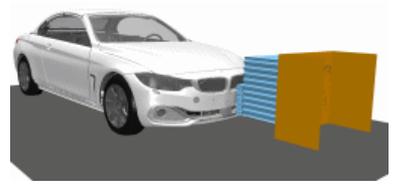
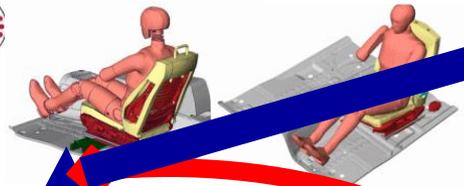
NDEq ~ 120 млн.
 дифференциальных ур-ий



Изменение скорости нефти вдоль трещины



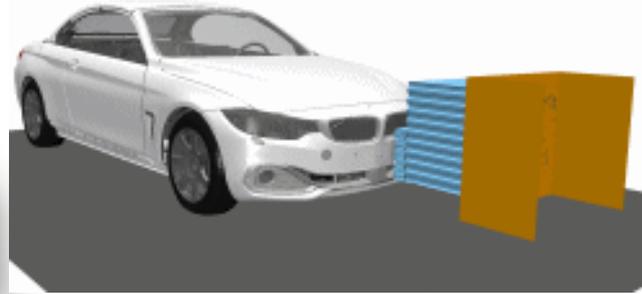
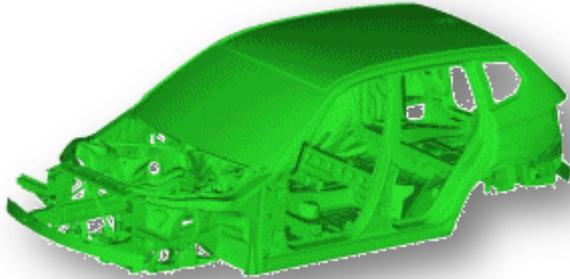
DAIMLER



