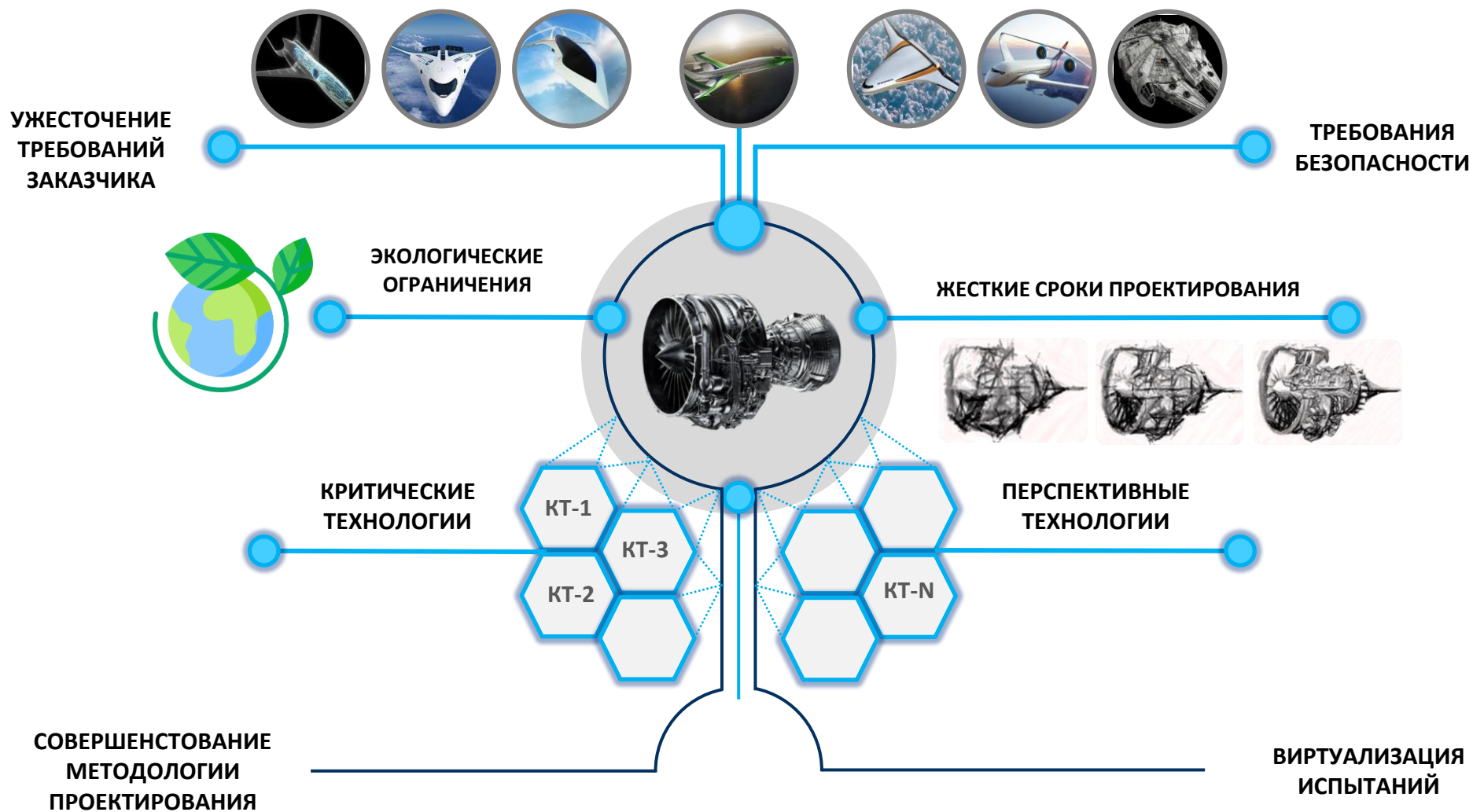


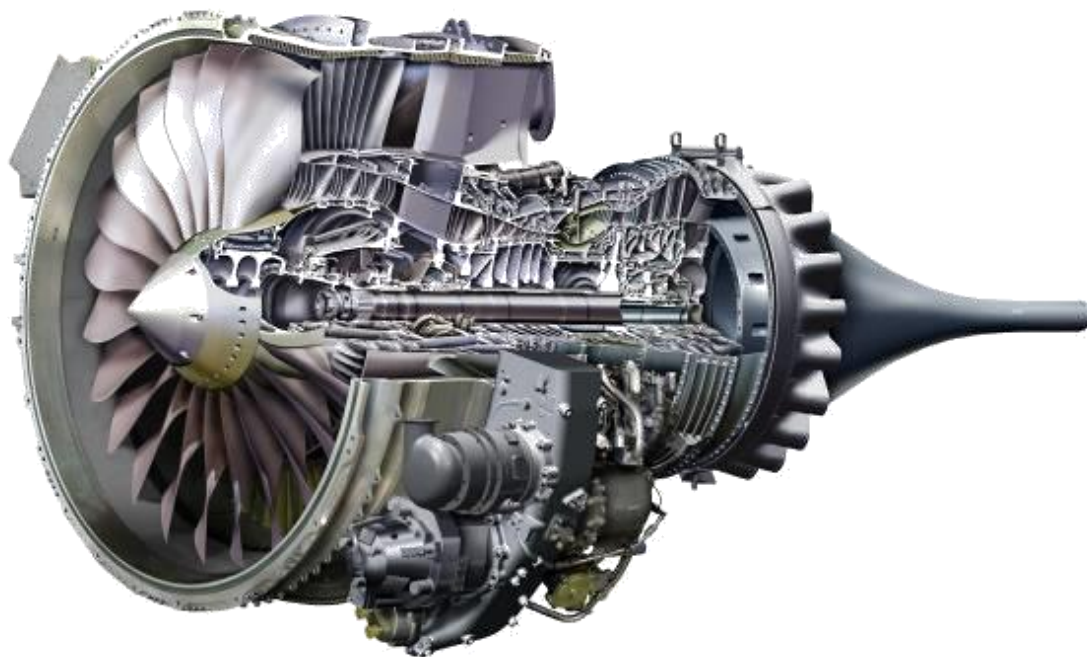
СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СТАДИИ ОКР, КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦД ГТД В СИСТЕМЕ ОБЪЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ

Виноградов Кирилл Андреевич

Заместитель начальника ОКБ-1 по расчетно-исследовательским работам, кандидат технических наук



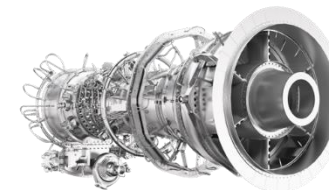
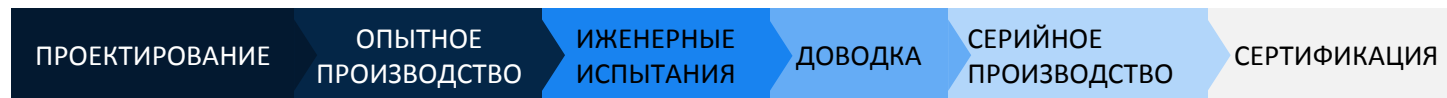
Газотурбинный двигатель – это сложнейшая мультифизичная система



- Самые высокие удельные показатели по мощности и тяге **(до 80000 л.с.)**
- Самый низкий удельный вес **(1.5 кг массы на 100 л.с. мощности)**
- Высочайшие нагрузки на детали **(> 38 тонн на лопатку турбины)**
- Максимальная температура >2000 К **(на 500 градусов выше точки плавления материала)**
- Высочайший уровень надежности **50 млн. км до капитального ремонта**
- 10000+ деталей
- 10000+ целевых требований
- Частоты вращения >10000 об/мин

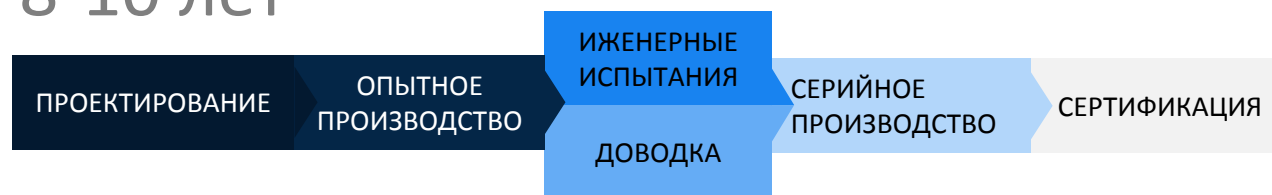
70-80 годы

12-15 лет



СЕГОДНЯ

8-10 лет



SaM146
ПД-14

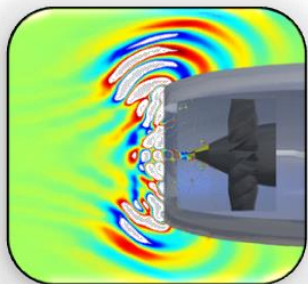
ЦЕЛЬ

4 года

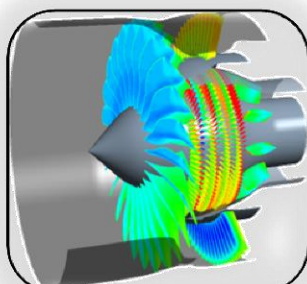


ПД-8
ПД-8В
ПД-35

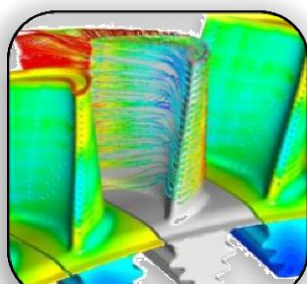
Особенно осложняется в условиях кооперации!



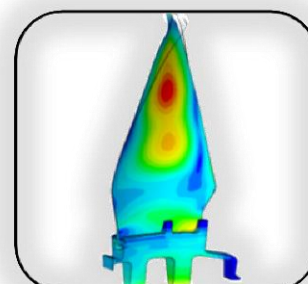
Акустика



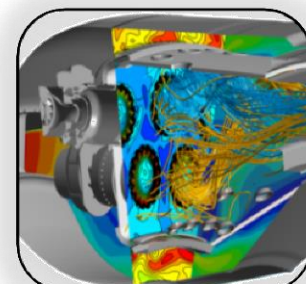
Аэродинамика



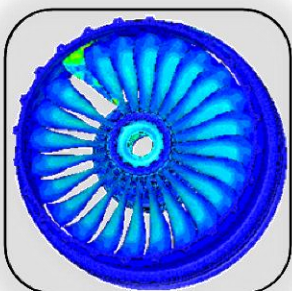
Теплообмен



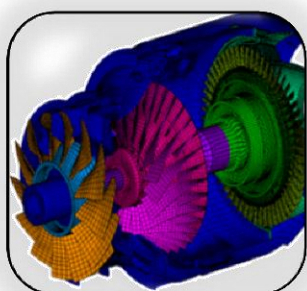
Прочность, ресурс и трещиностойкость



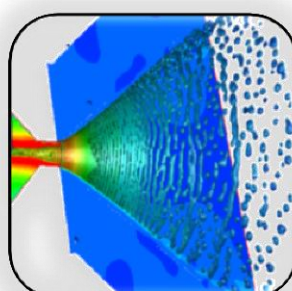
Горение



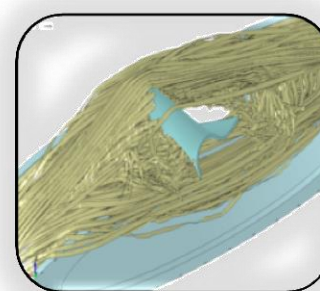
Быстрая динамика



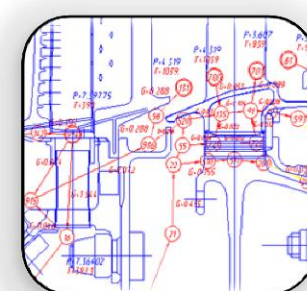
Роторная динамика



Двухфазные течения



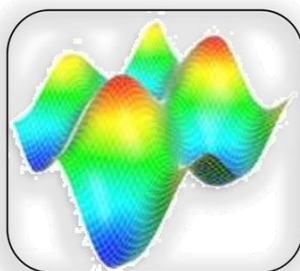
Бронезащита



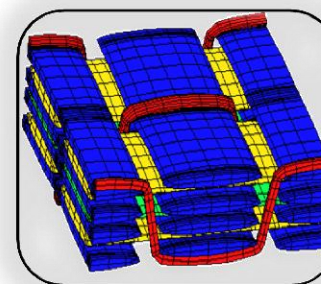
Системное моделирование



Бионический дизайн

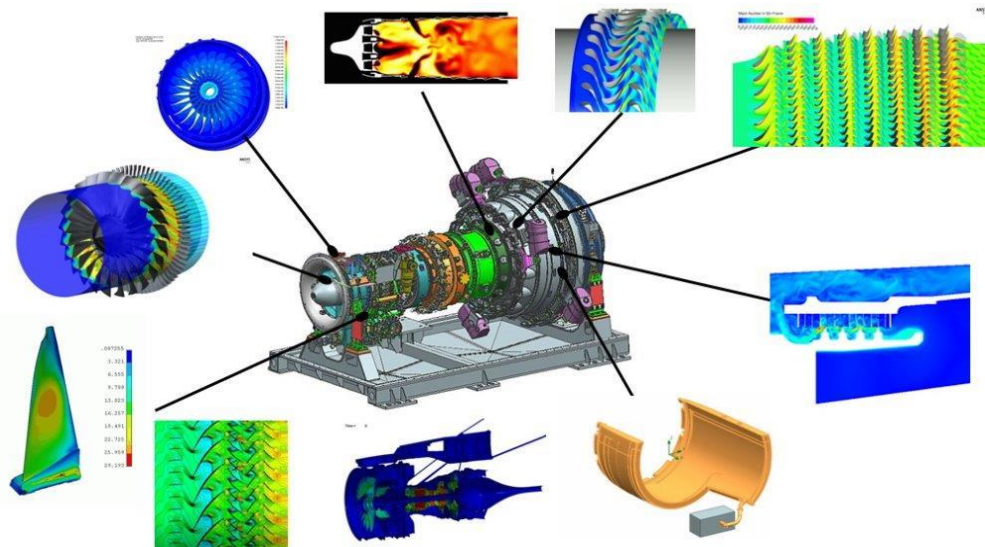


Многокритериальная и вероятностная оптимизация



Композиционные материалы

Анализ функционирования изделия посредством численного моделирования



Перечень математических моделей (134 модели)

