



**Заседание Комитета по энергетическому, нефтегазовому машиностроению и новым производственным технологиям**

**27 июля 2018 года, Москва**



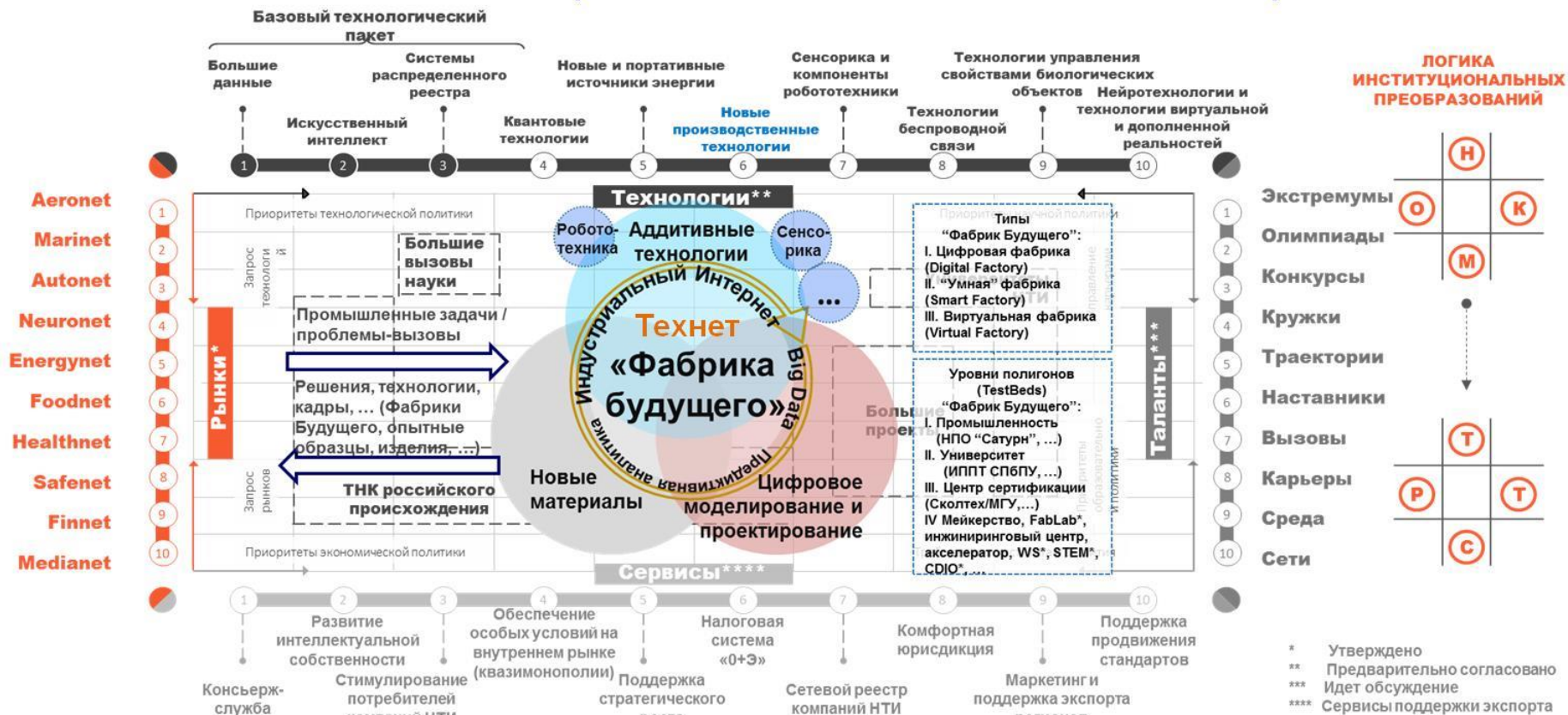
## **Развитие компьютерного инжиниринга и внедрение новых производственных технологий в рамках направления "Технет" НТИ**

**А.И. Боровков**

**О докладчике:**

**проректор по перспективным проектам СПбПУ, профессор,  
руководитель Центра НТИ "Новые производственные технологии" СПбПУ,  
руководитель Инжинирингового центра "Центр компьютерного инжиниринга" (CompMechLab®) СПбПУ,  
научный руководитель Института передовых производственных технологий СПбПУ,  
лидер-соруководитель рабочей группы "Технет" (передовые производственные технологии) НТИ,  
лидер мегапроекта "Фабрики Будущего",  
руководитель Проектного офиса "Фабрики Будущего" (Санкт-Петербург),  
член Совета по развитию цифровой экономики при Совете Федерации Федерального Собрания РФ**