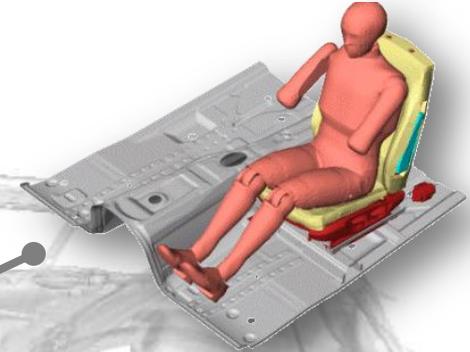


Crash analysis

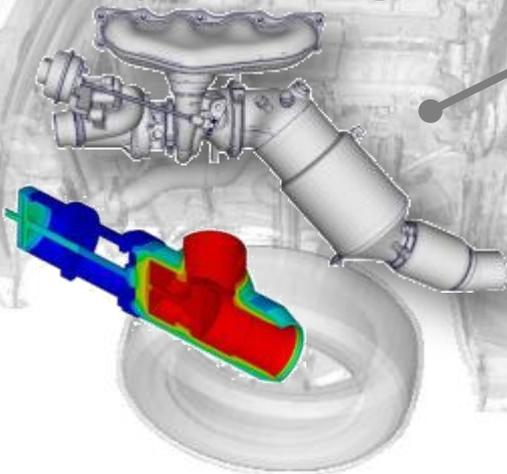
Strength and NVH



Occupants Protection



Thermo-Mechanical Analysis, Fatigue



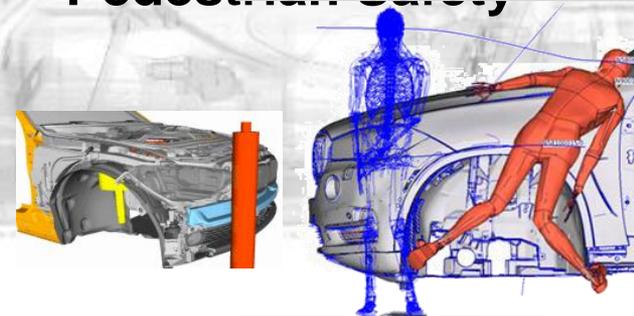
Vehicle Development



Validation



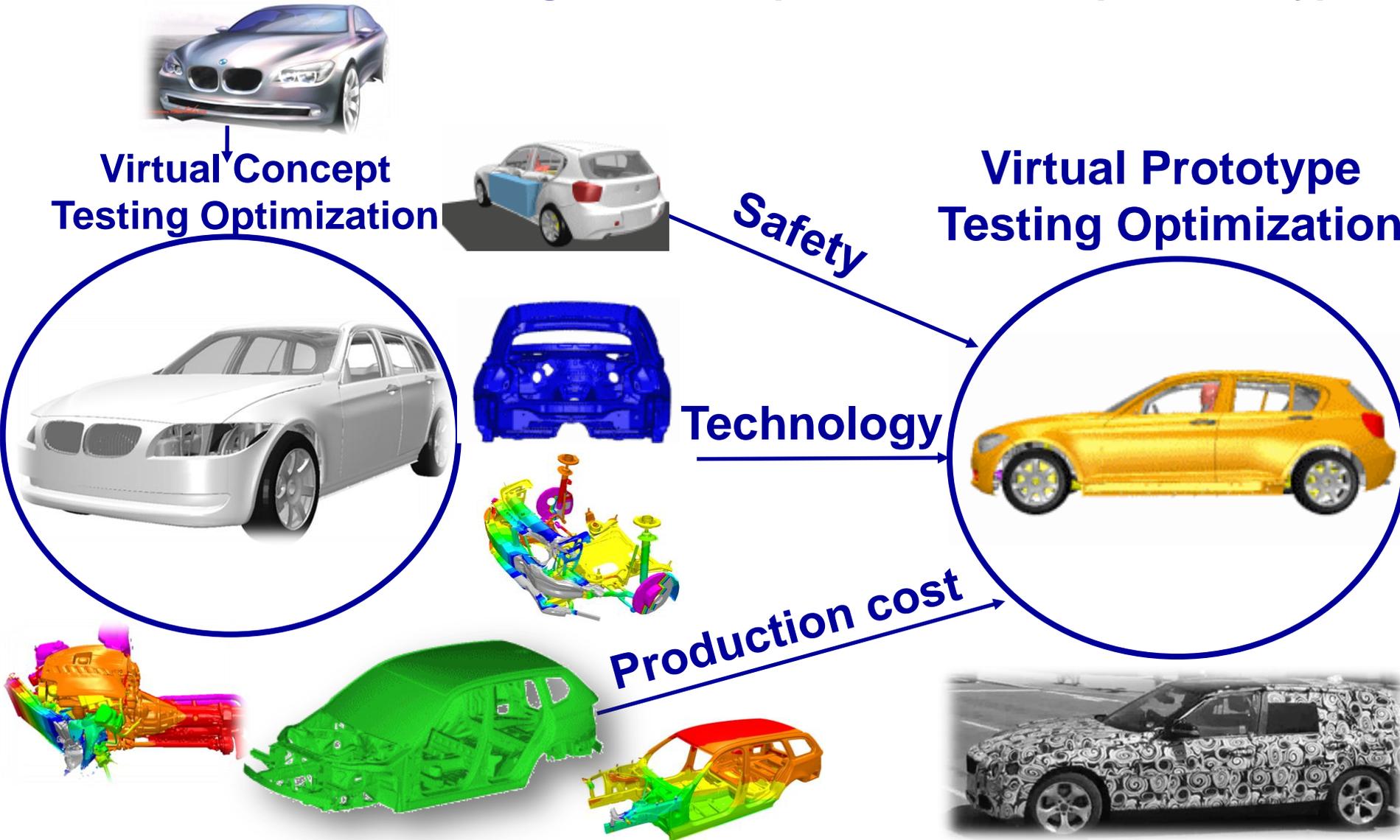
Pedestrian Safety



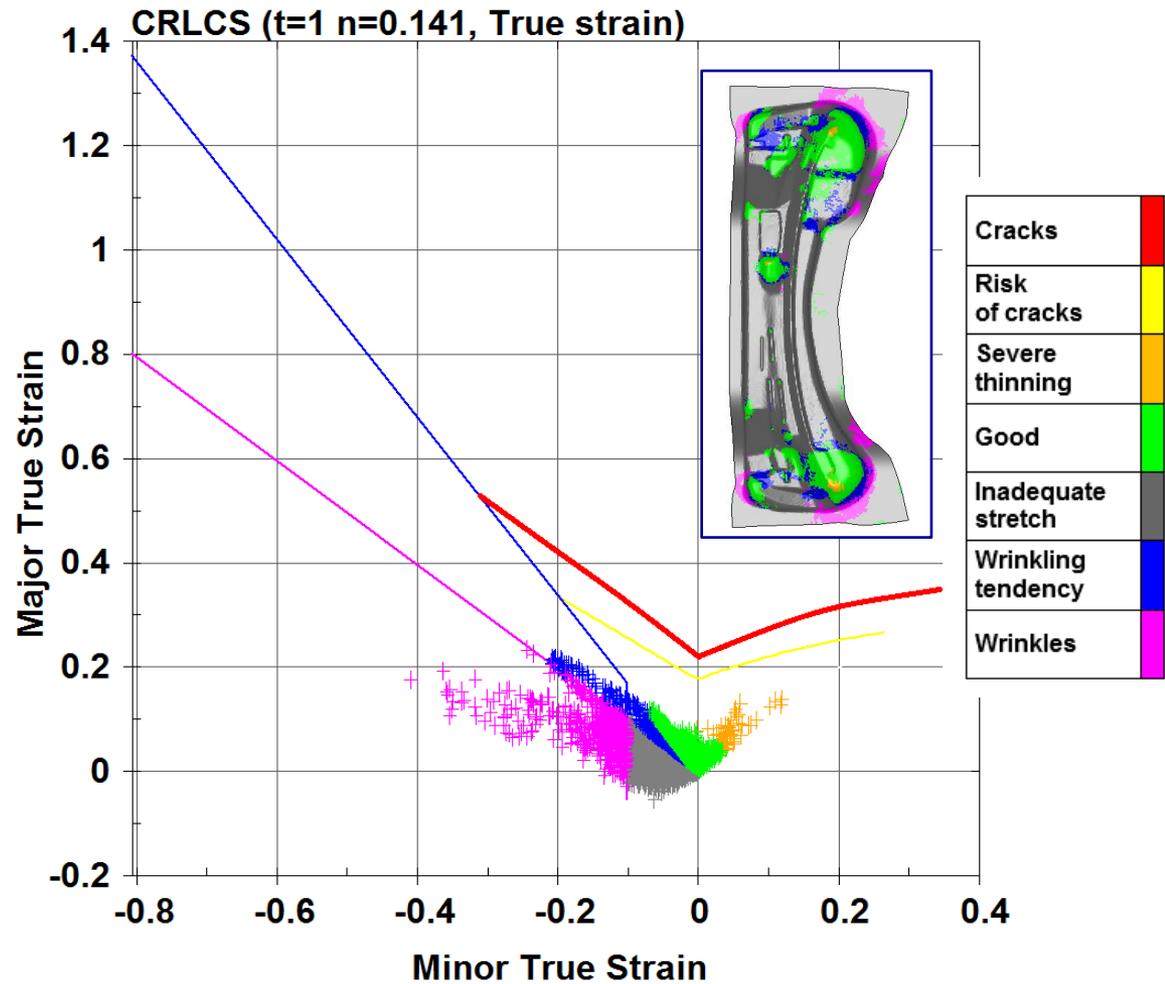
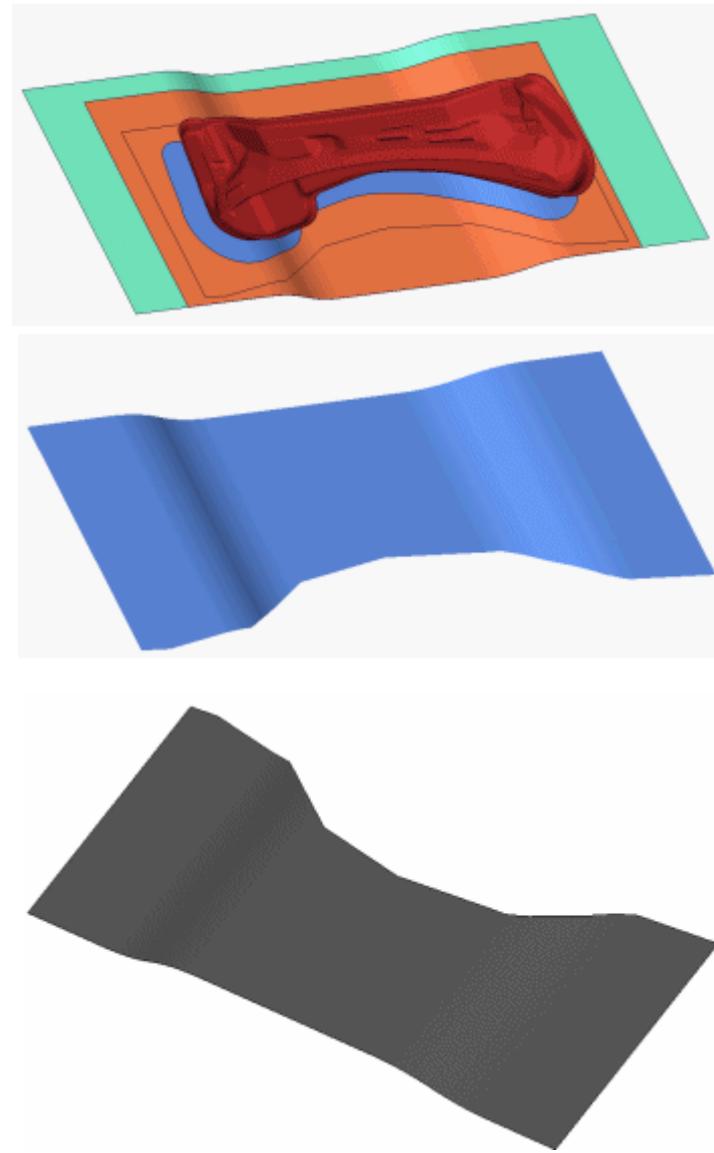


CompMechLab Target on Vehicle Concept Engineering Work

Simulation in Phases: Designer Mock-up – Virtual Concept – Prototype



Estimating formability using Forming Limit Diagram

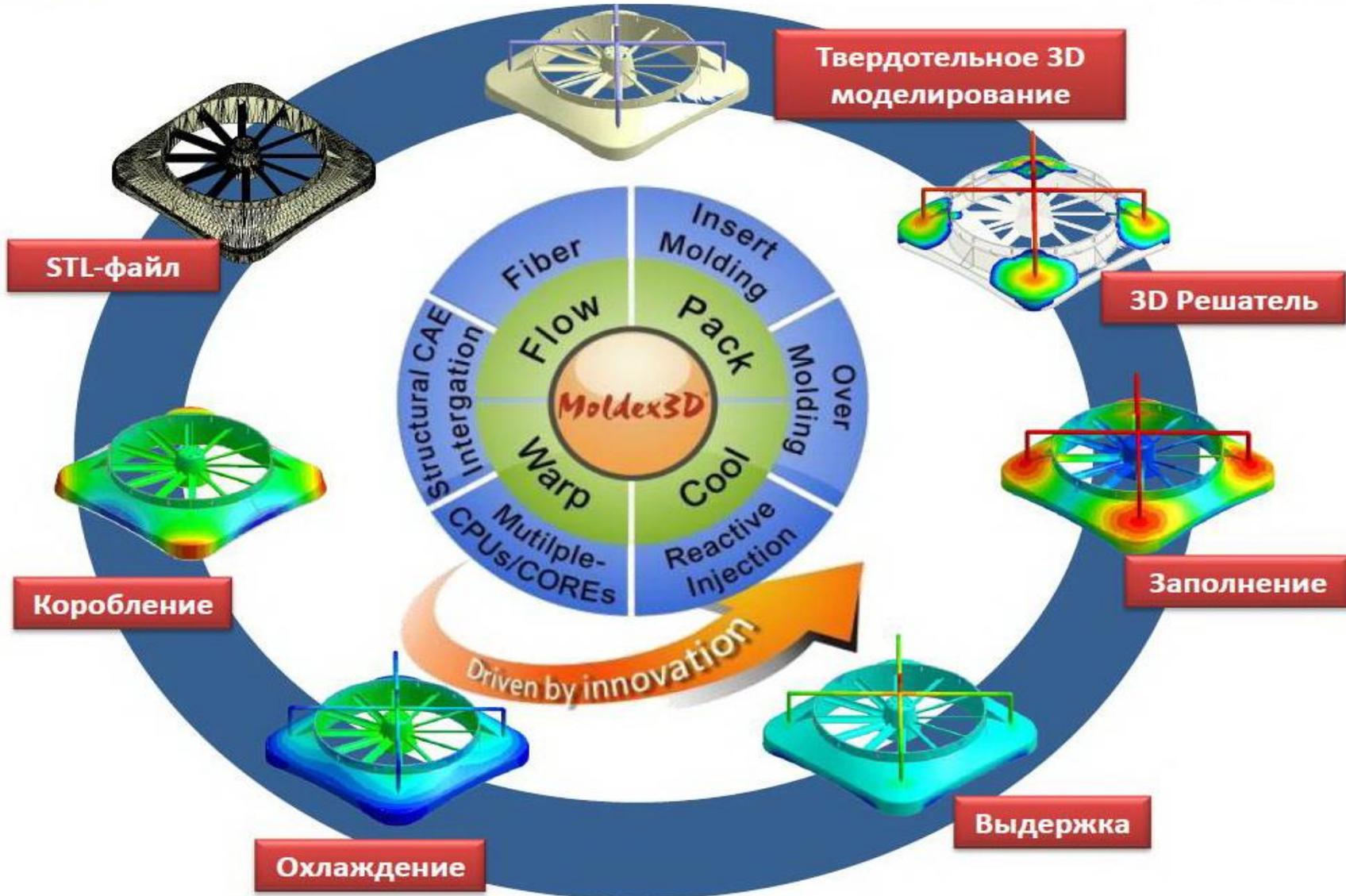




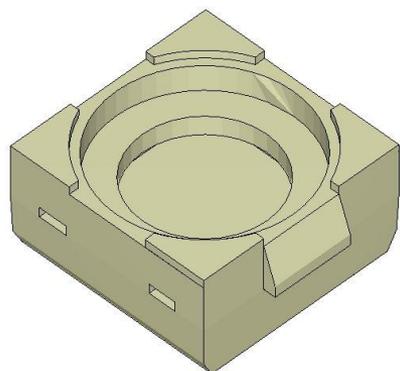
CompMechLab®

Литье под давлением пластмассовых деталей, армированных короткими волокнами

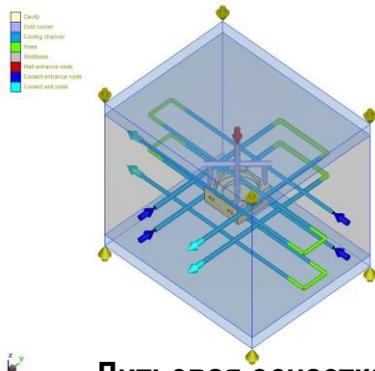
Moldex3D
 MOLDING INNOVATION



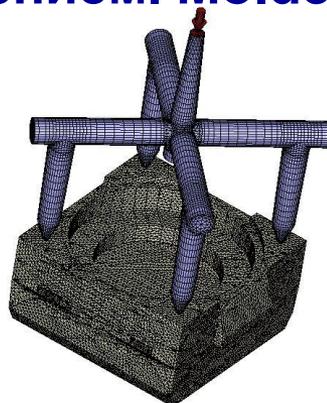
КЭ моделирование полного цикла литья пластмассовой детали (заглушки) под давлением. Moldex3D/eDesign



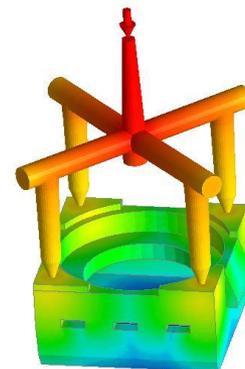
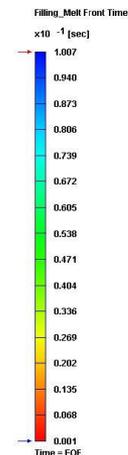
Исходная деталь,
3-D CAD-модель



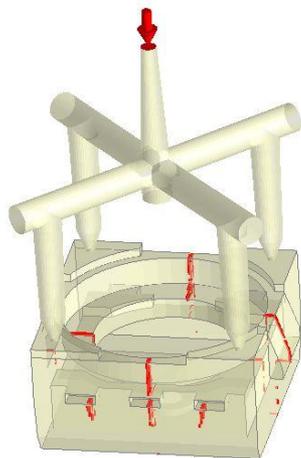
Литьевая оснастка
(литниковые каналы,
система охлаждения)