Перечень отчетов документов по разработке математических моделей для создания цифрового двойника КДМФД в рамках НИР «МГТД»			
Этап 1			
№ п/п	Наименование отчетов НИР «МГТД», перечень документов	Разработчик отчета	Наименование раздела в отчете
1	Разработка математических моделей ГТД прототипа	МО ПРМ	Страница (14), вставки страниц, таблица
1.1	1D модель термодинамического расчета	МО ПРМ и НИИ ГТД	1D термодинамическая модель двигателя КДМФД
1.2	1D модель системы охлаждения	МО ПРМ и НИИ ГТД	1D модель системы охлаждения двигателя КДМФД
1.3	1D модель системы охлаждения двигателя КДМФД с газотурбинным приводом (ОД-200-46-1000-ТС-1000)	МО ПРМ и НИИ ГТД	1D модель системы охлаждения двигателя КДМФД с газотурбинным приводом
1.4	1D модель системы охлаждения двигателя КДМФД с газотурбинным приводом (ОД-200-46-1000-ТС-1000)	МО ПРМ и НИИ ГТД	1D модель системы охлаждения двигателя КДМФД с газотурбинным приводом
1.5	1D модель расчета массы и теплового потока в газотурбинном двигателе КДМФД	МО ПРМ и НИИ ГТД	1D модель для расчета массы и теплового потока в газотурбинном двигателе КДМФД
1.6	1D модель расчета массы и теплового потока в газотурбинном двигателе КДМФД	МО ПРМ и НИИ ГТД	1D модель для расчета массы и теплового потока в газотурбинном двигателе КДМФД
1.7	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО ПРМ	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
1.8	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО ПРМ	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
1.9	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО ПРМ	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
1.10	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО ПРМ	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
2	Разработка математических моделей компонентов ГТД прототипа	МО Компонентов	Страница (14), вставки страниц, таблица
2.1	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО Компонентов	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
2.2	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО Компонентов	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
2.3	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО Компонентов	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
2.4	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО Компонентов	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
3	Разработка математических моделей компонентов ГТД прототипа	МО Компонентов	Страница (14), вставки страниц, таблица
3.1	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО Компонентов	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
3.2	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО Компонентов	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
3.3	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО Компонентов	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
3.4	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента	МО Компонентов	1D модель системы ГТД для расчета кривых момента
4	ТД прототипа	МО прототипа	Страница (14), вставки страниц, таблица
4.1	1D модель ТД прототипа для расчета кривых момента	МО прототипа	1D модель ТД прототипа для расчета кривых момента
4.2	1D модель ТД прототипа для расчета кривых момента	МО прототипа	1D модель ТД прототипа для расчета кривых момента
4.3	1D модель ТД прототипа для расчета кривых момента	МО прототипа	1D модель ТД прототипа для расчета кривых момента

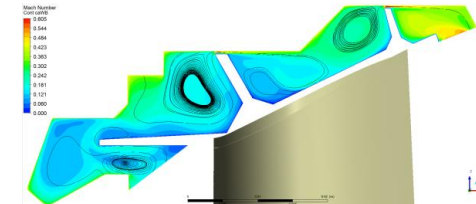
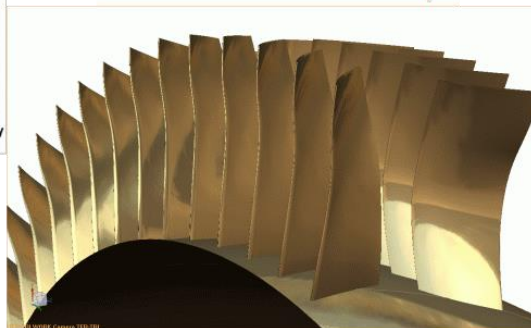
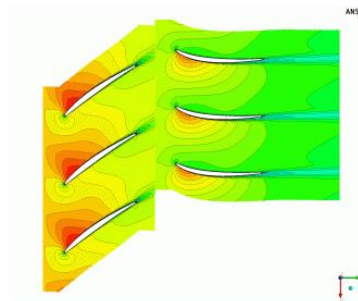
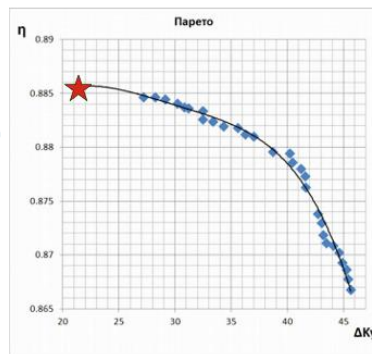
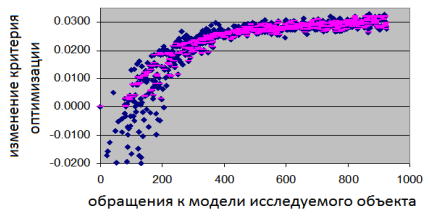
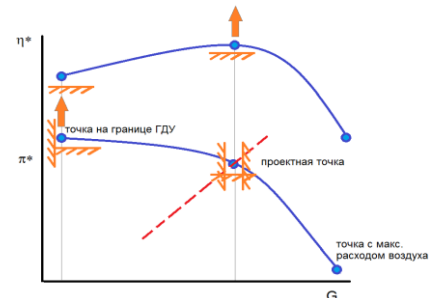
Проект ГОСТ

«Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»

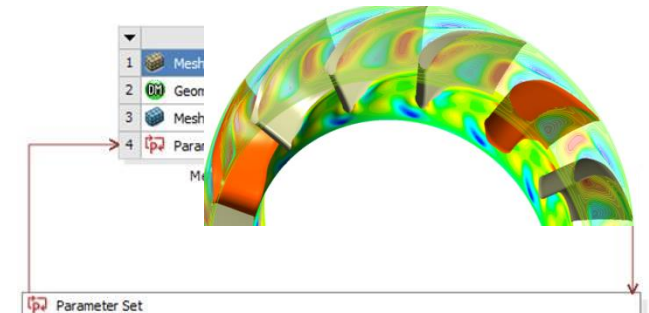
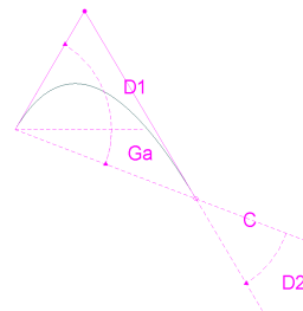
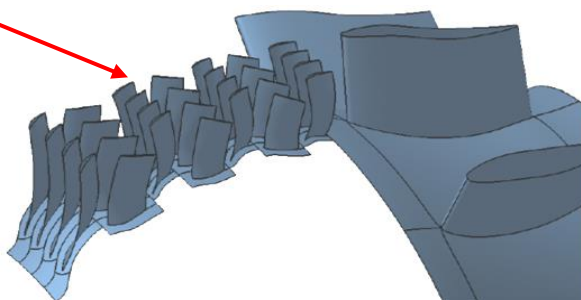
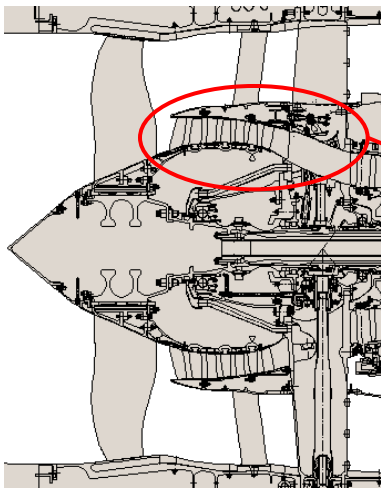
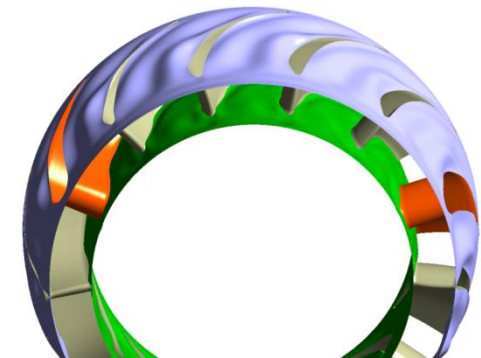
- Переход от вспомогательной роли расчетов к ведущей (Simulation Driven Design)
- Юридическая и экономическая значимость компьютерных моделей: модель - продукт
- Развитие элементов системы менеджмента качества для компьютерных моделей
- Классификация, структурирование и учет математических моделей: модель - документ
- Учет затрат на создание компьютерных моделей. Разработка норм времени

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ (детерминированная)

- КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕМЕННЫХ ДО 350
- ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОФИЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛОПАТОК МНОГООРУБЧАТЫХ МАШИН
- ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАКТОВЫХ ПОЛОК
- ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ И БАНДАЖНЫХ ПОЛОК



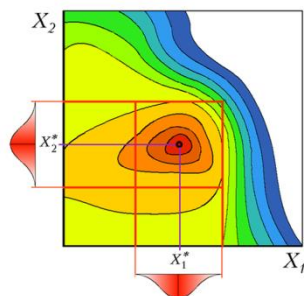
Многокритериальная оптимизация бандажных полок и систем охлаждения лопаток