# Технет в контексте Национальной технологической инициативы



FoF-1.1 = A-1, FoF-1.2 = A-2, FoF-1.3 = A-3, FoF-1.4 = A-4, ..., FoF-2.1 = H-1,  
FoF-3.1 = S-1, FoF-4.1 = AS-1, FoF-4.2 = AS-2, FoF-4.3 = AS-3, FoF-4.4 = AS-4, ...,

## Рабочая группа и «дорожная карта» «Технет» (ППТ) НТИ

### Цель

- Формирование комплекса ключевых компетенций в Российской Федерации, обеспечивающих интеграцию передовых производственных технологий (ППТ) и бизнес-моделей для их распространения в качестве «Фабрик Будущего» первого и последующего поколений
- Создание глобально конкурентоспособной кастомизированной / персонализированной продукции нового поколения для рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности

### Задачи

1. Создание **инфраструктуры** для развития комплекса **ключевых компетенций** для Фабрик Будущего.
2. Реализация комплекса ключевых компетенций путем создания **глобально конкурентоспособных компаний** на **рынках НТИ** и в **высокотехнологичных отраслях промышленности.**
3. Долгосрочное планирование развития **передовых производственных технологий** и связанных с ними **бизнес-моделей.**
4. Формирование **экосистемы** создания, привлечения, развития и передачи **лучших в своем классе технологий.**
5. Создание **законодательных и институциональных условий** для развития **передовых производственных технологий.**

### Состав рабочей группы «Технет»

#### Соруководители рабочей группы:



МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ

**В.С. Осьмаков**, заместитель Министра  
промышленности и торговли РФ



ПОЛИТЕХ  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

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



АГЕНТСТВО  
СТРАТЕГИЧЕСКИХ  
ИНИЦИАТИВ



ПОЛИТЕХ  
Институт передовых  
производственных технологий



CML  
ЦЕНТР  
КОМПЬЮТЕРНОГО  
ИНЖИНИРИНГА СПбГУ  
CompMechLab



НАУКА И ИННОВАЦИИ  
управляющая организация



ОБЪЕДИНЕННАЯ  
АВИАСТРОИТЕЛЬНАЯ  
КОРПОРАЦИЯ



Информатика  
и Управление  
Российской академии наук

# Центр НТИ

## «Новые производственные технологии»

на базе Института передовых производственных технологий  
ФГАОУ ВО СПбПУ

**Основание:** Постановление Правительства РФ  
№ 1251 с целью развития ключевых компетенций по  
направлению «Новые Производственные Технологии»

**Курирующая организация:** Минобрнауки России

**Сроки реализации:** 2017 – 2021 гг.

**Миссия центра: обеспечение глобальной конкурентоспособности отечественных компаний-лидеров на глобальных рынках НТИ и в высокотехнологичных отраслях промышленности**

**Основные технологии Центра:**

- 1. Цифровое проектирование и моделирование, цифровые двойники** (Smart Digital Twin, CAD, CAE, CAO, CAM, CAAM, Simulation & Optimization)-Driven Bionic Design, PDM, PLM)
- 2. Новые материалы** (в первую очередь, композиционные материалы, металопоорошки для аддитивного производства);
- 3. Аддитивные технологии** включая 3D-принтеры, технологии, подходы и способы работ с исходными материалами, разработка и эксплуатация расходных материалов и набор услуг по 3D-печати;
- 4. Smart-Manufacturing-технологии и гибридные производственные технологии.**



**Направления деятельности Центра:**

- 1. Консорциум: консолидация, развитие и трансфер компетенций в сфере ППТ.**
- 2. Создание новых технологических решений** для обеспечения глобальной конкурентоспособности отечественных компаний.
- 3. Подготовка перспективных кадров** при создании новых продуктов для глобальных рынков, реализацию обучения по сетевому принципу;
- 4. Развитие инфраструктуры** испытательных полигонов (TestBeds), центров (органов или лабораторий) сертификации и образовательных центров (learning factories) по развитию компетенций мирового уровня, базовых для Цифровых, «Умных» и Виртуальных Фабрик Будущего.