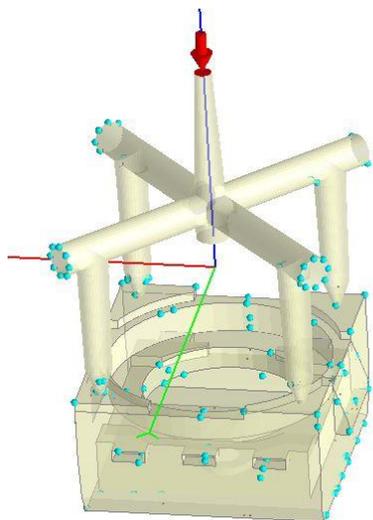
NE = 327 274
 NN = 322 848



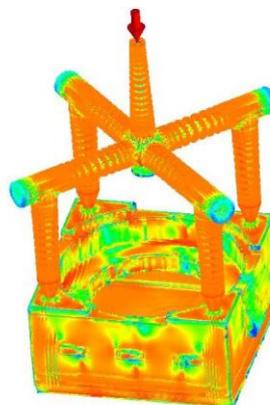
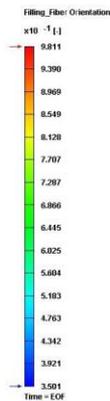
Заполнение литьевой полости
фронтом расплава пластмассы



Вероятные зоны
образования линий спая

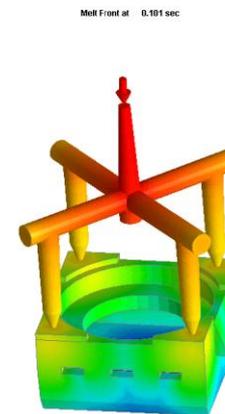
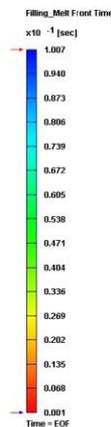


Вероятные зоны
образования
«воздушных ловушек»



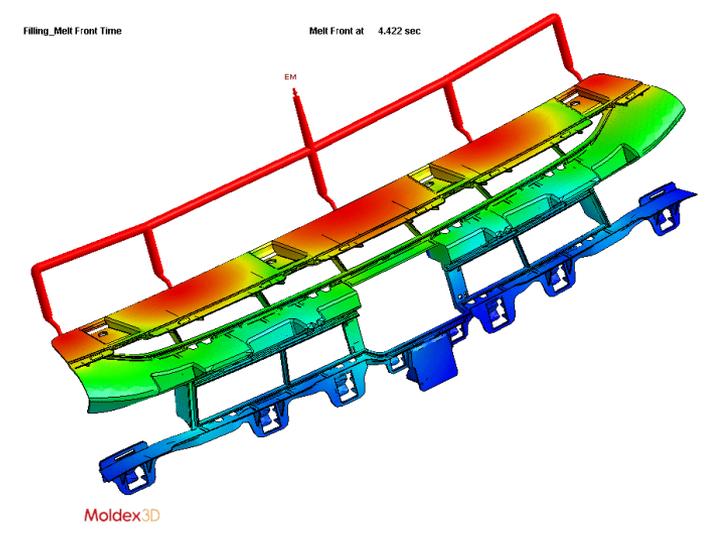
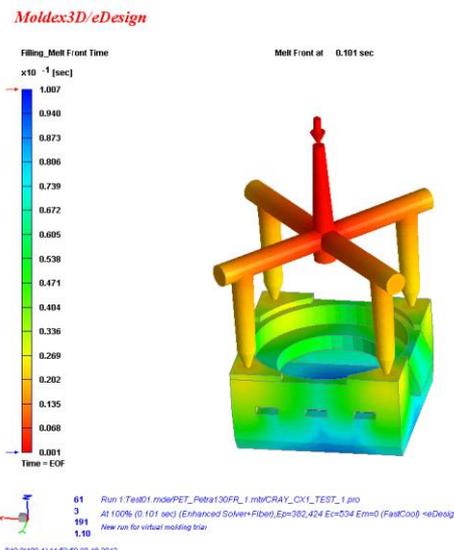
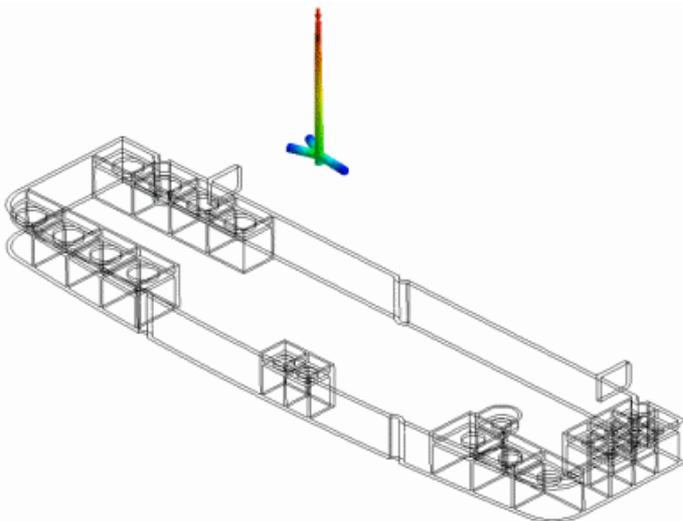
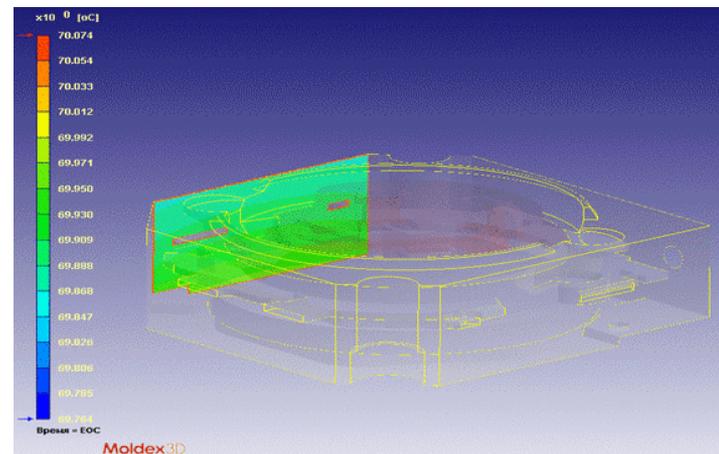
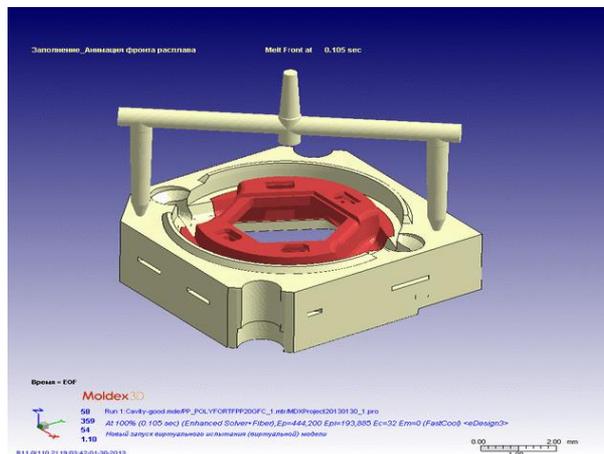
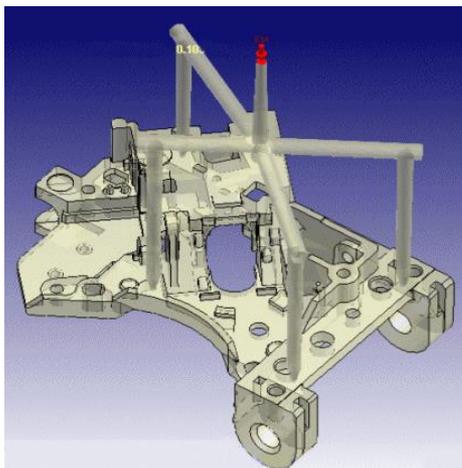
Поле ориентации
армирующих волокон в
результате заполнения
формы