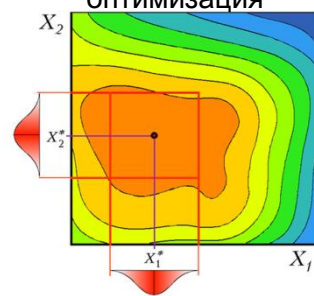
Оптимизация трактовых поверхностей

Технологии робастной оптимизации

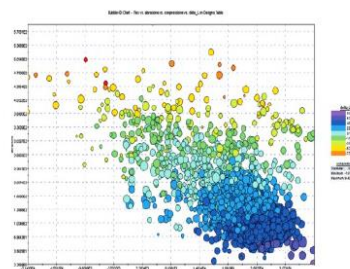
Детерминированная оптимизация



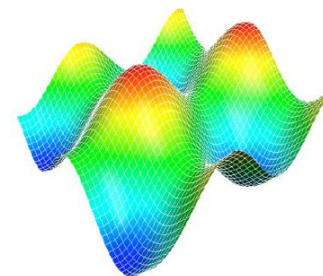
Робастная оптимизация



Оптимизационные алгоритмы



Поверхность отклика



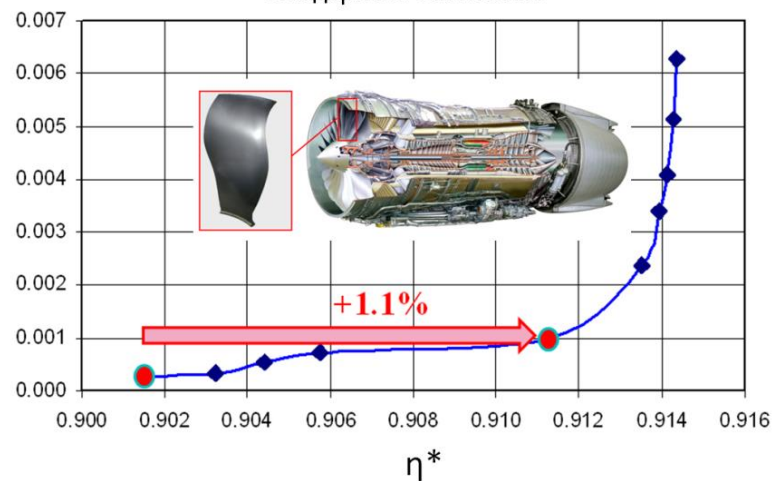
Методы UQ



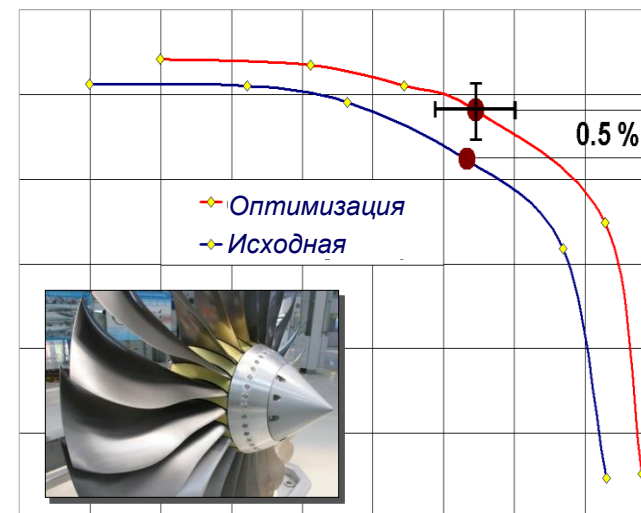
Решаемые задачи

Множество Парето: Среднее значение КПД, стандартное отклонение

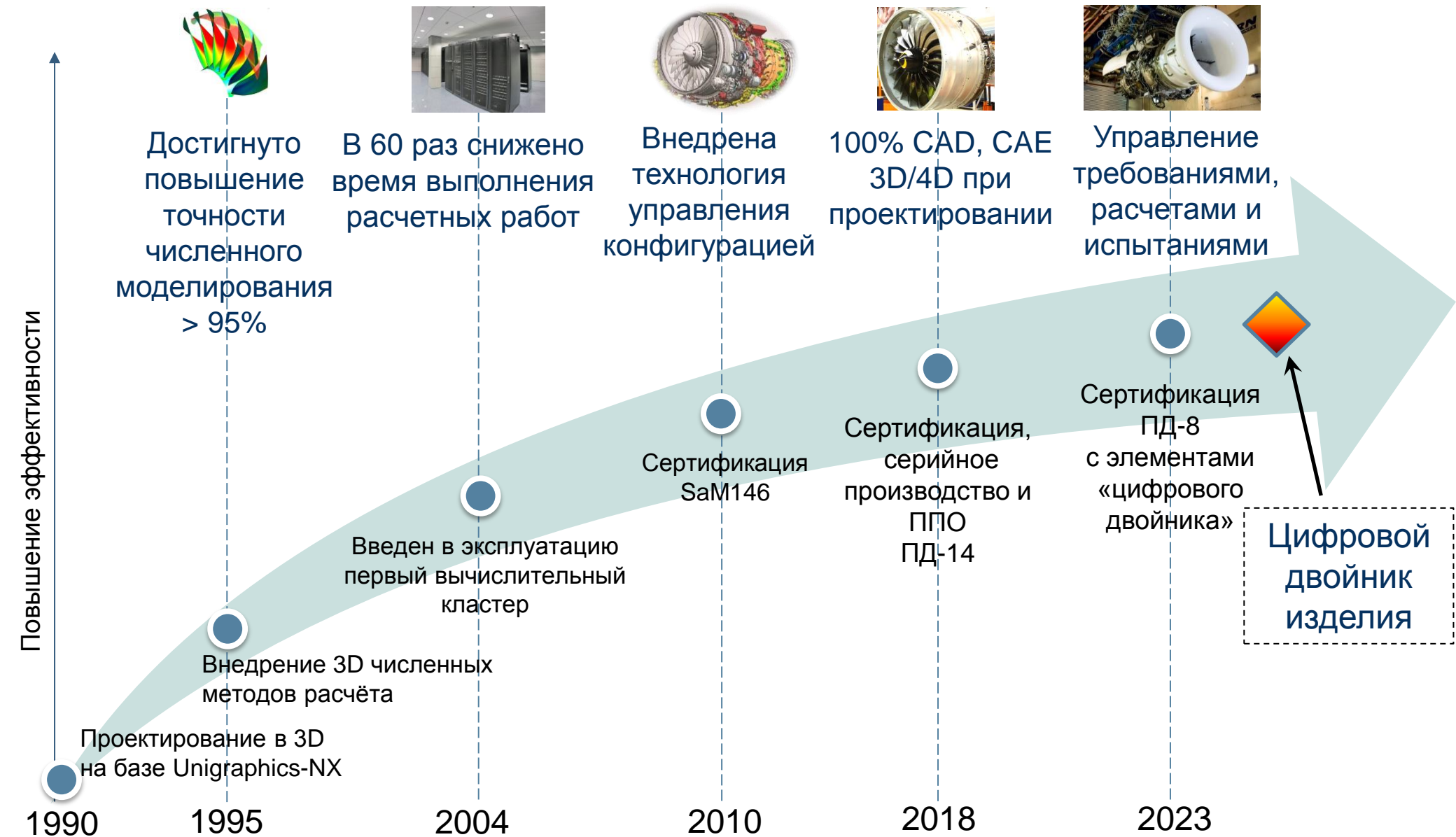
$\Delta\eta$

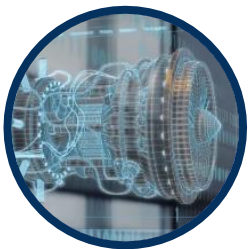


η



ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОДК






Подход к проектированию на основе комплексной компьютерной модели, состоящей из взаимосвязанных математических моделей разного уровня детализации (0D, 1D, 2D, 3D), объединённых в информационной среде и имеющих возможность уточнения по данным экспериментов и эксплуатации.


Как объект

Адекватность 


Мультидисциплинарность 


Фактическая геометрия 


Данные экспериментов 


Данные эксплуатации 


Как технология

 Управление ходом проекта на основе матрицы требований и матрицы соответствия

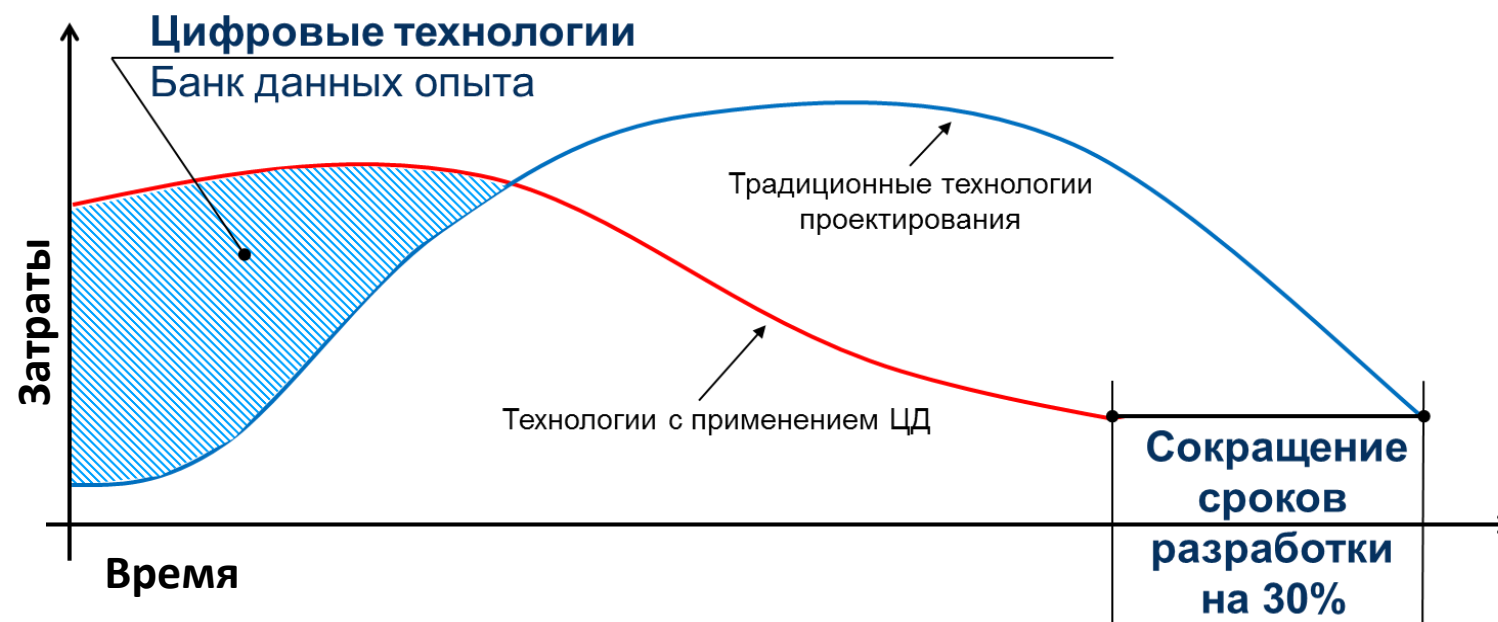
 Проектирование и сопровождение изделия как системы

 Сквозное безбарьерное цифровое проектирование (конструкция, расчёты, испытания)

 Сопровождение системы в течении всего жизненного цикла

 Физическое изготовление двигателя и испытания только для подтверждения заявленных характеристик

- УЖЕСТОЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ИЗДЕЛИЯМ – КАК СЛЕДСТВИЕ УВЕЛИЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
- СЖАТЫЕ СРОКИ РАЗРАБОТКИ
- УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ
- ПЕРЕХОД ОТ МОДЕЛИ ПРОДАЖ ПРОДУКТА К МОДЕЛИ ПРОДАЖ УСЛУГ ПО ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ – ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ



ЦЕЛИ:

- УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ПРИНЯТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
- ДОСТИЖЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ТЗ С МИНИМАЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ПОВТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
- СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ПОЗДНИХ ЭТАПАХ ОКР (И ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОКР ПО МОДИФИКАЦИЯМ)
- СОХРАНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. Требования к содержанию

ЦД должен содержать данные основных этапов ЖЦ изделия

2. Требования к расположению

ЦД должен располагаться в едином информационном пространстве, обеспечивающем коллективную работу специалистов

3. Требования к точности и соответствию реальным физическим объектам

ЦД должен обеспечивать уровень точности в среднем не превосходящий погрешность соответствующих экспериментальных исследований

4. Требования к срокам использования

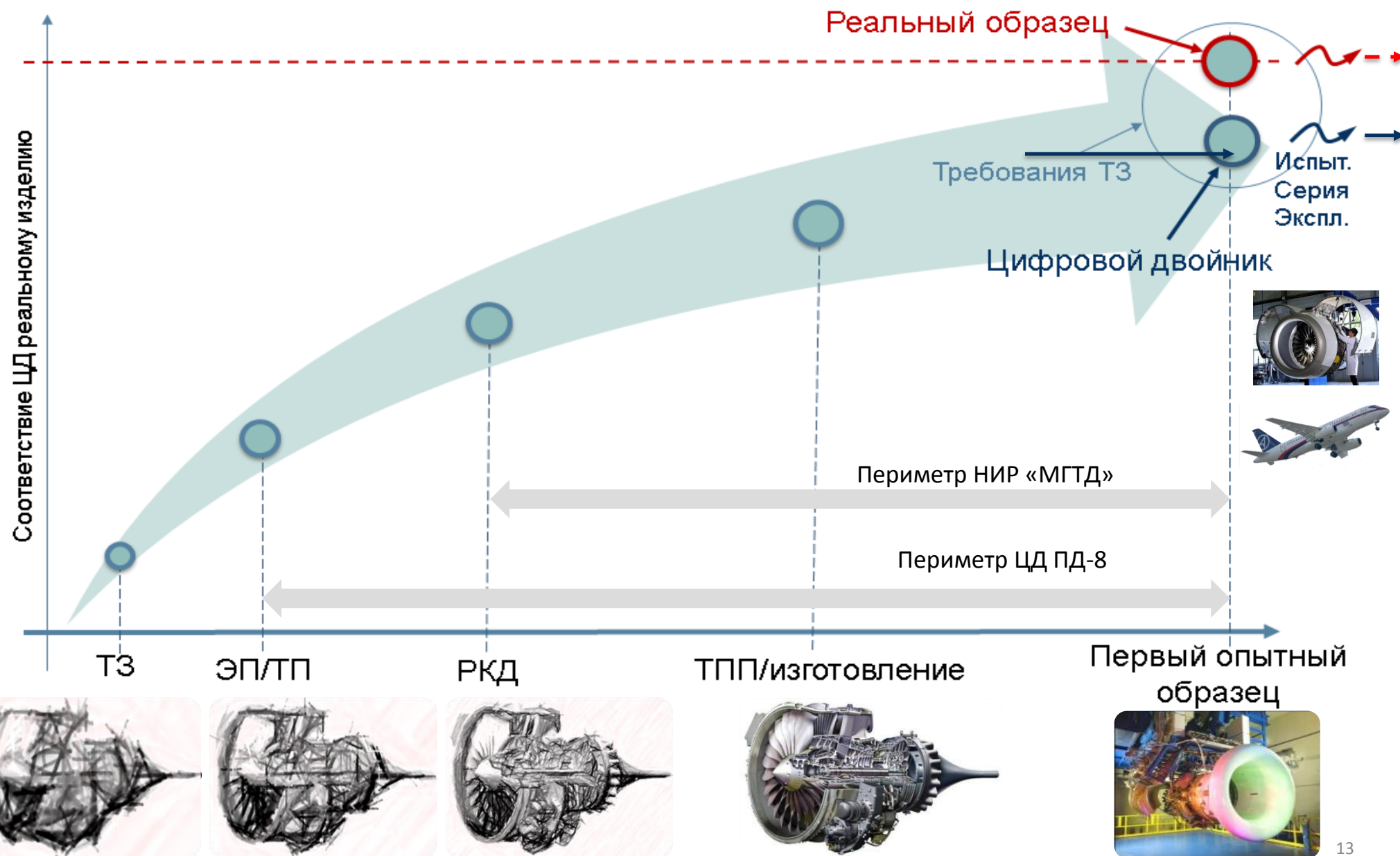
ЦД и входящие в него данные должны храниться в течение всего жизненного цикла изделия