## Центр решает для компаний следующие задачи

- Развитие компетенций в создании глобально конкурентоспособной продукции: разработка цифровых двойников изделий
- Повышение эффективности производства за счет создания цифровых двойников производственных процессов

## Основные потребители услуг Центра

- **Высокотехнологические компании с большим потенциалом роста**
- Компании с большим потенциалом для создания глобально конкурентоспособной экспорто ориентированной продукции

## Отрасли

- Автомобилестроение
- Авиастроение и ракетно-космический сектор
- Судостроение и кораблестроение
- Двигателестроение
- Легкая промышленность и индустрия моды

## Консорциум: 45+ организаций

- **16 университетов:** СПбПУ, МГУ, СПбГУ, Московский Политех, РХТУ, МГТУ Станкин, ЮУрГУ, МИЭТ, Сколтех, Иннополис, ПНИПУ, ИвГПУ, ТГПУ, НовГУ, СОГУ, СКГМИ
- **4 промышленных корпорации:** «Ростех», ОАК, «Вертолеты России», ОДК
- **Крупные промышленные высокотехнологические предприятия – лидеры отраслей:** УАЗ, ОДК-Сатурн, СИСЗ, КМПО, Фаберлик, Бином
- **Крупнейшие научные организации:** НИЦ «Курчатовский институт», Российский федеральный ядерный центр (РФЯЦ-ВНИИЭФ), ЦНИИ РТК, ВЦ РАН
- **CATARC (Китай):** Китайский центр автомобильных технологий и исследований
- **Высокотехнологичные компании-лидеры – «Национальные чемпионы»:** Диаконт, Биокад, Лаборатория «Вычислительная механика»
- **Лауреат Национальной промышленной премии РФ «Индустрия» и «Национальный чемпион»** Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab)
- **Малые инновационные предприятия НТИ:** Оптименга 777, ВГТ, ЛВМ-Инжиниринг и др.
- **Инновационная инфраструктура:** Фонд «ЦСР «Северо-Запад», Технопарк Санкт-Петербурга, «Сириус»

## Ключевые участники и партнеры консорциума ЦНТИ СПбПУ

### Лидеры промышленности



### Лидеры науки и образования



### Зарубежный партнер



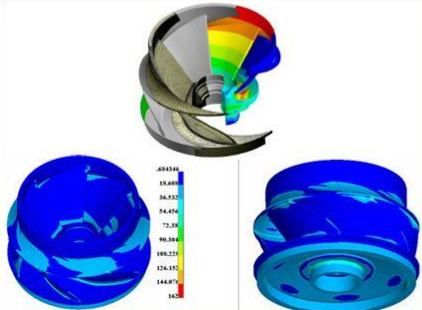
### Национальные чемпионы и лидеры инноваций

### При поддержке

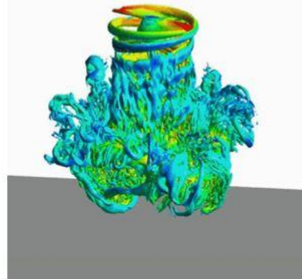


# Мультидисциплинарные CAE- и HPC-расчёты

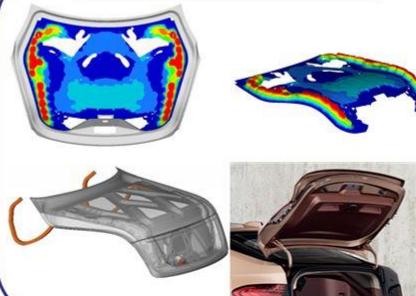
## Расчёты прочности



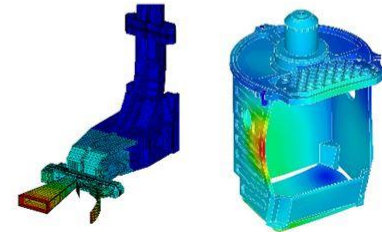
## CFD расчёты



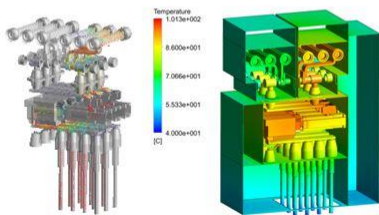
## Оптимизация



## Электромагнетизм



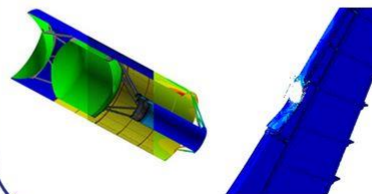
## Тепломассообмен



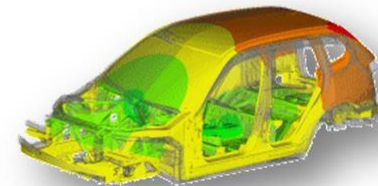
## Удар (краш-, дроп-, ...) и разрушение