Moldex3D/eDesign



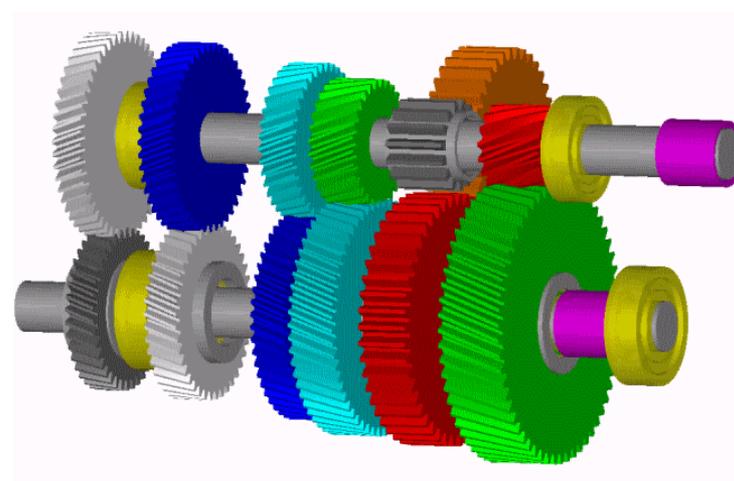
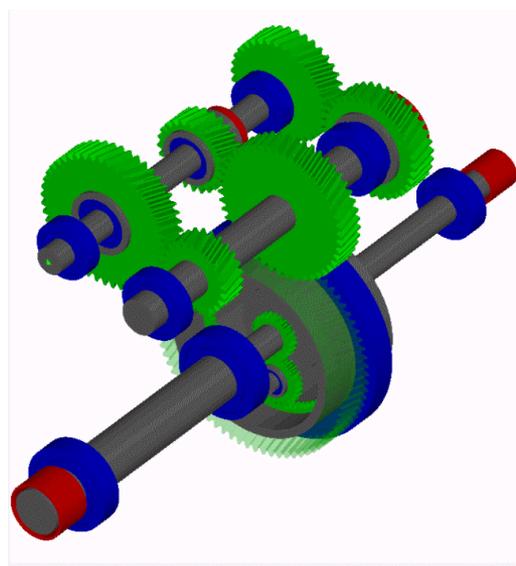
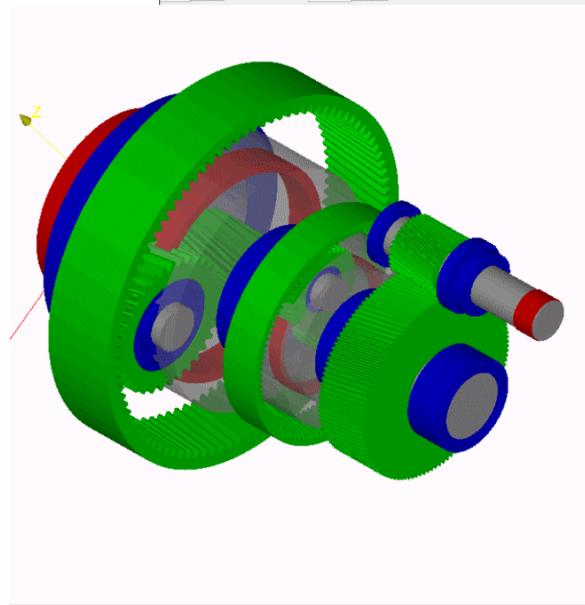
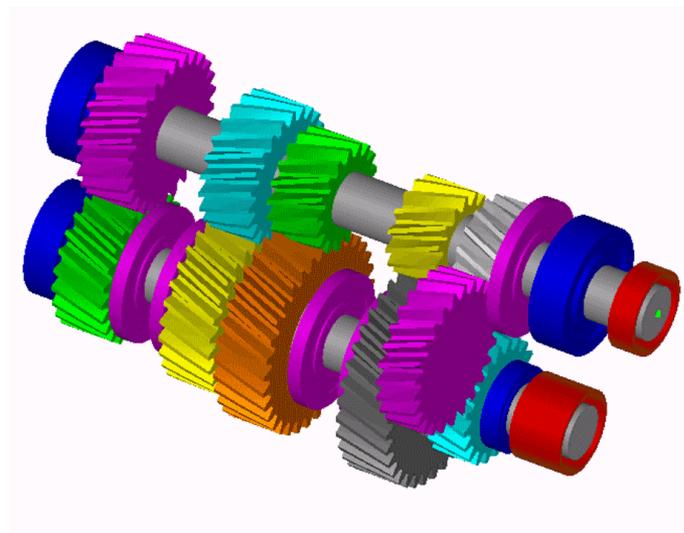
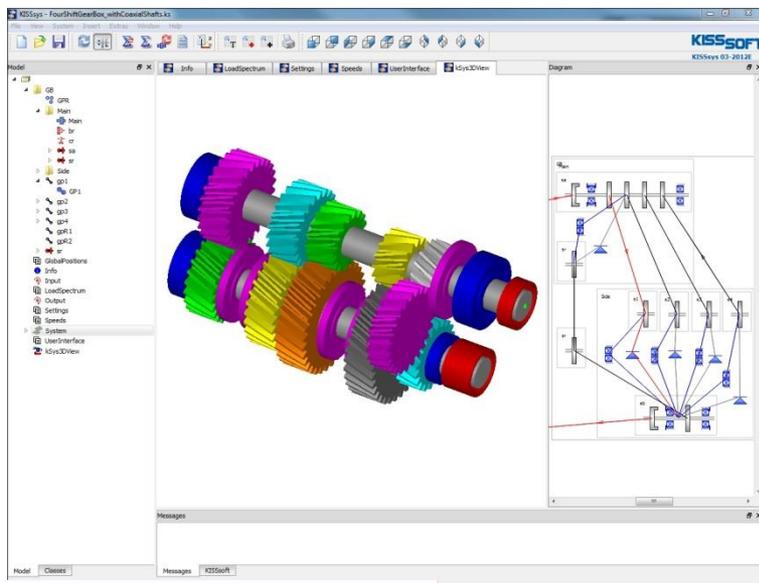
61 Run 1: Test01.moldPET_Fibres130FR_1.mbrCRAV_CX1_TEST_1.pro
 3 At 100% (0.101 sec) (Enhanced Solver+Fiber), Eps=382,424 Ec=504 Etm=0 (FailCool) «eDesign»
 191 New run for virtual molding trial!
 810.0(100.4) 14:52:00-03-19-2012

Конечно-элементное моделирование литья пластмасс под давлением, армированных короткими волокнами



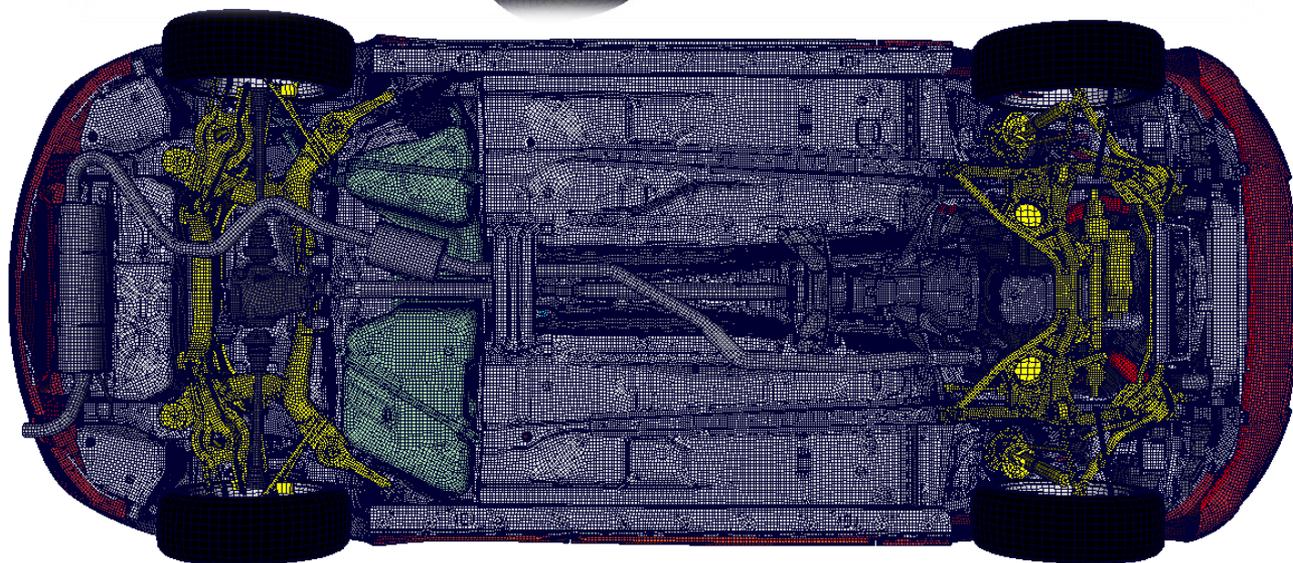
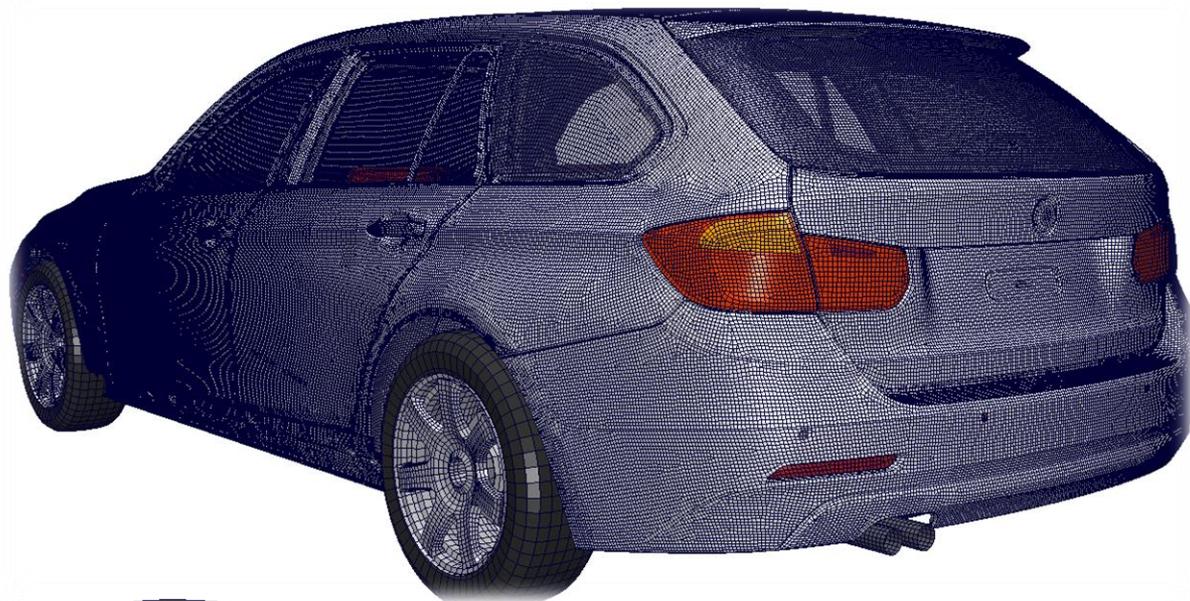
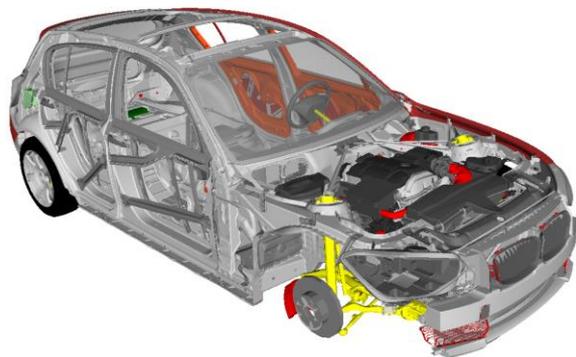