5. Требования к составным частям

ЦД должен состоять из данных разного уровня (от уровня изделия до уровня его компонентов), подтверждающих полный перечень требований к технико-экономическим характеристикам изделия на протяжении всего жизненного цикла

6. Требования к прослеживаемости

ЦД должен позволять отслеживать историю создания и развития изделия и его компонентов на протяжении всего жизненного цикла



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
57700.37—
2021

Компьютерные модели и моделирование
ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ИЗДЕЛИЙ

Общие положения

ГОСТ 577700.37-2021

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

Закреплены:

- Основные термины и определения
- Цели и задачи создания цифровых двойников
- Общие требования к разработке цифровых двойников
- Рекомендации по применению цифровой платформы и ее состав
- Необходимость создания многоуровневой системы требований

Важные моменты:


- п.5.3 «Наполнение и функциональность ЦД зависит стадии жизненного цикла изделия»
- п.5.3 «Решение о разработке, составе и функциональности ЦД изделия, в том числе двухсторонних информационных связей в составе цифровых двойников, определяет заказчик по согласованию с разработчиком»
- п.6.2 «Требования к ЦД и состав отчетных документов устанавливаются заказчиком в техническом задании»

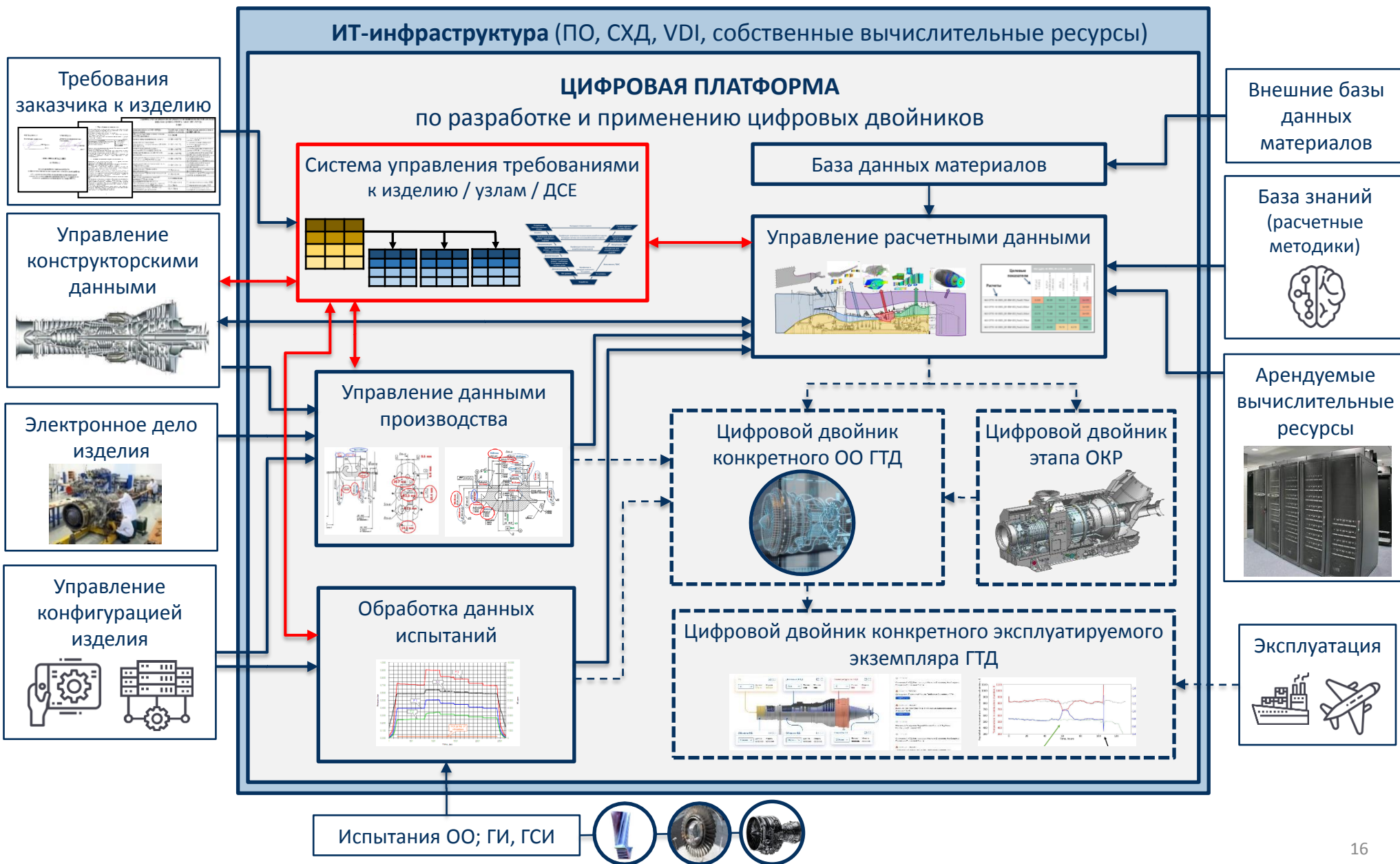
Сформулированы и закреплены:

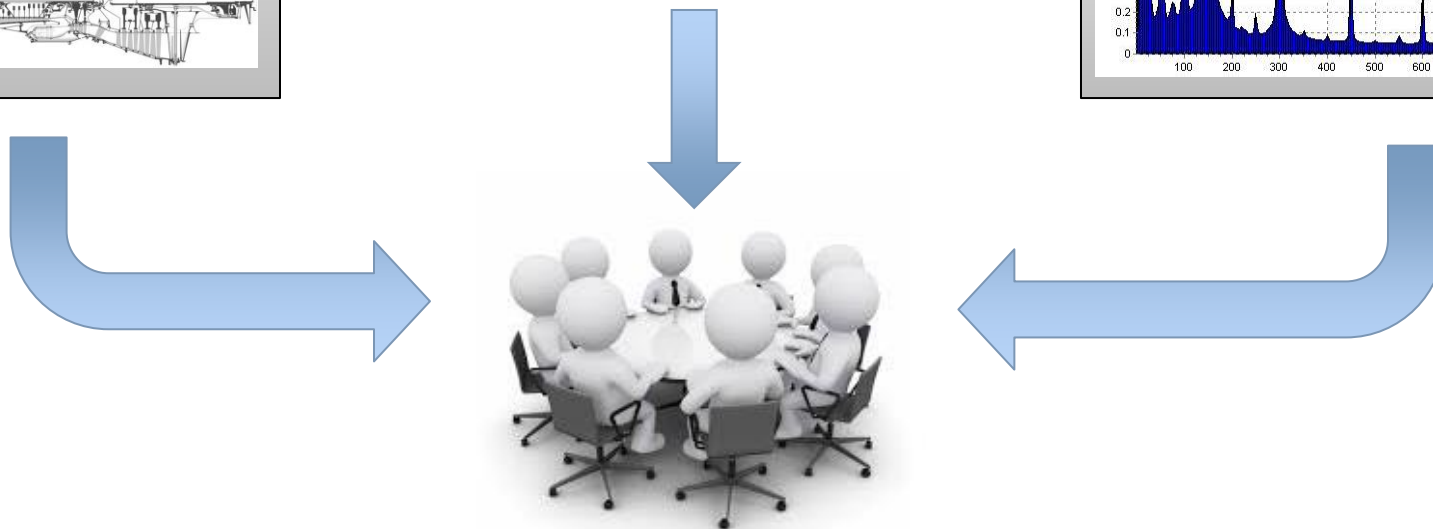
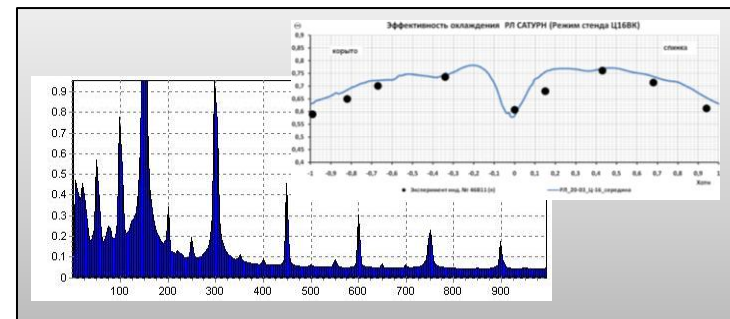
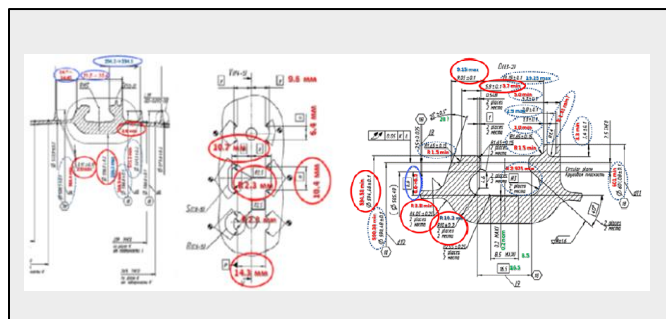
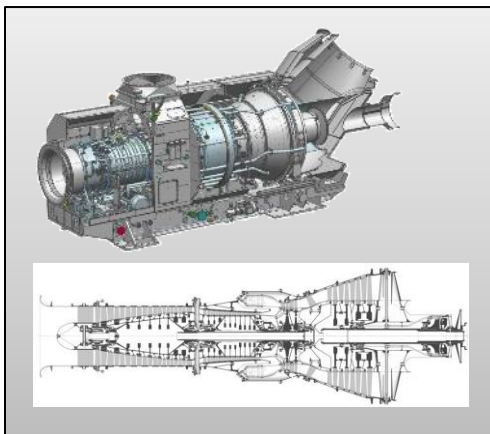
- Основные термины и определения
- Цели и задачи создания цифровых двойников ГТД
- Признаки наличия ЦДИ (ГТД)
- Общие требования к разработке цифровых двойников ГТД
- Принципы построения цифровых двойников газотурбинных двигателей

Важные моменты:

- п.4.5 «ТЗ на ЦДИ стадии ОКР разрабатывается как СЧ ОКР »
- п.4.6 «Объектом моделирования ЦДИ является ГТД в целом. ККМ узлов и систем в соответствии с функциональной схемой проектирования ГТД (компрессор, турбина, камера сгорания и т.д.) являются СЧ ЦДИ ГТД.»
- п.6.2 «На каждой стадии и этапе создания ГТД допускается существование нескольких ЦДИ одного и того же объекта моделирования»

Акционерное общество «Объединенная двигателестроительная корпорация»		
	СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ	СТО ОДК 480-2022
УТВЕРЖДАЮ Генеральный директор А.В. Артохов		
« » 202_ г.		
Управление разработкой Цифровой двойник изделия. Общие положения		
СТО ОДК 480-2022		
Москва 2022		