## Композиционные материалы и конструкции

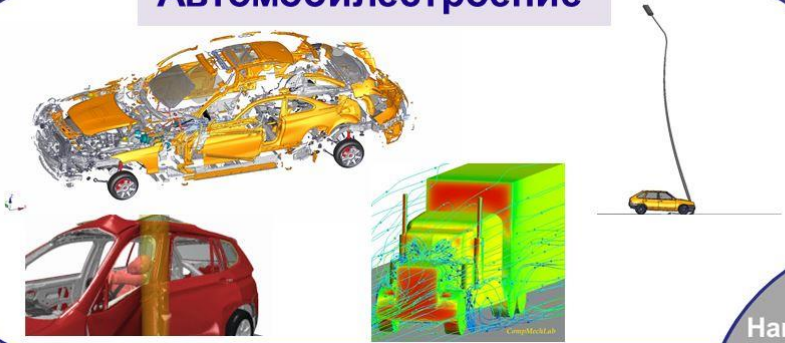


## Динамика, колебания, вибрации



# Кросс-отраслевые best-in-class решения

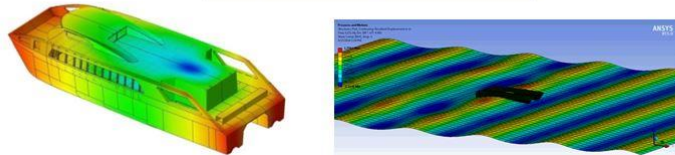
## Автомобилестроение



## Авиакосмическая отрасль



## Судостроение



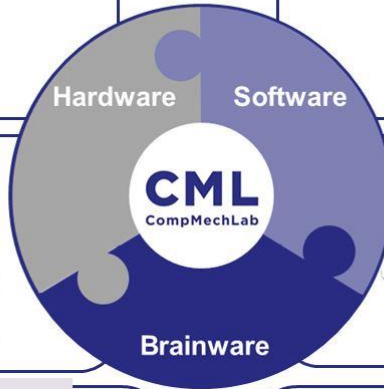
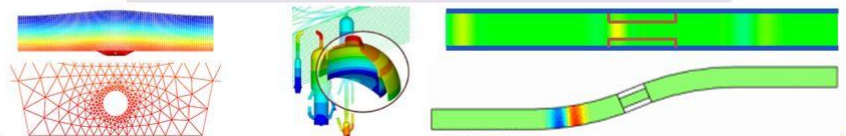
## Медицина



## Атомное и энергомашиностроение



## Нефтегазовая промышленность



## Решение всех видов инженерных задач для различных отраслей промышленности

Виды расчетов	Отрасли						
	Автомобиле- строение	Аэрокосмическая промышленность	Судо- строение	Машино- строение и приборо- строение	Энерго- машино- строение	Нефтегазовая и химическая промышленность	Промышленное и гражданское строительство
Прочностные (включая все виды нелинейностей)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Гидро- и аэродинамические	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Тепловые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Динамические	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Электромагнитные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Удар, разрушение, высокоскоростные процессы	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Оптимизация (топологическая, многокритериальная, мультидисциплинарная, многопараметрическая)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Численное моделирование и выполнение расчетов изделий из композиционных материалов	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



## Ресурсы Центра компьютерного инжиниринга СПбПУ



Центр компьютерного инжиниринга владеет передовыми мультидисциплинарными кросс-отраслевыми суперкомпьютерными технологиями мирового уровня. Общая трудоемкость разработки и сопровождения используемого программного обеспечения – более 1 000 000 человеко-лет.

ИЦ «ЦКИ» использует в своей деятельности вычислительные мощности Суперкомпьютерного центра «Политехнический» (СКЦ СПбПУ), обладающего суммарной пиковой производительностью ~ 1,3 Пфлопс + ~ 1 Пфлопс (Siemens)

### Характеристики СКЦ:

- ✓ СКЦ СПбПУ входит в **первую тройку суперкомпьютеров России** наряду с МГУ им. М.В. Ломоносова и ГНЦ ВНИИЭФ (являются членами консорциума Центра НТИ «Новые производственные технологии» на базе ИППТ СПбПУ);
- ✓ является одним из самых мощных СКЦ в России, использующихся для промышленных задач



## Партнёры и заказчики

Северная Америка  Altair

Европа  EDAG  carbures

Азия



## Партнеры и заказчики в высокотехнологичных отраслях промышленности

- ✓ Автомобилестроение
- ✓ Ракето- и авиастроение
- ✓ Нефтегазовая промышленность
- ✓ Металлургия
- ✓ Атомная и термоядерная энергетика
- ✓ Электро- и энергомашиностроение
- ✓ Судостроение
- ✓ Двигателестроение