Проектирование механических передач и трансмиссий





FE Crash model development. Duration – 2 weeks



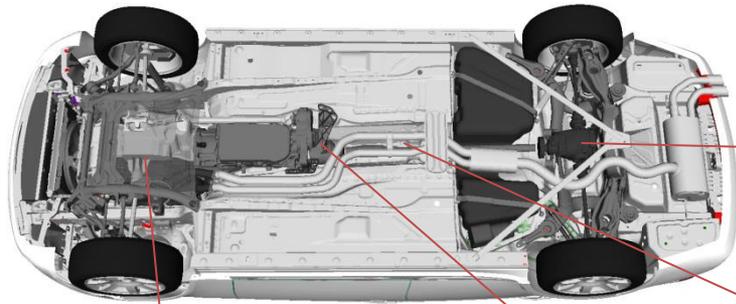


Мировая премьера BMW X3 *** 01.10.2010 на Парижском автосалоне**

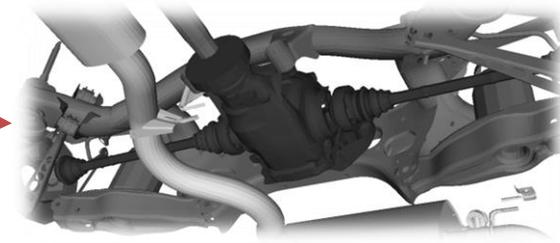




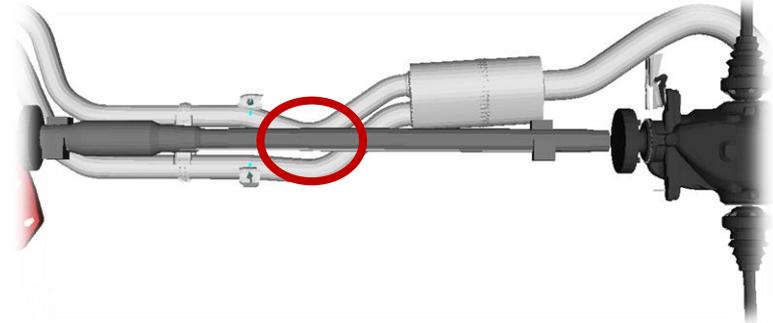
CompMechLab Project Responsibility Powertrain behavior during crash



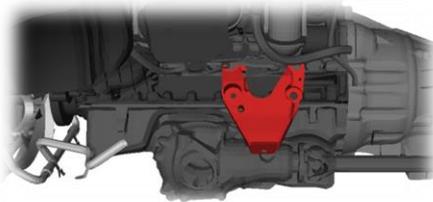
*Rear axle
 transmission elastic
 supports*



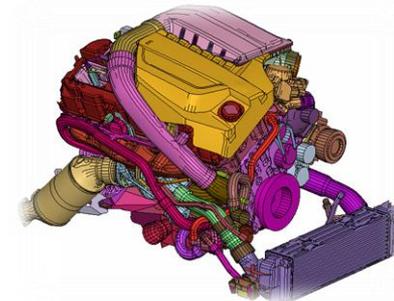
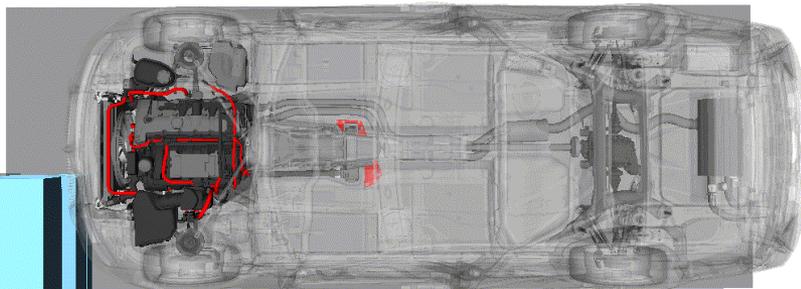
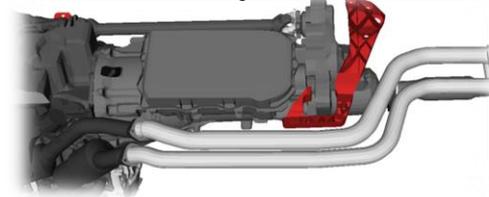
*Elastic collar
 at drive shaft*



*Engine supports
 with predefined
 failure connectors*



*Gearbox support
 with failure ability*

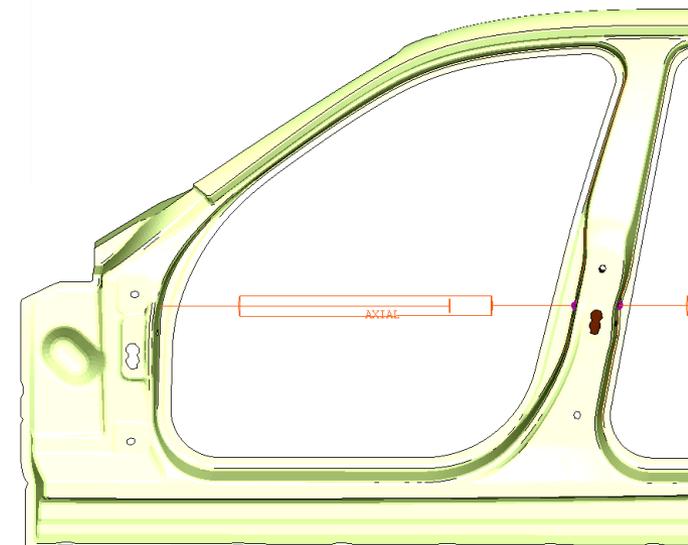
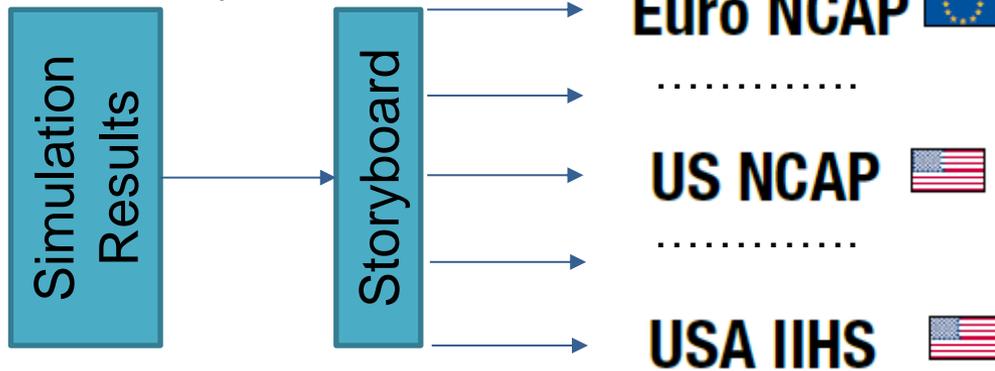
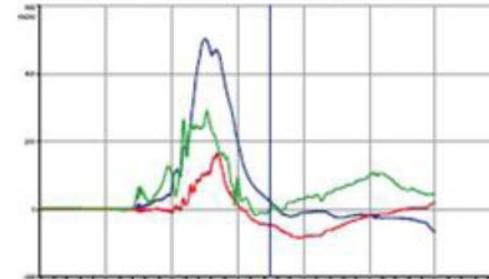
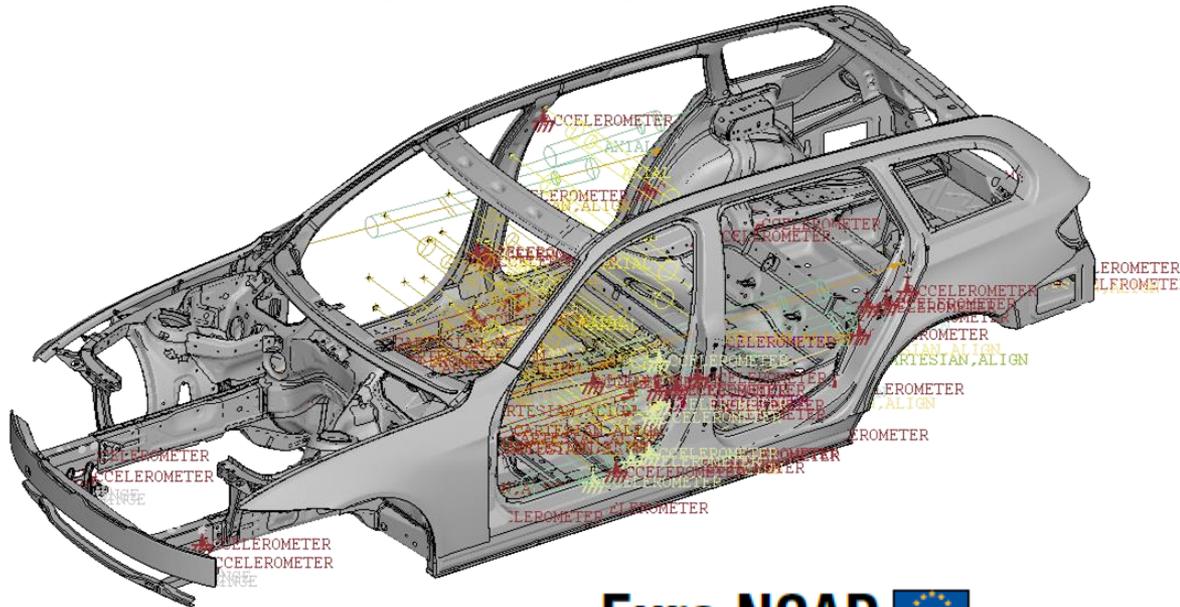


**Engine Shell-Beam-Solid FE Model
 Number of Degrees of Freedom – 1 200 000**



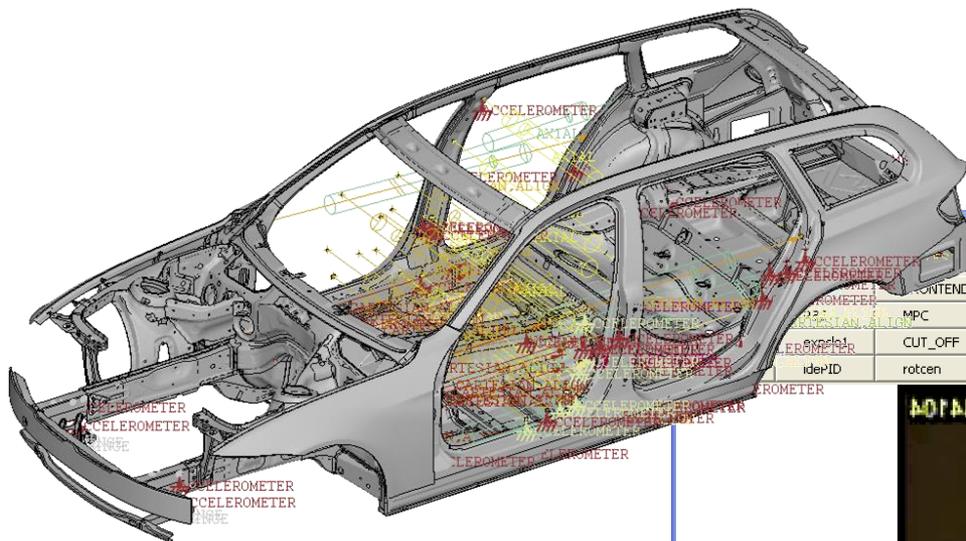
FE Crash Model Development and Analysis. Measurement Equipment for Validation Analysis