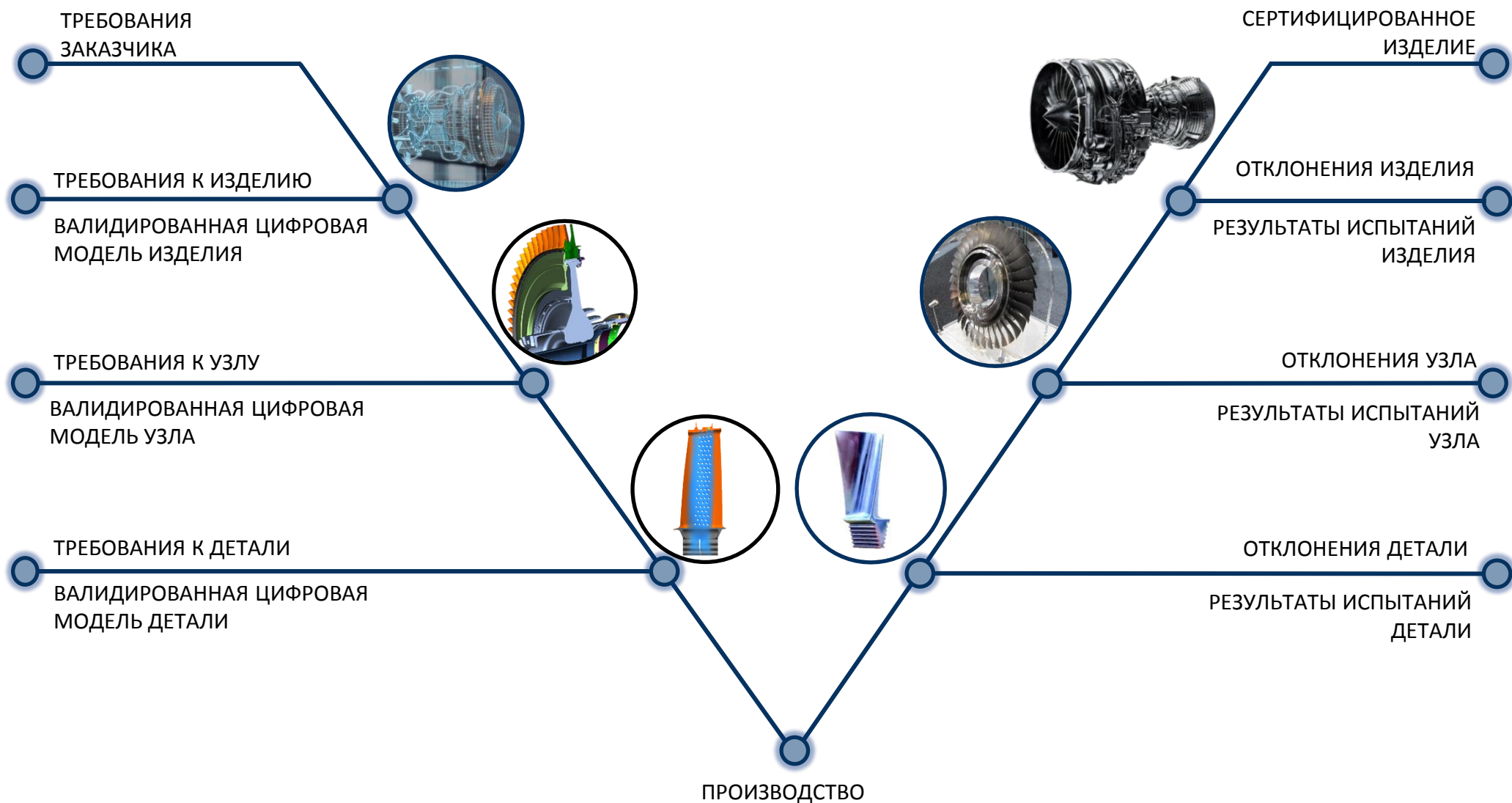


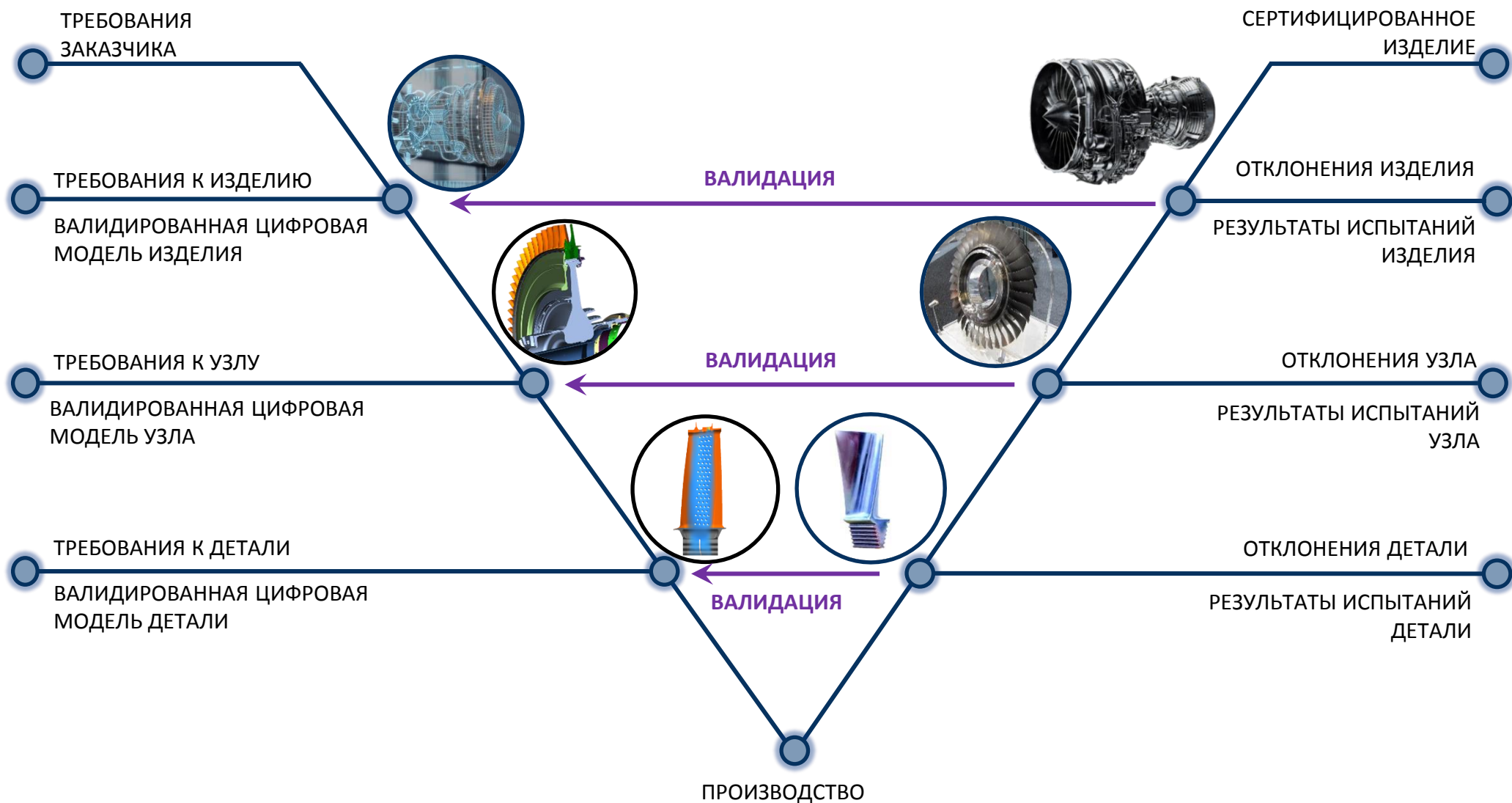
- Данные по конструкции ДСЕ
- Данные по фактическим размерам ДСЕ
- Увязка и валидация моделей по результатам испытаний

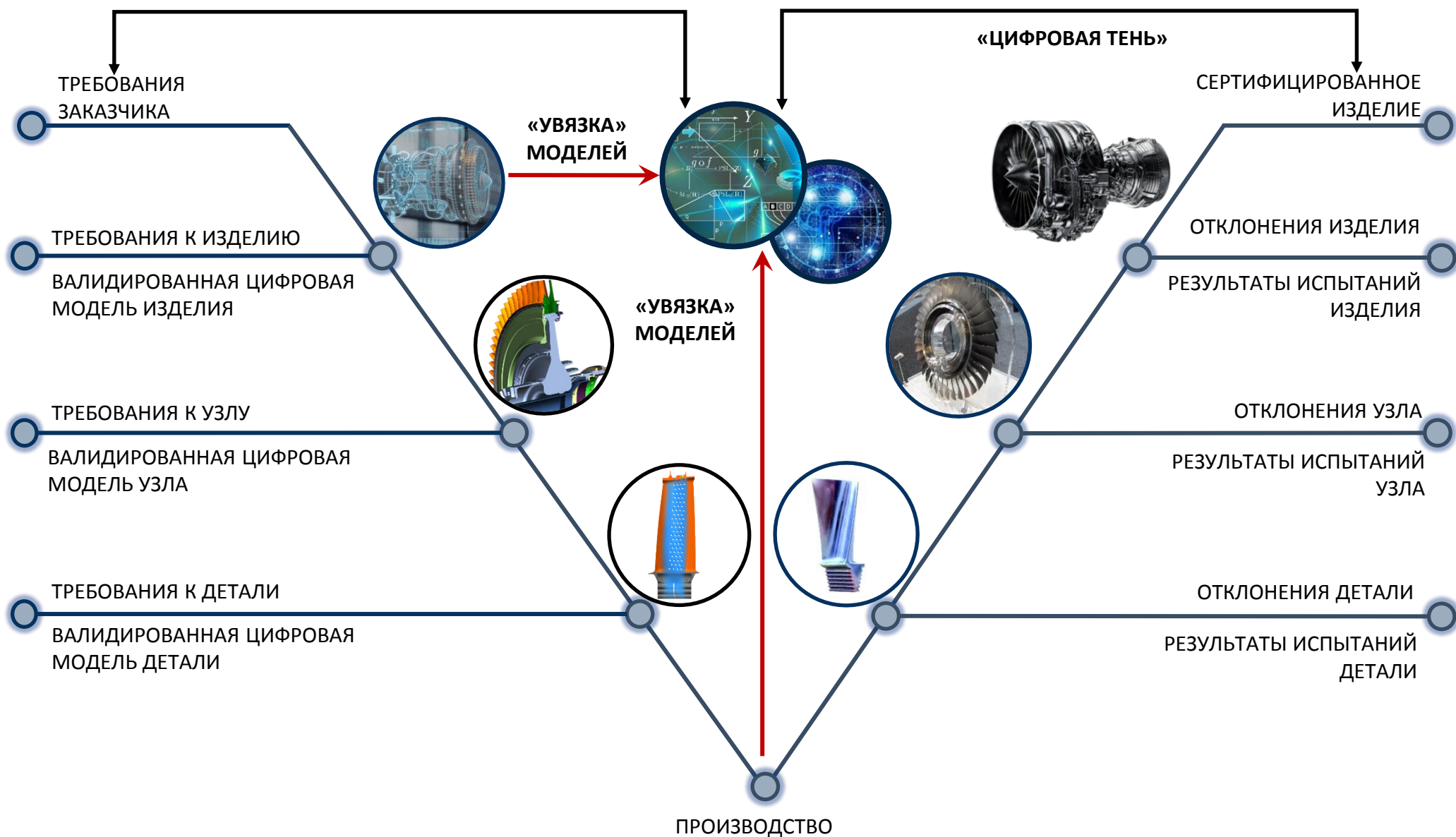
- Прослеживаемость данных
- Сопровождение испытаний
- Принятие решений по отклонениям
- База знаний для эксплуатации

ГОСТ Р 57700.37-2021

6.3 Для создания цифровых моделей и (или) ЦД, проведения цифровых (виртуальных) испытаний, применения результатов математического и компьютерного моделирования и организации совместной работы по созданию цифрового двойника изделия рекомендуется применять программно-технологическую платформу

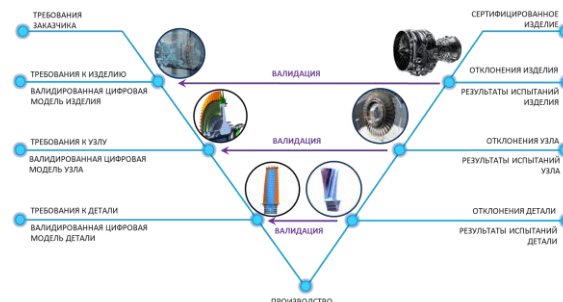








**Испытания в составе
объекта применения**



**Системное проектирование ГТД
(10000+ целевых показателей)**

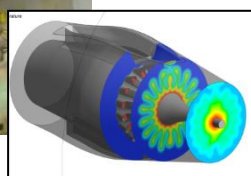
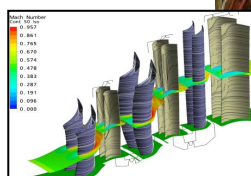
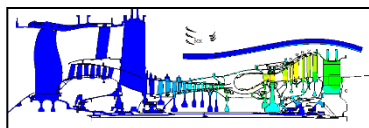


Target Value in simulation model	Target Value in simulation model	Target Value in simulation model	Target Value in simulation model	Target Value in simulation model	Target Value in simulation model
WPM_0001_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0002_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0003_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0004_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0005_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0006_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0007_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0008_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0009_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
WPM_0010_0001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