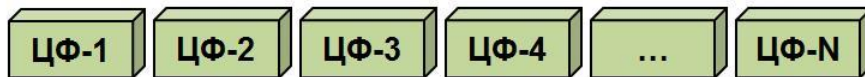


# Традиционное производство vs. Передовое производство



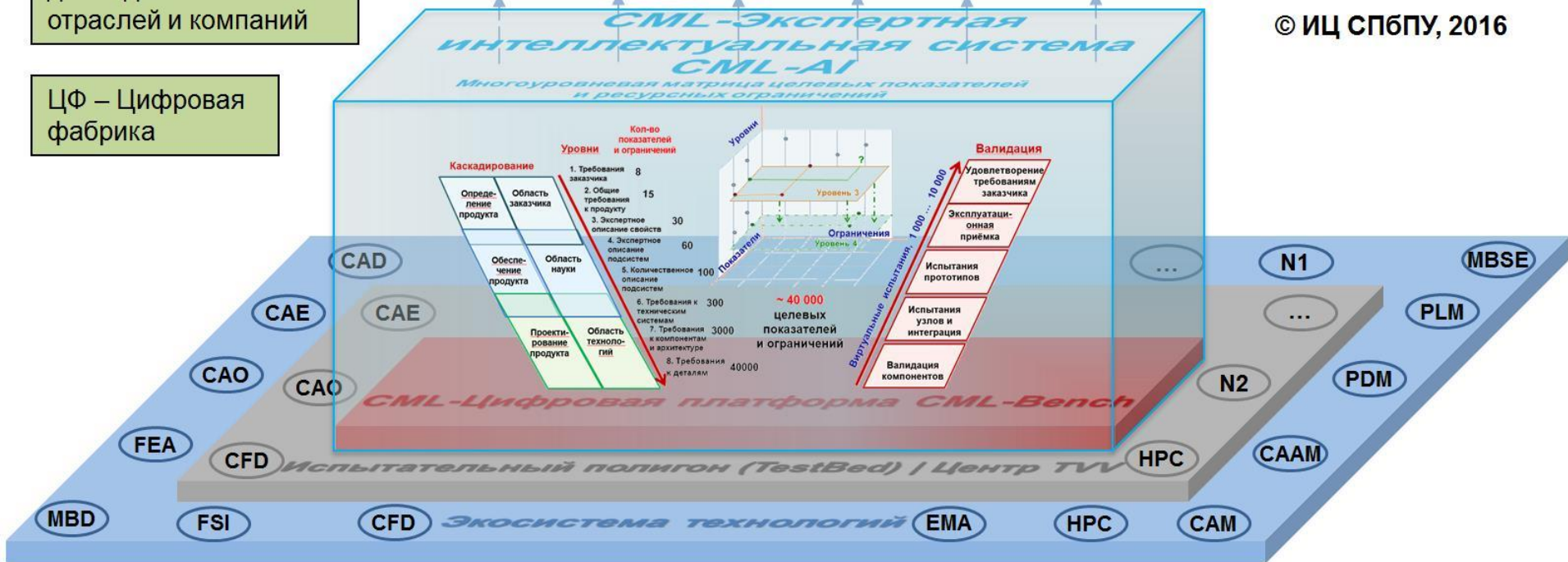
# Управление данными / знаниями / компетенциями / проектами / изменениями / вызовами

Цифровые фабрики  
для отдельных  
отраслей и компаний



ЦФ – Цифровая  
фабрика

© ИЦ СПбПУ, 2016



1. “Мгновенная” кастомизация
2. Системный инжиниринг
3. Многоуровневая матрица целевых показателей и ресурсных ограничений

## Ключевые компетенции:

4. Валидация / Адекватность моделей
5. “Цифровая сертификация”
6. ...

## Вариативность новой конструкции. Разработка в CML-Bench

### Изделие-лидер:

- *Российский либо иностранный двигатель*
- *Стационарная версия*
- *Линейный режим работы*