Measurement equipment (tensile sensors, translators, accelerometers e.t.c.) are developed and assembled in car model





FE Simulation and Crash Test Results Validation



Germany Tel. (+49) 531/80112-11, Fax. (+49) 531/80112-79, Email animator@gns-mbh.com

CONTEND	STF-vo	STFVKLvo	TUEREN	FKL	VA	HA	Raeder	MOTOR	BARRIERE
MPC	MASS	Center	ShoAll	SheAll	ShmAll	SmeAll	Reset	FunNod	Back
CUT_OFF	CUT+X	CUT-X	CUT+Y	CUT-Y	CUT+Z	CUT-Z	FC_Follo	SPW	KLEBER
ide+ID	rotcen								



```
File successfully written.
Dumping screen:
Please don't resize, move, pop or push window!
File successfully written.
```

```
vi0 sta nex
vi0 sta nex
vi0 sta nex
wri jpg animation_21.jpg
vi0 sta las
vi0 ani for
vi0 ani off
```

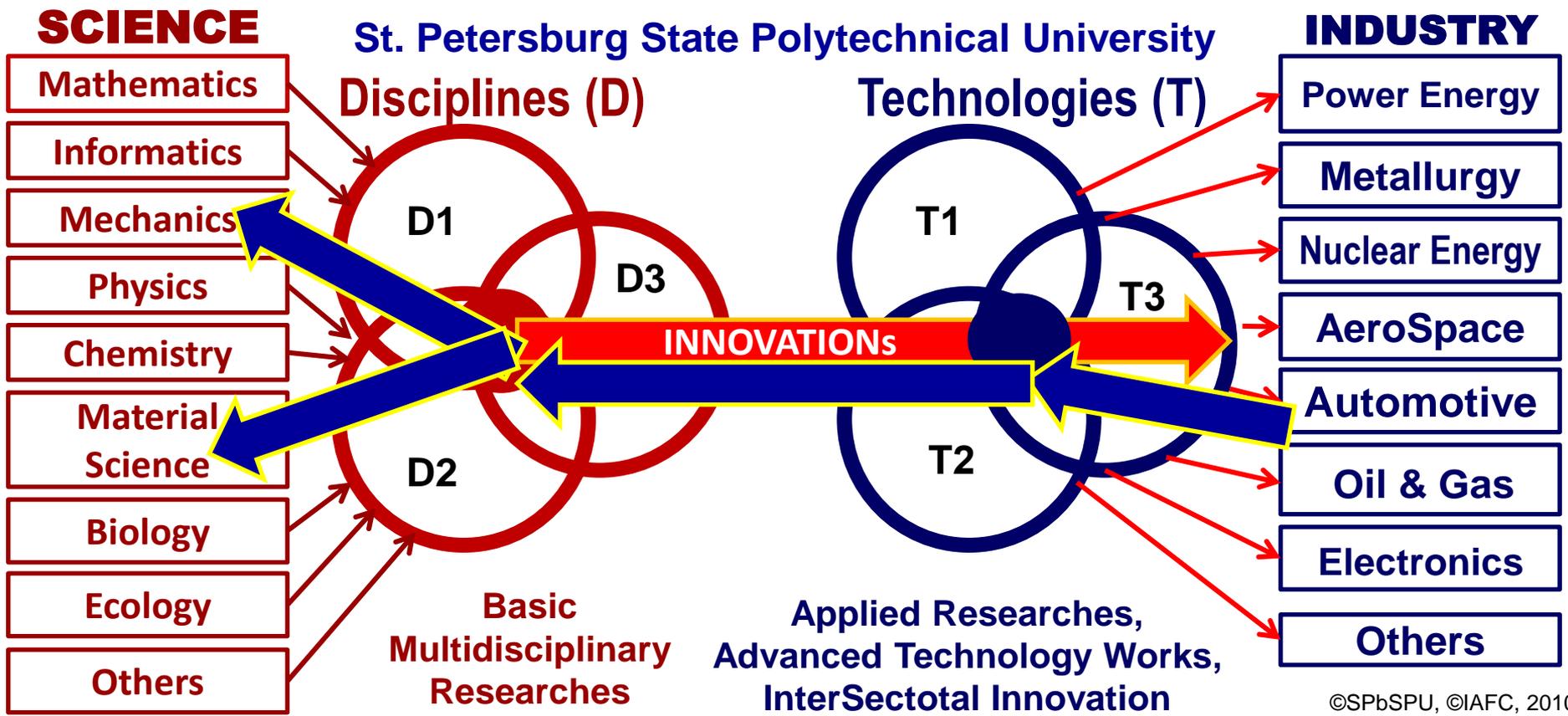
all slots



Competent & MultiDisciplinary & InterSectoral Model



Global Trends: Globalization, HyperCompetition, MultiDisciplinary





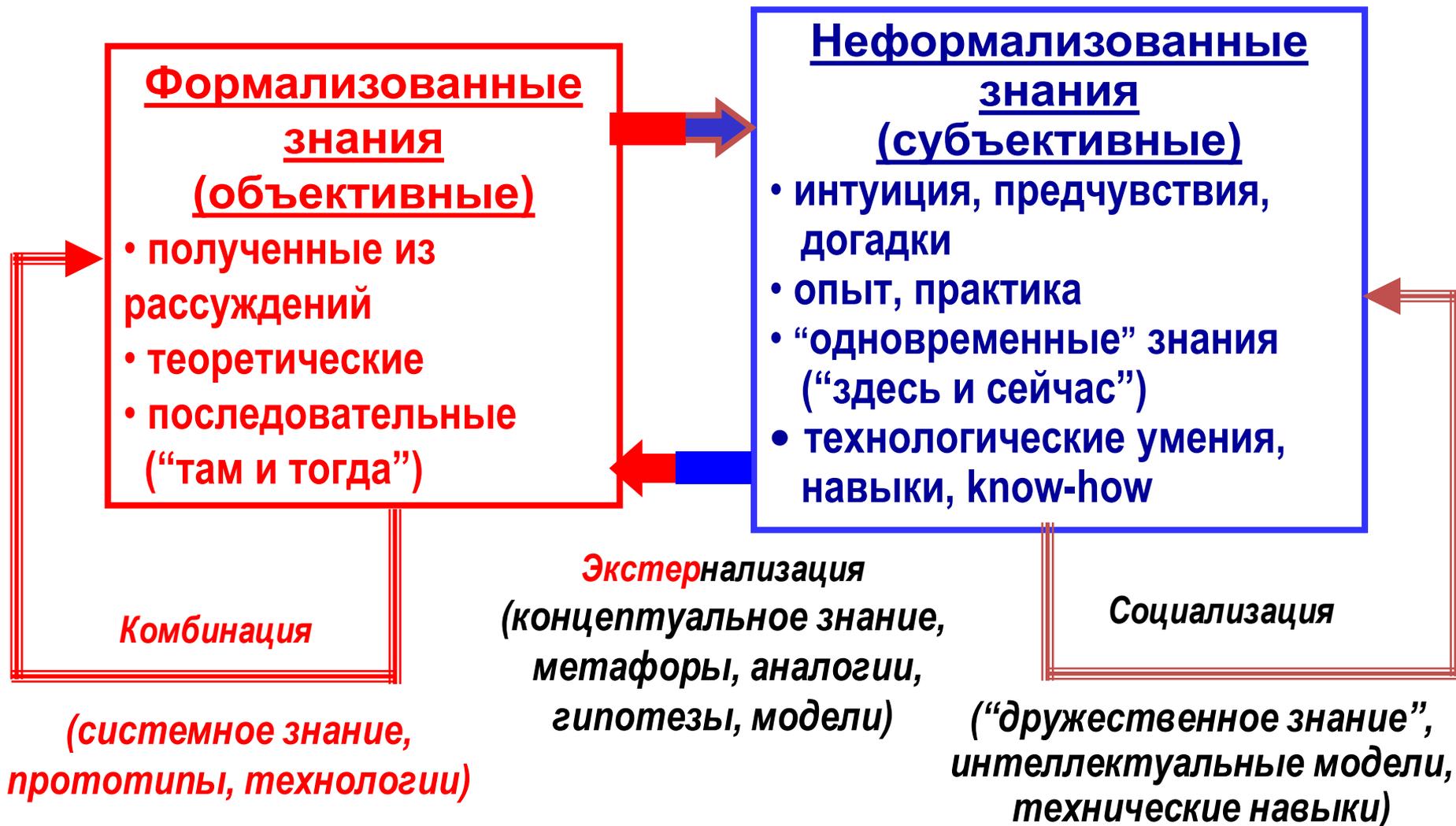
I		II	III	IV	V	VI		
1	2	3	Altogether – about 500+ academic and commercial licenses and multiple agreements with distributors					
MAPLE, MATLAB, MATHCAD, MATHEMATICA								
AutoCAD								
		SW / SE	SW / SE	SW / SE	SW / SE	SW / SE		
			MSC.Adams	MSC.Adams	MSC.Adams	MSC.Adams		
				Nastran (MSC, NX, NEi)	Nastran	Nastran		
				ANSYS	ANSYS	ANSYS		
					NX CAD / CAE	NX CAD / CAE		
Scientific Software and CAD/FEA/CFD/CAE at CompMechLab®, Mechanics and Control Processes Dept., SPbSPU					CATIA, PRO/E	CATIA, PRO/E		
						ANSYS/CFX	ANSYS/CFX	
							ABAQUS	ABAQUS
							LS-DYNA	LS-DYNA
							COMSOL, Moldex3D, DIGIMAT, ProCAST, SYSWELD	



От способов трансформации знания к геликоиду знаний

*Интер*нализация

(операционное знание, "обучение на практике")