**Управление
требованиями**

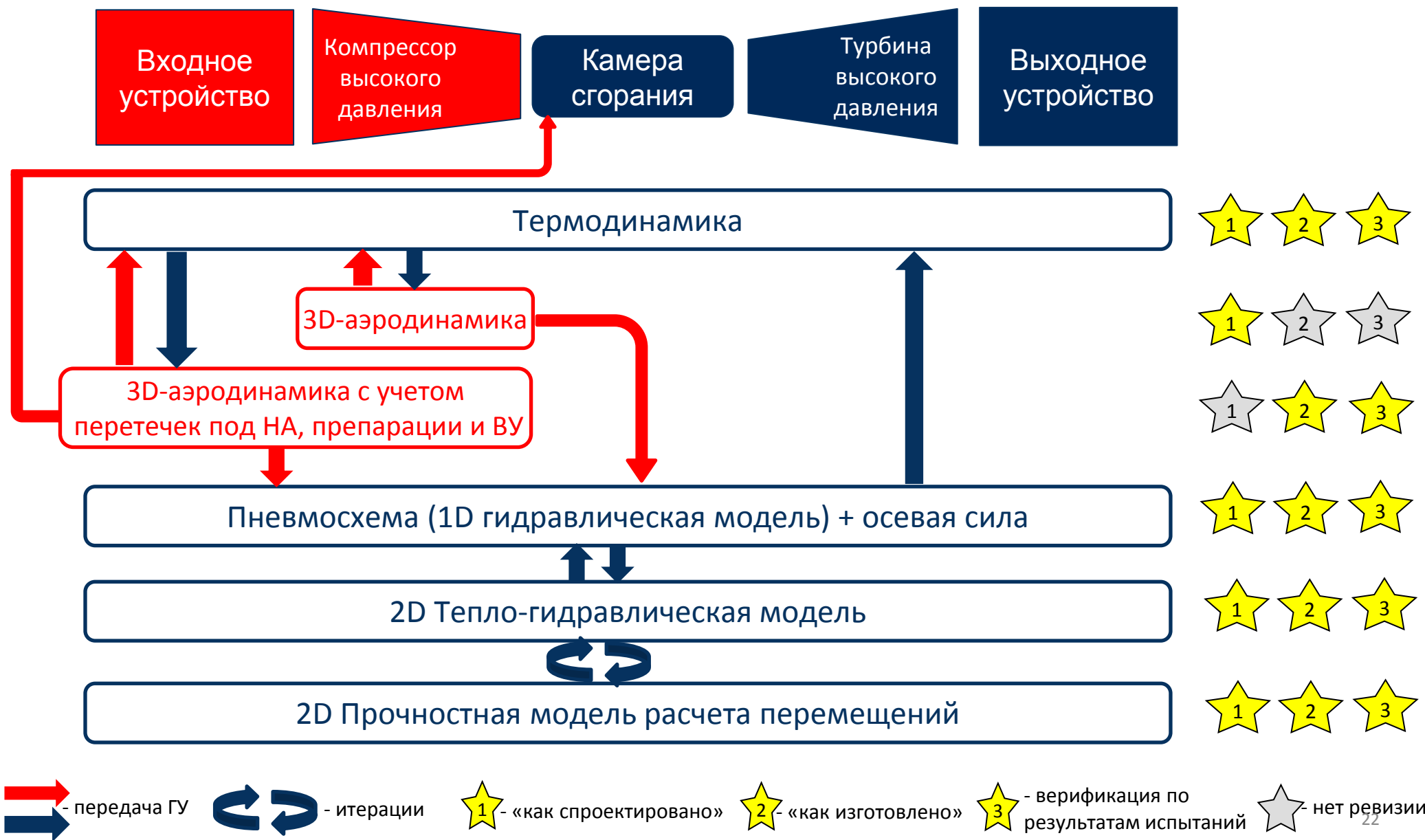


**Детальное
проектирование
узлов и систем ГТД**

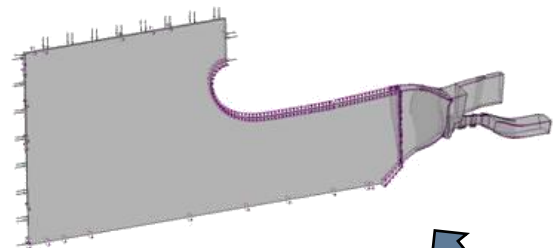


**Моделирование испытаний
300+ виртуальных испытаний**

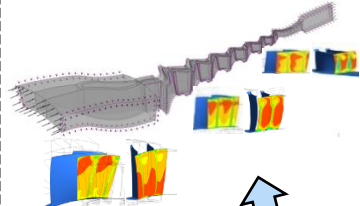
Цифровой двойник - подход к проектированию на основе комплексной компьютерной модели, состоящей из взаимоувязанных математических моделей разного уровня детализации, объединённых в информационной среде и имеющих возможность уточнения по данным экспериментов и эксплуатации.



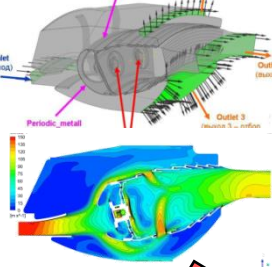
Математическая модель
«Входное устройство + КНД»



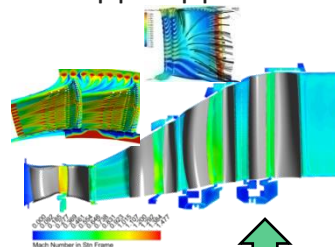
Математическая модель «КВД»



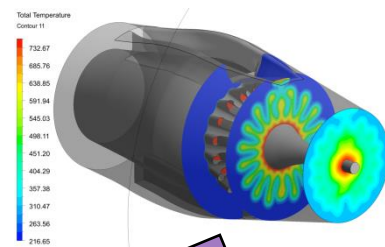
Математическая модель «КС»



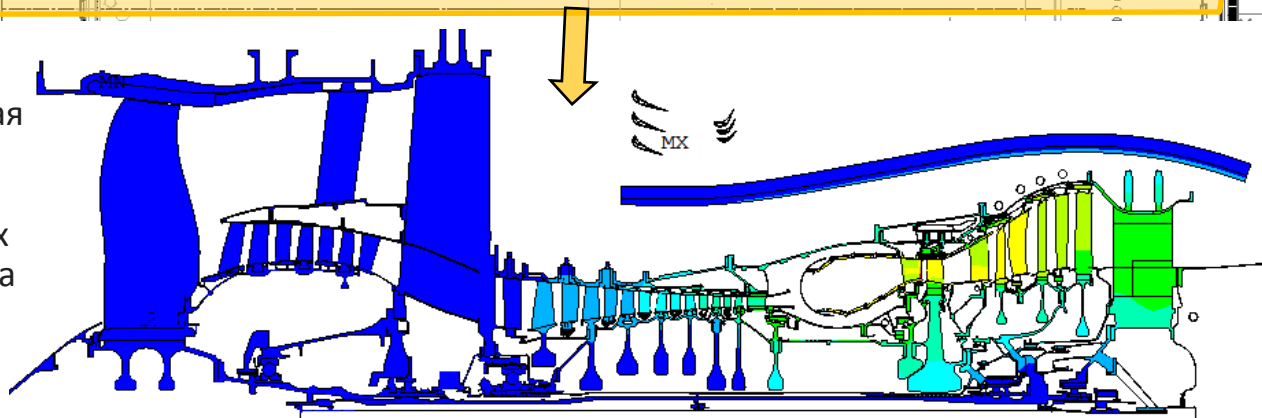
Математическая модель «ТВД+ТНД+ЗСУ»

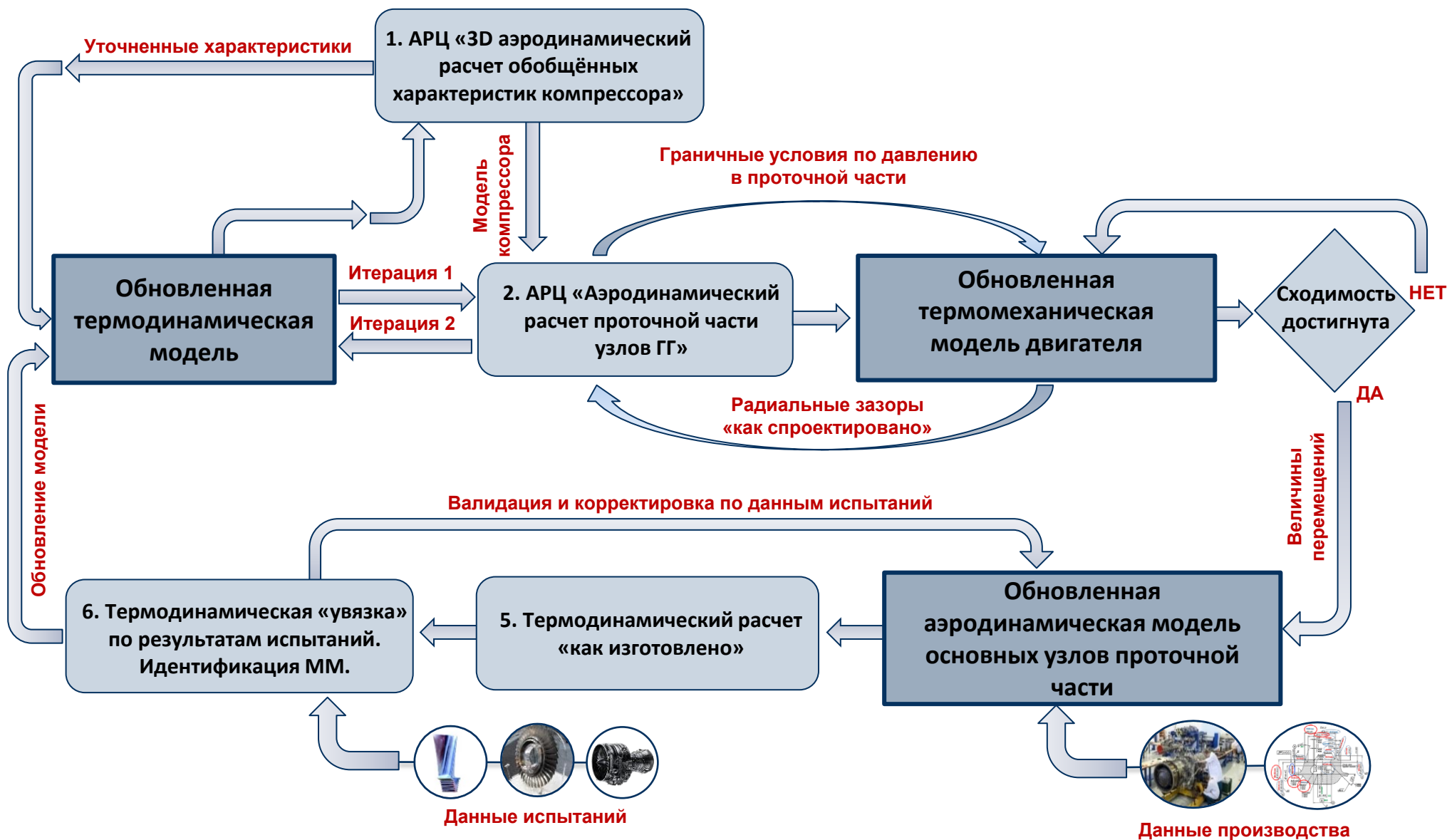


Математическая модель «Пилон + смеситель + ВУ»



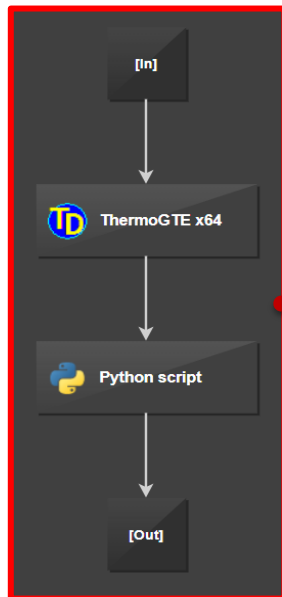
2D Термомеханическая модель ГТД (расчет тепла, радиальных и осевых перемещений, оценка зазоров)