### Цель:

- *Пиковое ускорение 7.5g*
- *Ресурс 7 лет*

### Для тяжелых условий эксплуатации:

- *Линейно-эллиптический режим работы*

### Цель:

- *Пиковое ускорение 7g*
- *Ресурс 7 лет*

### Удешевленная версия:

- *Применение более дешевых материалов и технологий*

### Цель:

- *Пиковое ускорение 7.5g*
- *Ресурс 5 лет*

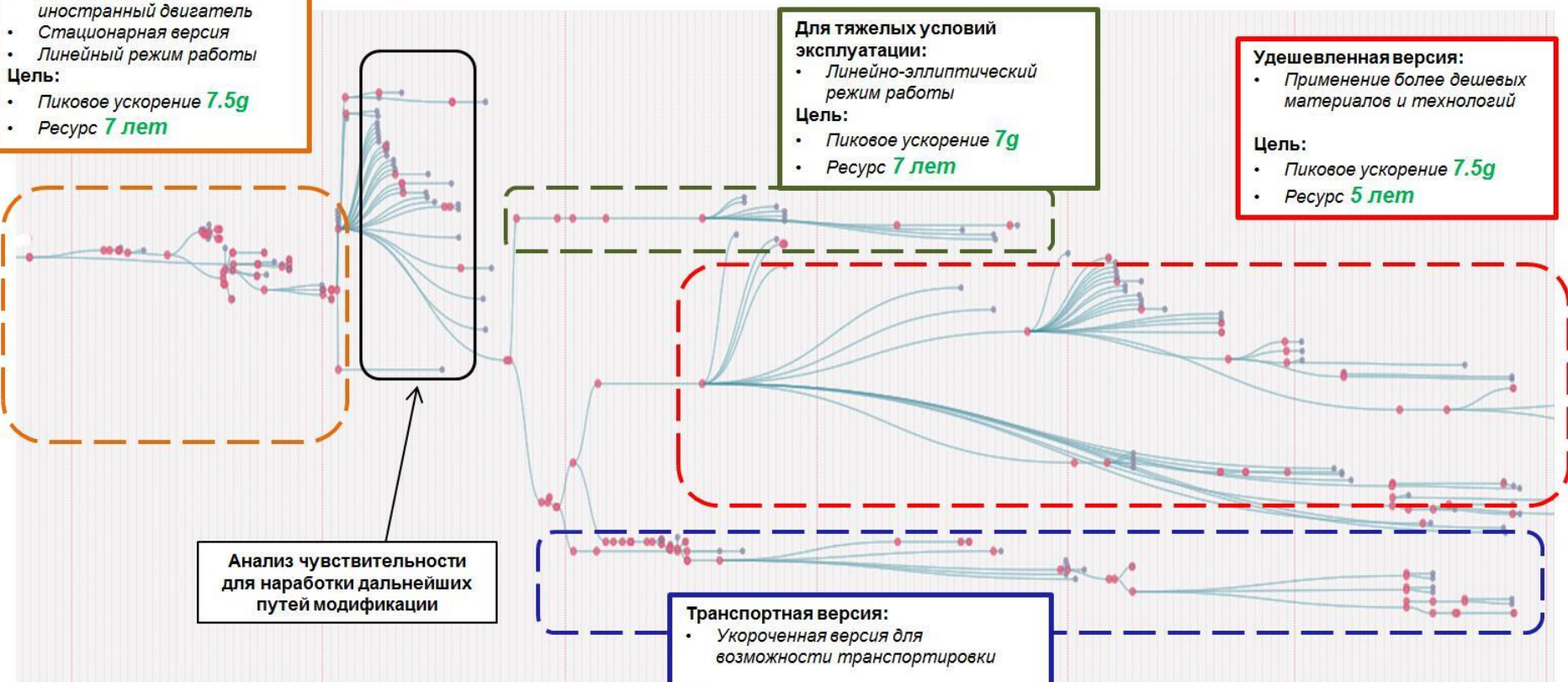
Анализ чувствительности для наработки дальнейших путей модификации

### Транспортная версия:

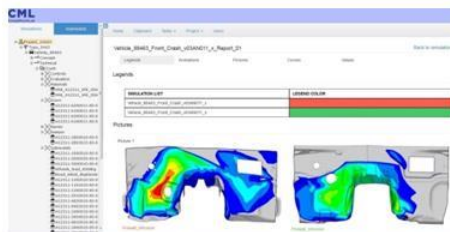
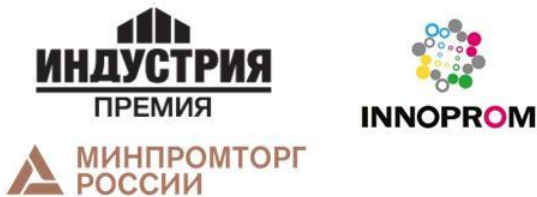
- *Укороченная версия для возможности транспортировки*

### Цель:

- *Пиковое ускорение 8g*
- *Ресурс 5 лет*

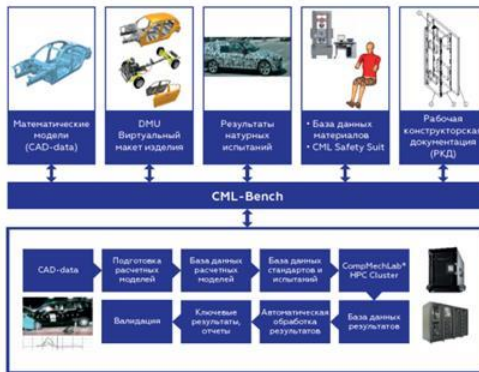


# Лаборатория «Вычислительная механика» (ГК CompMechLab) – стратегический партнер Инжинирингового центра СПбПУ – награждена Национальной промышленной премией Российской Федерации «ИНДУСТРИЯ» в 2017 г.