Центр превосходства

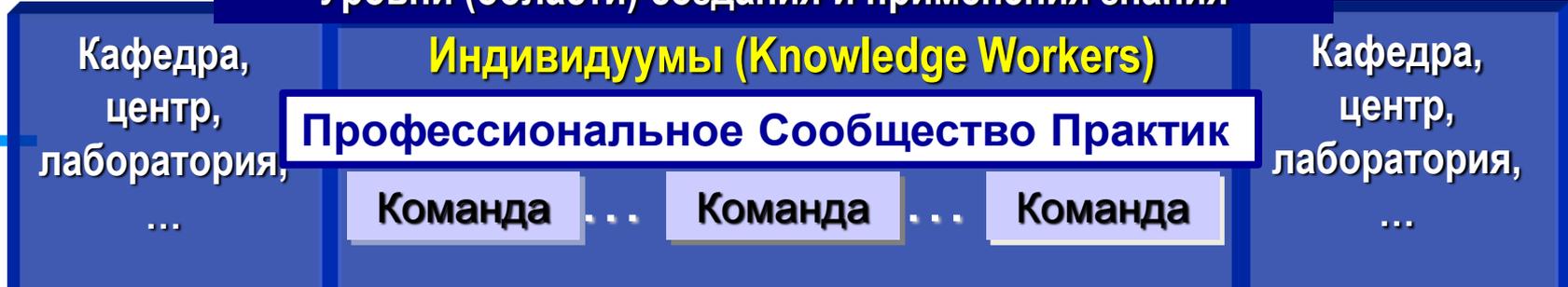
↑ Умения, знания, навыки, компетенции



Геликоид Знаний, Технологий, Компетенций

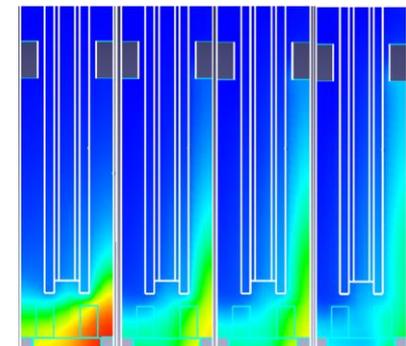
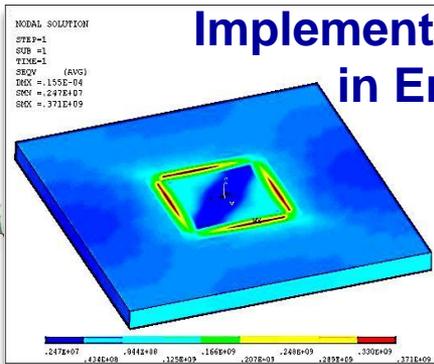
- ФЗ-3 (Т-3)
- НФЗ-2 (КН-2)
- ФЗ-2 (Т-2)
- НФЗ-1 (КН-1)
- ФЗ-1 (Т-1)

Уровни (области) создания и применения знания

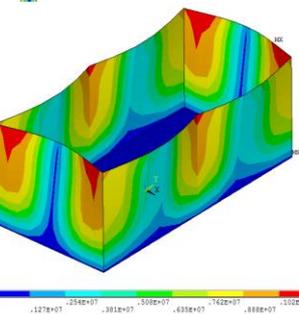
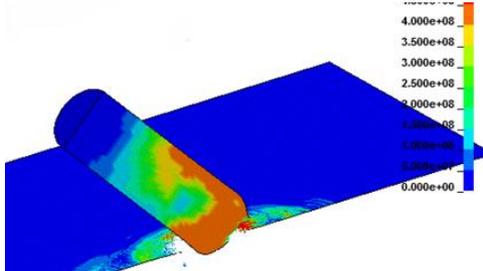
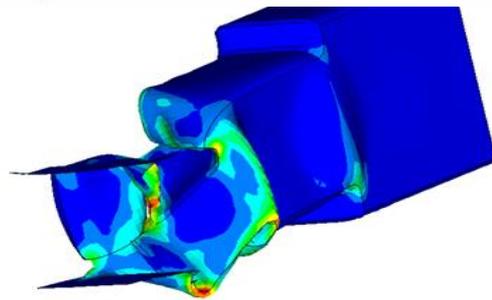
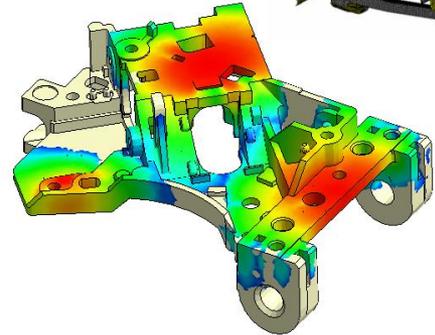
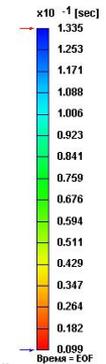
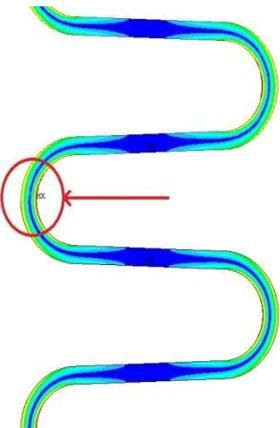
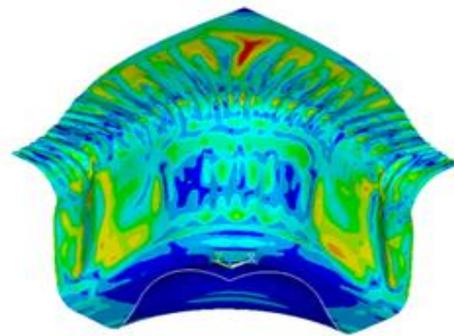
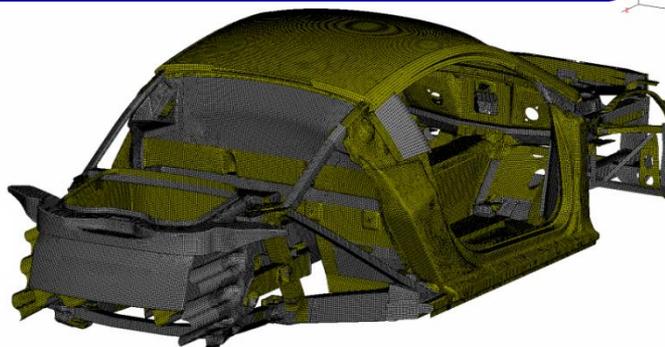
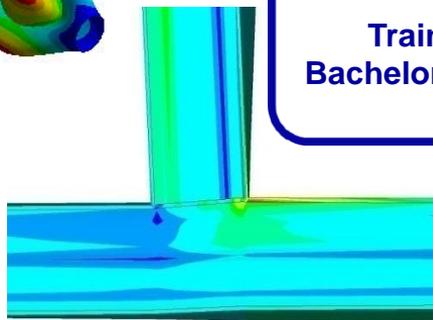
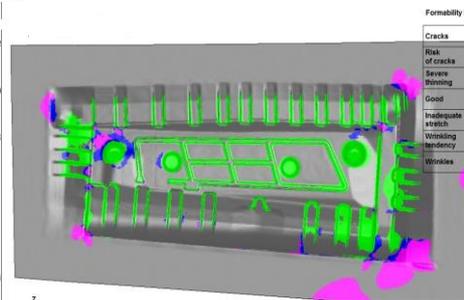




Implementing Project-Based Learning in Engineering Education



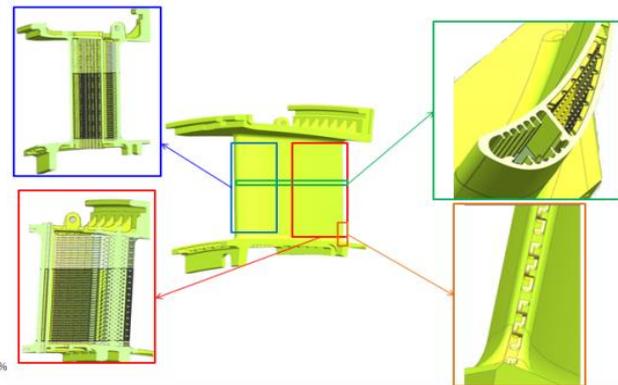
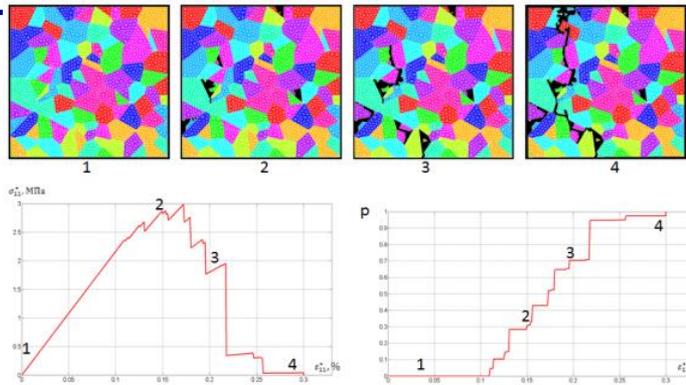
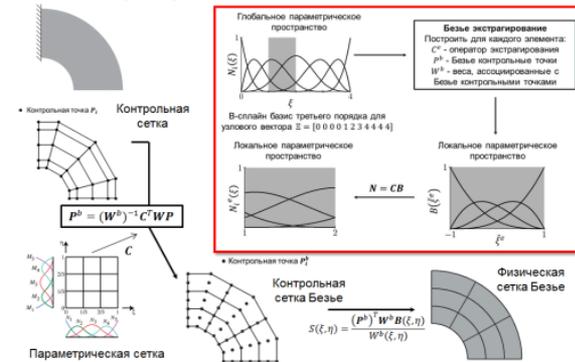
Mechanics and Control Processes Dept.
 Bachelors-2012
 Training Direction – Applied Mechanics
 Bachelor Program – Computational Mechanics &
 Computer-Aided Engineering