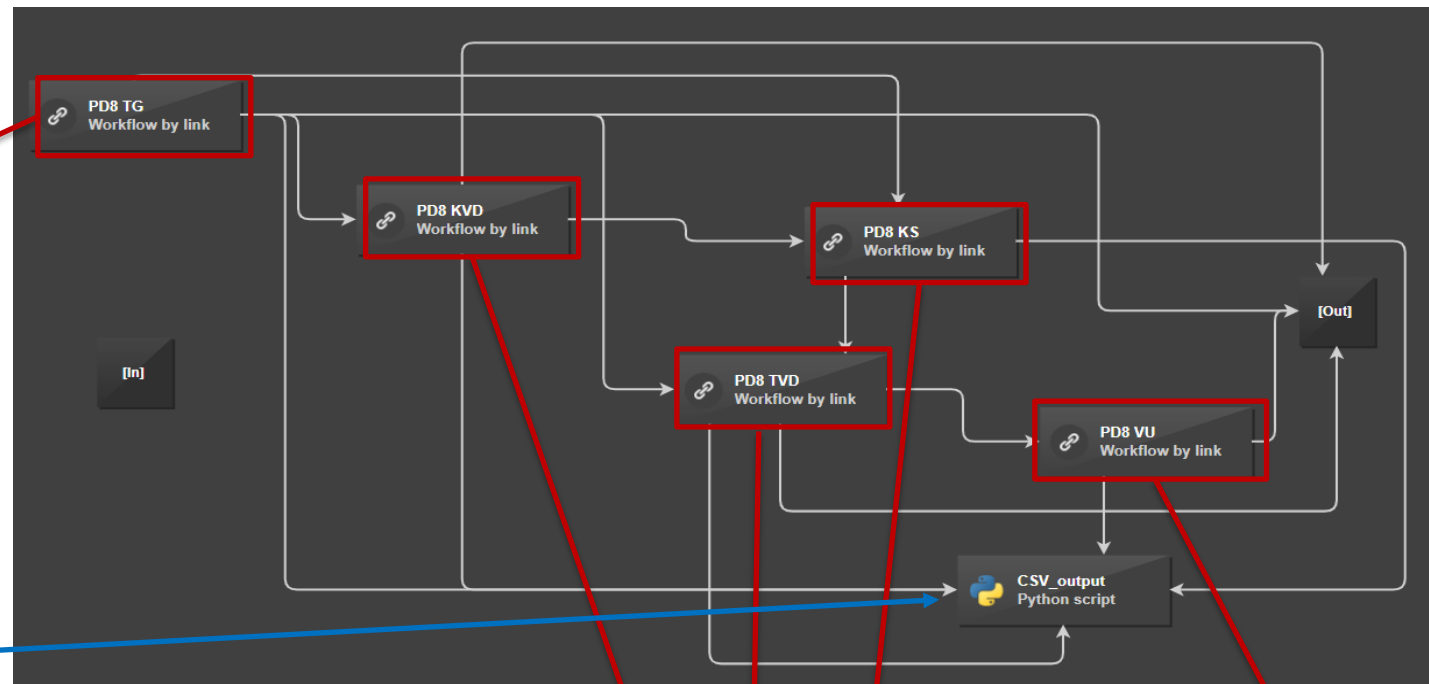


- Включает в себя: расчет термодинамики на режиме (в ThermoGTE) и аэродинамику проточной части (в ANSYS CFX) для КВД, КС, ТВД и выходного устройства
- Цепочки расчета узлов обмениваются интегральными данными (обороты, расходы газа и т.д.), а так же радиальными эпюрами
- Реализован автоматизированный запуск задач в ANSYS CFX на вычислительном кластере

Цепочка расчета термодинамики



Блок создания файла с результатами расчетов и анализом



Типовые цепочки для расчета аэродинамики проточной части в ANSYS CFX

- Разработаны АРЦ для типовых, трудоемких расчетов: напорных веток и статической прочности компрессора (3D), а так же теплогидравлики и расчета перемещений (2D)
- АРЦ оформлены в виде web-приложений
- АРЦ позволяют значительно сократить время расчетов за счет исключения «**ручных**» операций по созданию моделей, построению расчетных сеток, интерполяции результатов и т.д., а также исключить коммуникационные потери при передаче данных

Saturn_3d_CFD Запустить

→ Входные данные Результаты Справка

Расчетная модель

Шаблон модели в CFX

Выберите файл

Номинальная скорость вращения (об/мин)

15400

☐ Сохранение файлов результатов расчета в CFX

☐ Использовать полученные результаты при расчете ветки

Загрузка файлов начального приближения

Нижняя граница скорости вращения, %	Верхняя граница скорости вращения, %	Файл
		Выберит

Формирование расчетной сетки

Загрузка шаблона geoturbo

Выберите файл

Геометрическая модель

Шаблон NX

Выберите файл

Идентификатор поверхности

Face:C-461-33

☒ RevFaces

☒ MidLine3DBuildN

☒ FormTurboBlade

Параметры ступеней

Загрузка файлов профилиатора

Выберите файлы

Приложение для расчета компрессора

2D_Saturn Запустить

→ Входные данные Результаты Справка

Параметры

Критерий остановки

Выберите...

Максимальное число итераций

2

Относительная погрешность

0.01

Имя компоненты ротора в прочностной модели

ROTOR_EL

Версия Ansys Mechanical APDL для прочностного анализа

195

☒ Термогидравлический расчет

Файлы

Тепловая модель

Выберите файлы модели

Выберите файл Conv2.txt

Прочностная модель

Выберите файлы модели

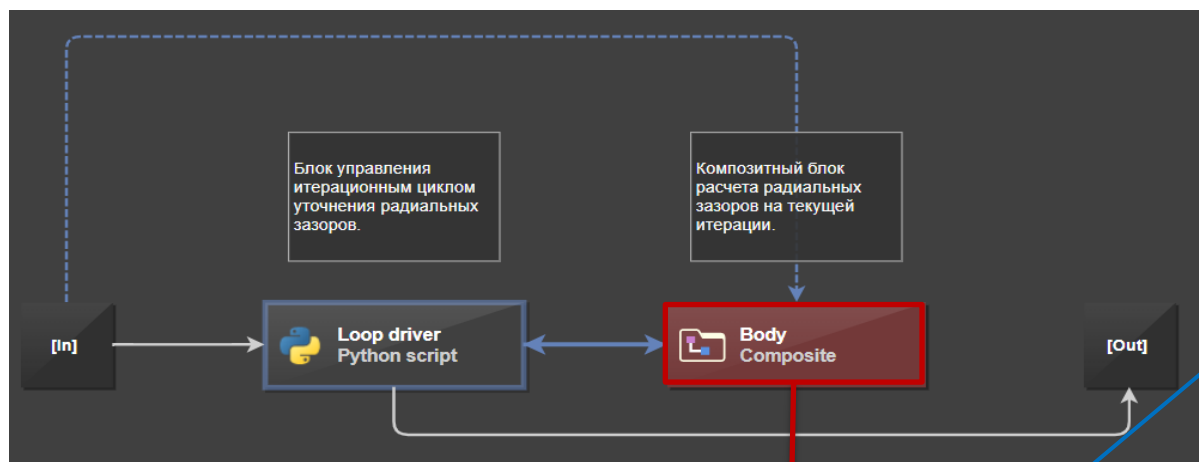
Выберите файл с дополнительными граничными условиями

Выберите файл для фильтрации Pres.txt

Интерполяция температуры

Имя компоненты тепловой модели	Имя компоненты прочностной модели	Выполнять интерполяцию для компоненты	Проверить интерполяцию	Тип компоненты	Осевое смещение