Цифровая платформа CML-Bench™ предназначена для автоматизации инженерных процессов, связанных с цифровым проектированием, моделированием, виртуальными испытаниями и подготовкой полностью цифровой РКД.

Итоги конкурса подвели 10 июля 2017 г. на международной промышленной выставке «Иннопром 2017» в Екатеринбурге. Почётную награду из рук Министра промышленности и торговли РФ **Д.В. Мантурова** получил основатель ГК CompMechLab, проректор по перспективным проектам СПбПУ **А.И. Боровков**. Распоряжение Правительства РФ о присуждении премии подписал премьер-министр **Д.А. Медведев**. Из 300 компаний-претендентов, представивших проекты на конкурс, победил проект «Кросс-отраслевая мультидисциплинарная платформа виртуальной разработки и испытаний глобально конкурентоспособных продуктов нового поколения – CML-Bench».



Система уже работает в автомобилестроении, авиастроении, вертолетостроении, двигателестроении, судостроении, кораблестроении, энергомашиностроении, нефтегазовой отрасли, атомной энергетике и обеспечивает совместную распределенную работу CML-инженеров и инженеров и менеджеров CML-партнеров-заказчиков из разных организаций, стран и часовых поясов.

# КЭ анализ пространственного напряженно-деформированного состояния рабочего колеса главного циркуляционного насоса ГЦН-1391 Тяньваньской АЭС

## Отрасль

Атомная энергетика

Атомное машиностроение

## Заказчики

ОАО “ЦКБ машиностроения”

ОАО “АтомСтройЭкспорт”

ГК “Росатом”

## Сооружение

Тяньваньская АЭС (Китай)

## Год

2007



РОСАТОМ

**Проблематика:** оценка работоспособности конструкции **ГЦН-1391**, содержащего конструктивные непровары

**Срочность** работы была обусловлена **огромными ежедневными финансовыми потерями АЭС** в связи с **простоем оборудования**

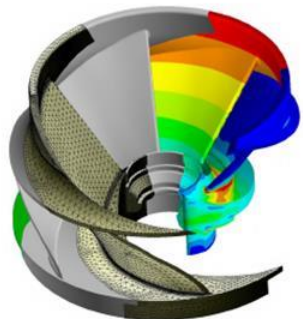
## В ходе работ были выполнены:

- ✓ Конечно-элементные исследования пространственного теплового и напряженно-деформированного состояния для различных режимов эксплуатации рабочих колес **1391-42-0002 ГЦН-1391**, содержащих конструктивные непровары
- ✓ Оценки статической и циклической прочности
- ✓ Оценки сопротивления хрупкому разрушению при статическом и циклическом нагружении
- ✓ Оценки возможности возникновения пластической неустойчивости конструкции с трещинами

Выполненные уникальные расчеты показывают, что **статическая и циклическая прочность** за весь срок службы (**40 лет**) рабочего колеса ГЦН, в соответствии с **ПНАЭ** (Правилами и нормами расчетов на прочность в атомной энергетике) и **РД** (руководящими документами) обеспечены.

## Справка

*Главные циркуляционные насосы предназначены для поддержания надежной устойчивой циркуляции теплоносителя через реактор и основное теплообменное оборудование ЯЭУ, что является необходимым условием надежного теплоотвода из активной зоны реактора и нормального теплообмена*





# Разработка модели установки каталитического крекинга для нефтеперерабатывающего завода



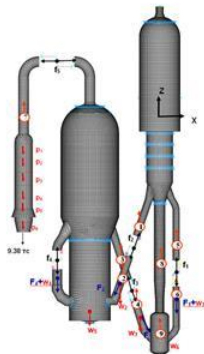
**Отрасль:** нефтегазовое машиностроение  
**Заказчик:** ЗАО «НЕФТЕХИМПРОЕКТ»  
**Год:** 2006 - 2007

## Задача проекта:

Выполнить расчеты пространственного теплового и термонапряженного состояния установки каталитического крекинга.

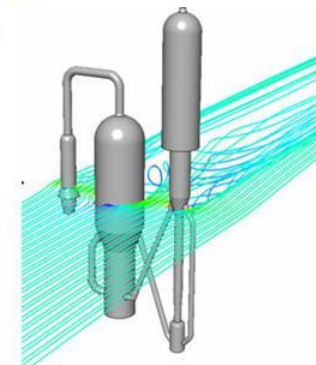
## Результаты:

- ✓ В рамках проведенной работы разработаны и исследованы **пространственные геометрическая, конечно-элементная (КЭ) и математическая модели** установки
- ✓ Была разработана **новая численная модель шарнирной системы**, позволяющая учитывать возможные смещения, возникающие в процессе эксплуатации установки.
- ✓ По результатам выполненных расчетов была подготовлена **техническая документация**, необходимая для производства **различных модификаций** установки.