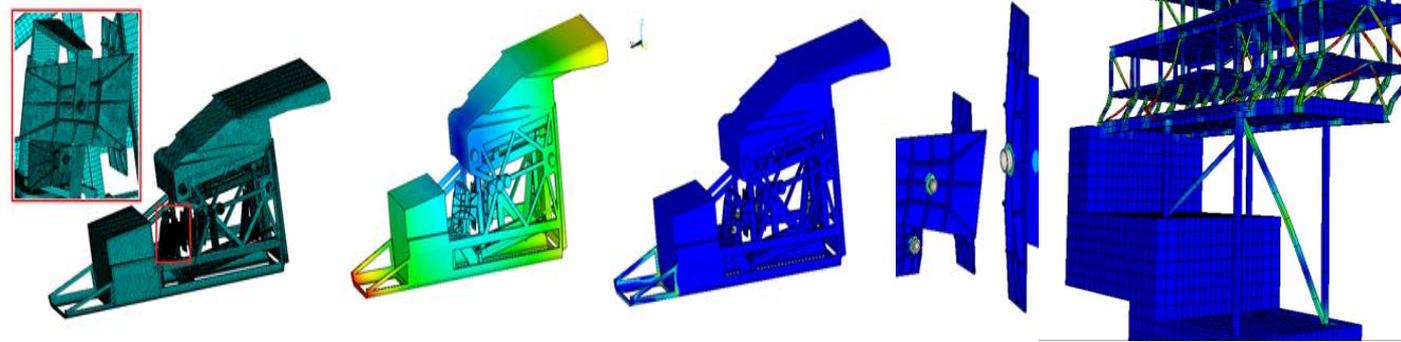
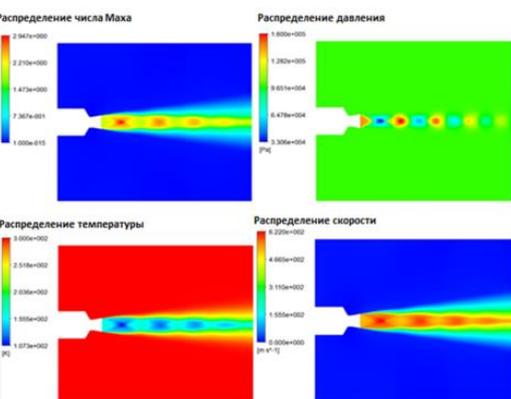
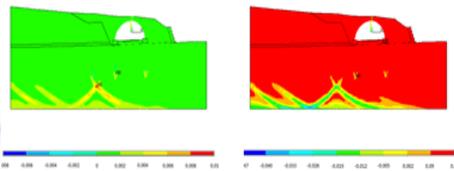
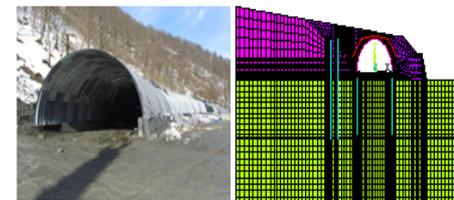
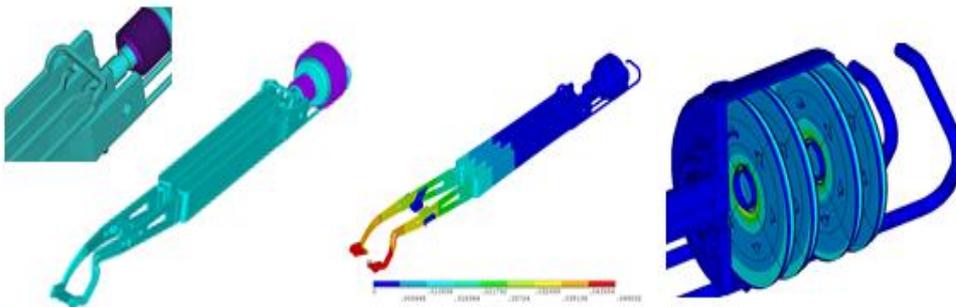


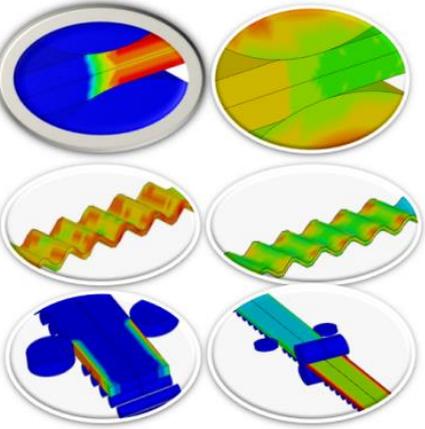
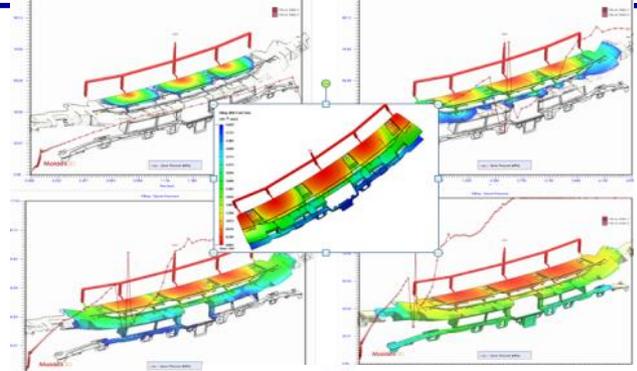
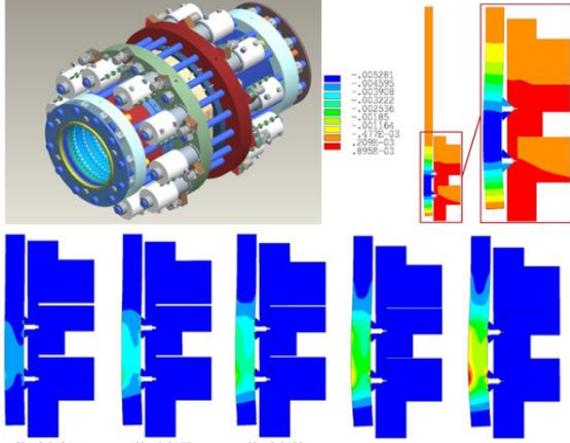
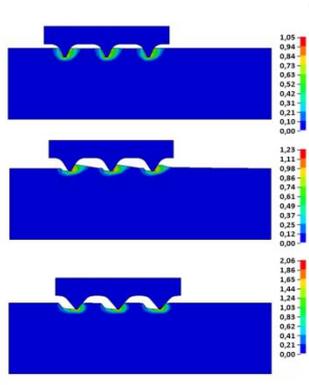
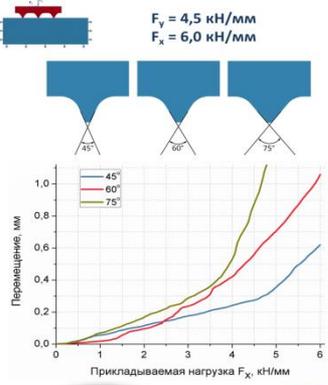
Безье экстрагирование NURBS

[Borden, 2011]

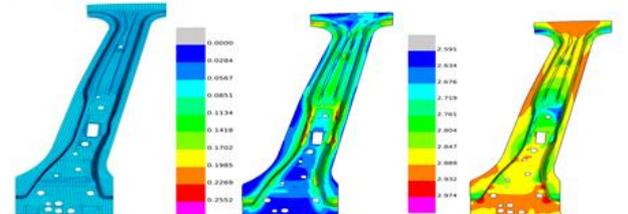
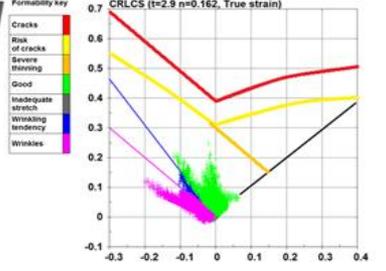
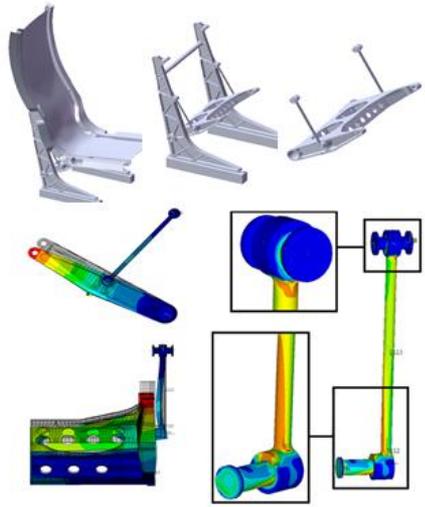
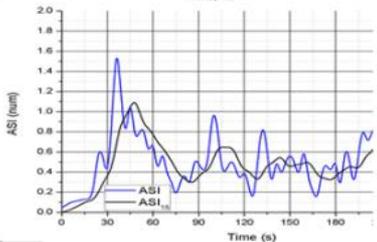
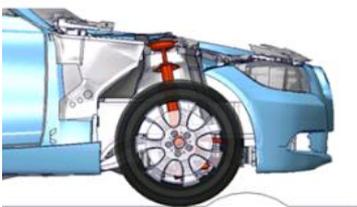
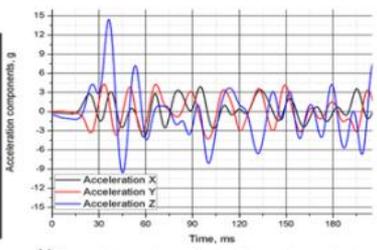
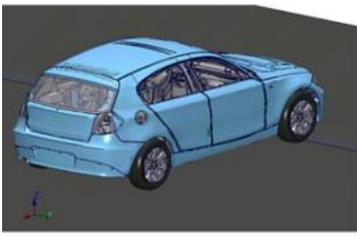
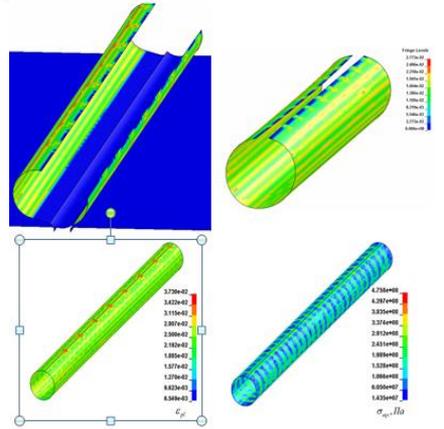


Mechanics and Control Processes Dept.
 Masters-2012 (1)
 Training Direction – Applied Mechanics
 Master Program – Computational Mechanics & Computer-Aided Engineering





Mechanics and Control Processes Dept.
Masters-2012 (2)
Training Direction – Applied Mechanics
Master Program – Computational Mechanics & Computer-Aided Engineering





**Экспертный семинар
под руководством И.Р. Агамирзяна
“Инжиниринг как важнейший стимул
экономического развития”
11 апреля 2013 г., Москва,
Российская венчурная компания**

**А.И. Боровков,
проректор по перспективным проектам СПбГУ**

**Компьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering, CAE)
– основа создания глобально конкурентоспособной
продукции нового поколения**

E-mail: ViceRector@spbstu.ru, Borovkov@CompMechLab.com