Расчетная модель установки с указанием основных видов нагружения

МАКРАТНО АНДРОМЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«НЕФТЕХИМПРОЕКТ»

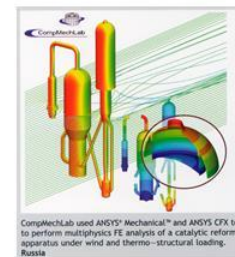


Обтекание установки каталитического крекинга под действием ветра



Распределение модуля вектора перемещений в расчетном режиме

В 2009 г. **CompMechLab** стала победителем конкурса **ANSYS Wallplanner Competition** за мультидисциплинарные исследования, проделанные в ходе реализации проекта.



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



## Одобрение проекта «Фабрики Будущего» на расширенном заседании наблюдательного совета Агентства стратегических инициатив (21 июля 2016 года) под председательством Президента РФ В.В. Путина



Цель проекта – решение инженерно-технологических Проблем-Вызовов (Industrial Challenge Problems), актуальных для компаний высокотехнологичных отраслей промышленности и новых рынков НТИ с помощью передовых производственных технологий (в первую очередь технологий цифрового проектирования и моделирования, аддитивных технологий и новых материалов).

**Согласно протоколу заседания федеральным органам исполнительной власти и институтам развития рекомендовано сформировать перечень долгосрочных проектов по направлениям Национальной технологической инициативы для реализации проекта «Фабрики Будущего».**

## **Центр НТИ СПбПУ “Новые производственные технологии” (1):**

- 1. Разработана цифровая платформа CML-Bench для проектирования в кратчайшие сроки новой глобально конкурентоспособной продукции;**
- 2. Сформирована экосистема компьютерных CAx-PLM-технологий мирового уровня (трудоемкость разработки которых превышает 1 000 000 человеко-лет);**
- 3. Эффективно применяются вычислительные ресурсы Суперкомпьютерного центра “Политехнический” (~1,3 Pflops + ~ 1,0 Pflops)**
- 4. Разработан испытательный полигон (TestBed) для определения best-in-class технологий;**
- 5. Для различных отраслей промышленности разработаны семейства валидированных математических моделей высокого уровня адекватности реальным материалам / машинам / конструкциям / ... и физико-механическим / производственным процессам;**

## Центр НТИ СПбПУ “Новые производственные технологии” (2):

**6. Разработаны технологии формирования многоуровневых матриц целевых показателей и ресурсных (временных, финансовых, производственных, ...) ограничений (от 50 000 до 120 000 характеристик учитывается одновременно);**

**7. Разработаны технологии выполнения виртуальных испытаний (ВИ), для различных высокотехнологичных отраслей разработаны виртуальные испытательные стенды (ВИС) и виртуальные испытательные полигоны (ВИП) (~ 10 000 ... 50 000 ВИ в проекте; ВИС встроены в цепочку обеспечения надежности техники, эксплуатируемой в жёстких условиях; ВИП позволяют за сутки получить объем информации сопоставимый с годом работы испытательного полигона);**

**8. Разработаны цифровые двойники (ЦД) реальных объектов, ЦД реальных производственных процессов, “умные ЦД”, обеспечивающие в натурных динамических испытаниях для 500 датчиков отличие от дорогостоящих натурных испытаний не более +/- 5%, значительно снижающие стоимость формирования “цифровых теней” (ЦТ) за счет минимизации количества датчиков и значительно снижающие объемы “мусорной информации”;**

**9. Указанные выше подходы применялись / применяются в ~50 высокотехнологичных компаниях / корпорациях.**



**Заседание Комитета по энергетическому, нефтегазовому машиностроению и новым производственным технологиям**

**27 июля 2018 года, Москва**



## **Развитие компьютерного инжиниринга и внедрение новых производственных технологий в рамках направления "Технет" НТИ**

**А.И. Боровков**

**О докладчике:**

**проректор по перспективным проектам СПбПУ, профессор,  
руководитель Центра НТИ "Новые производственные технологии" СПбПУ,  
руководитель Инжинирингового центра "Центр компьютерного инжиниринга" (CompMechLab®) СПбПУ,  
научный руководитель Института передовых производственных технологий СПбПУ,  
лидер-соруководитель рабочей группы "Технет" (передовые производственные технологии) НТИ,  
лидер мегапроекта "Фабрики Будущего",  
руководитель Проектного офиса "Фабрики Будущего" (Санкт-Петербург),  
член Совета по развитию цифровой экономики при Совете Федерации Федерального Собрания РФ**