Приложение для расчета теплогидравлики и перемещений

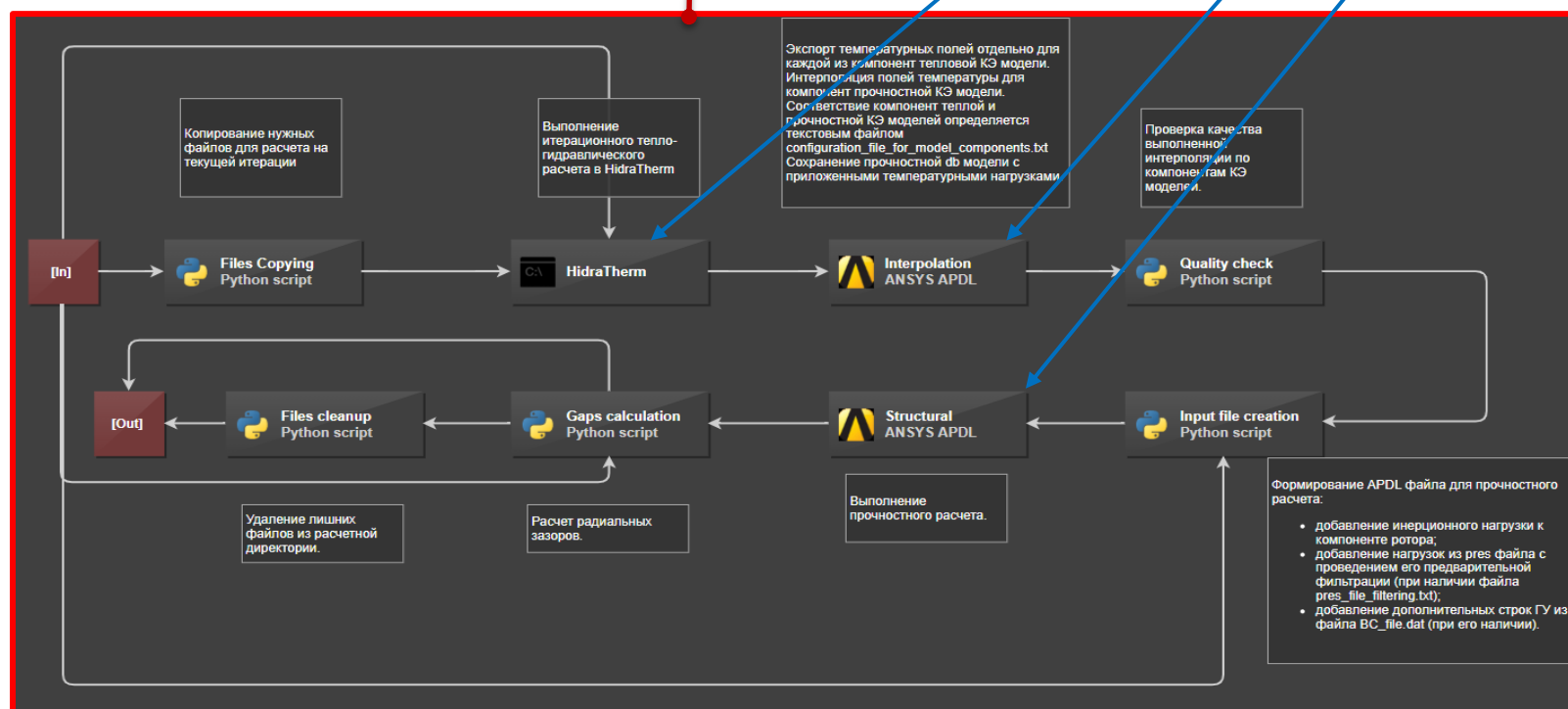


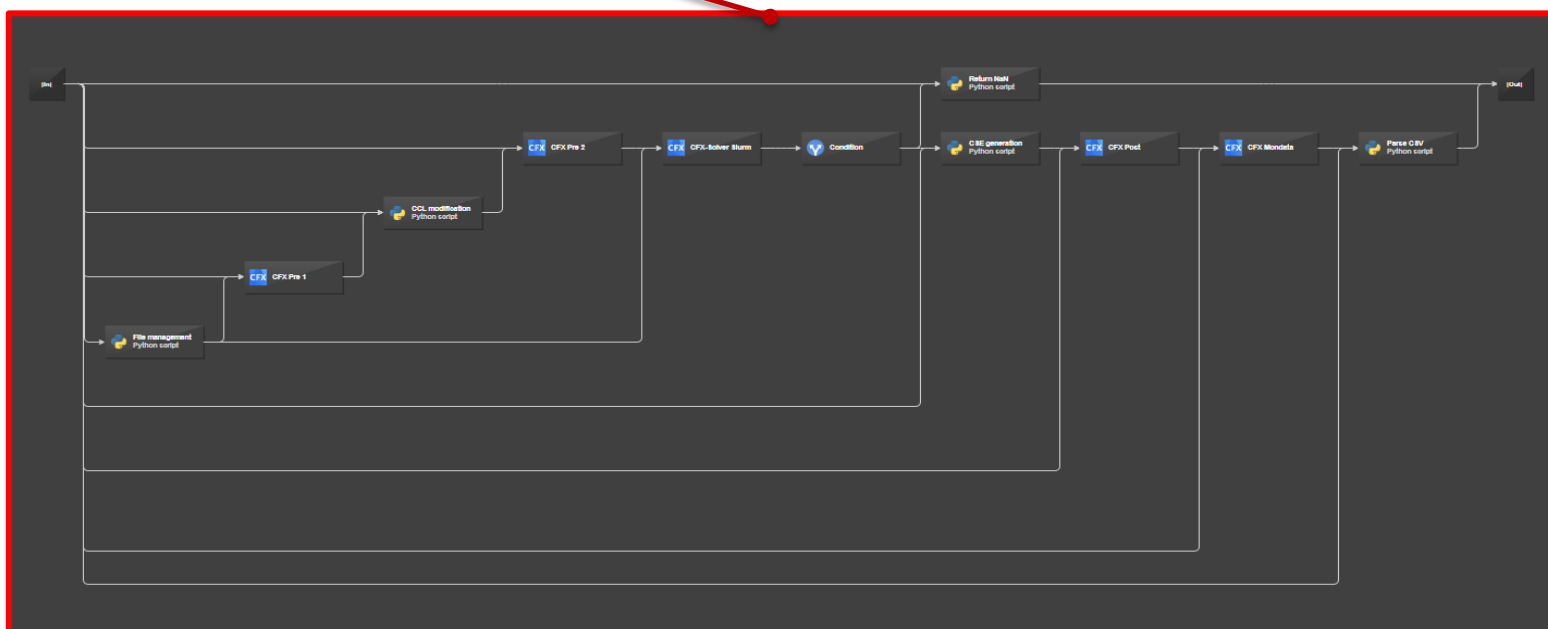
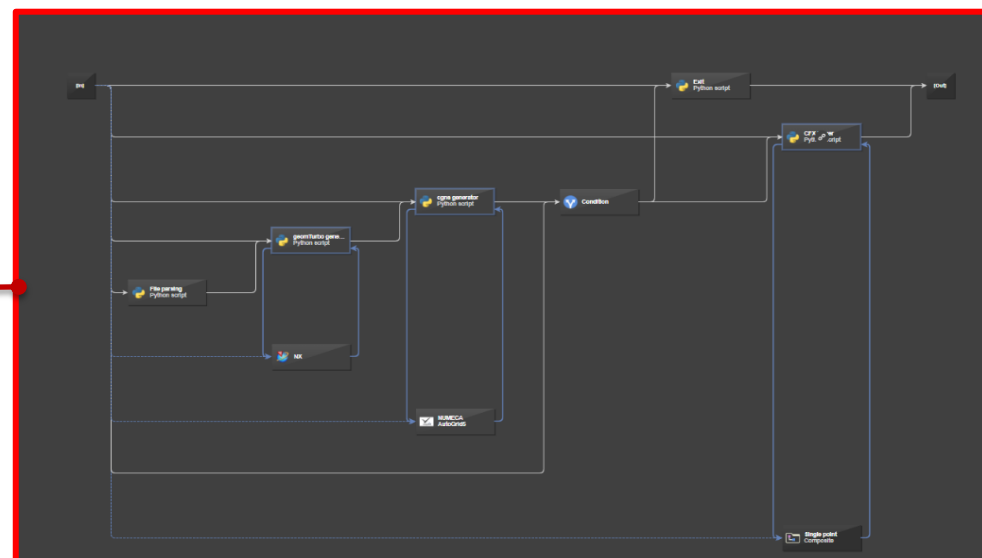
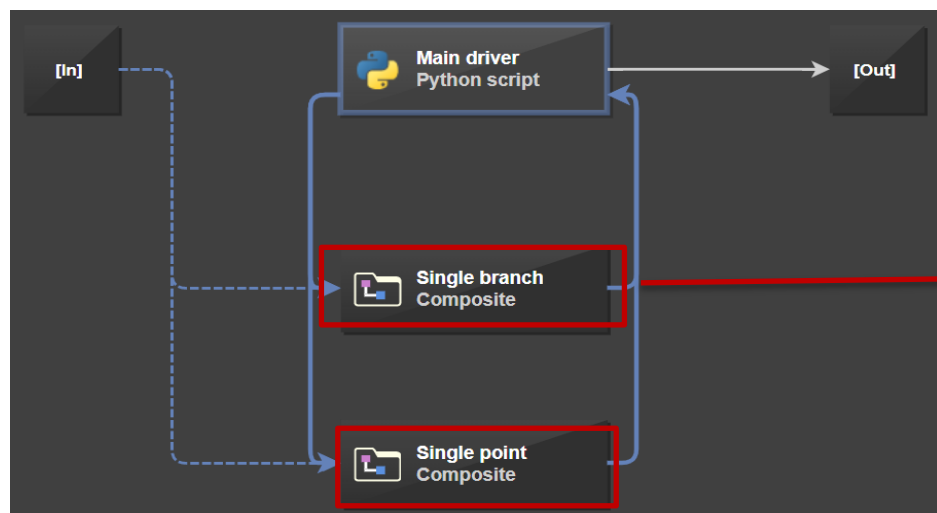
Теплогидравлический расчет

Интерполяция результатов

теплогидравлического расчета

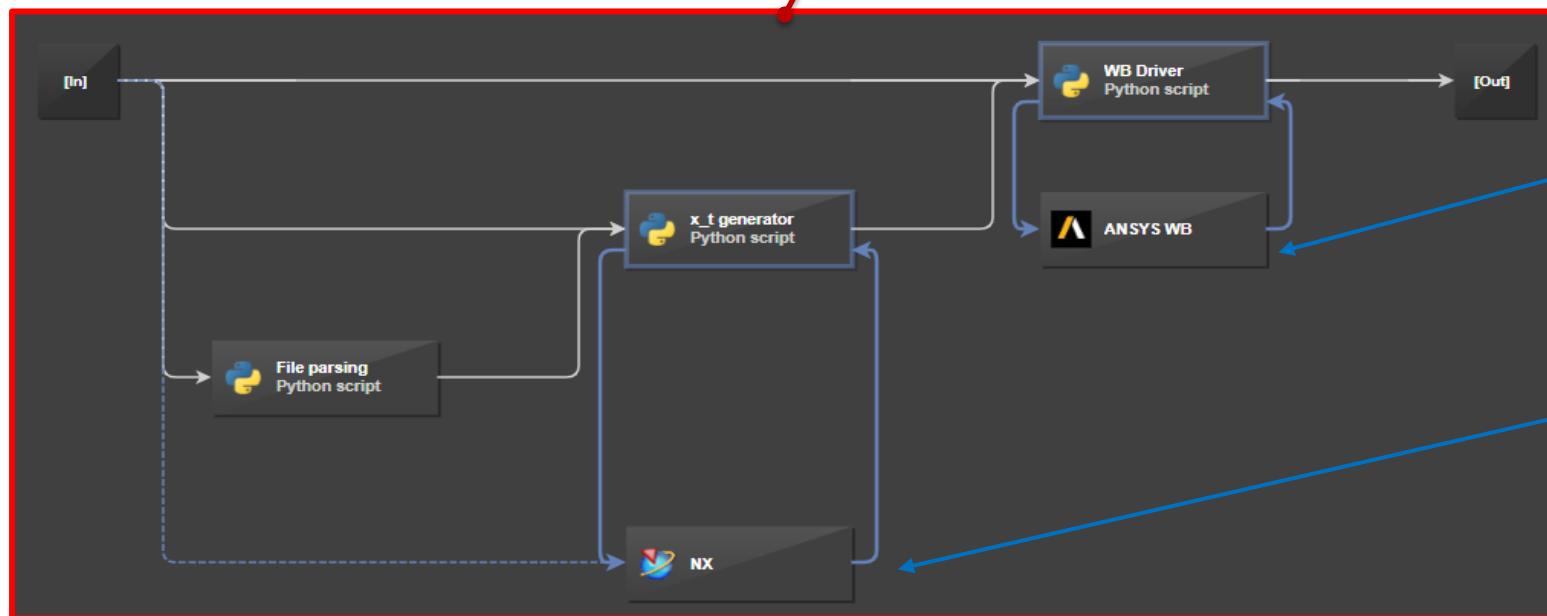
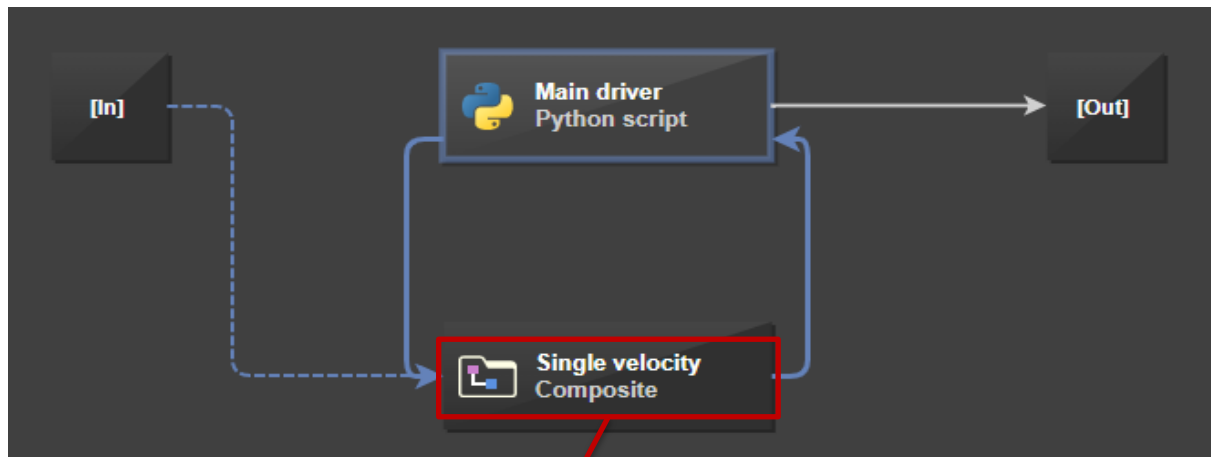
Расчет перемещений





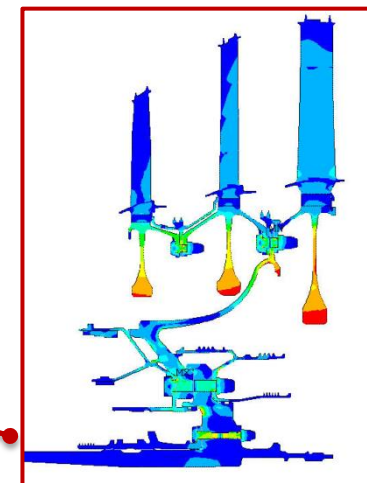
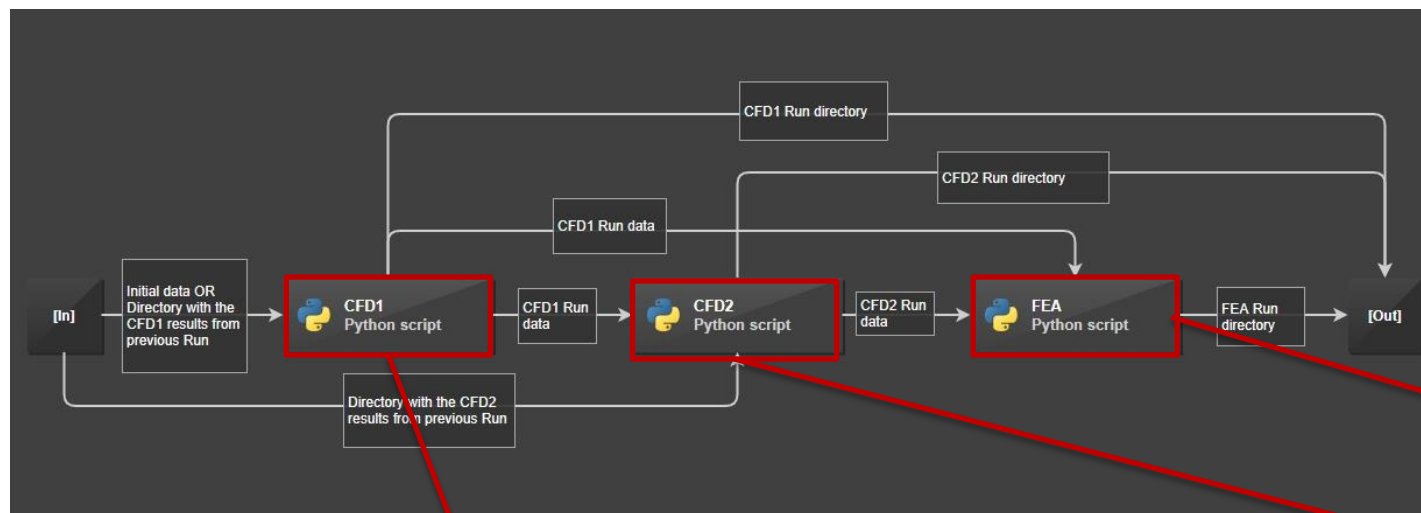
Подготовка профилей лопаток и создание расчетной сетки

Сборка, расчет и постобработка газодинамического расчета

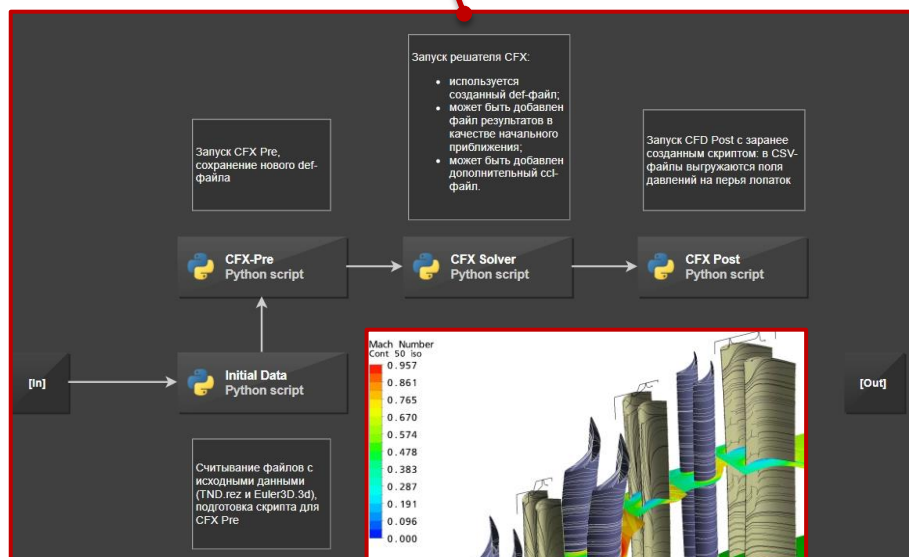


Прочностной расчет

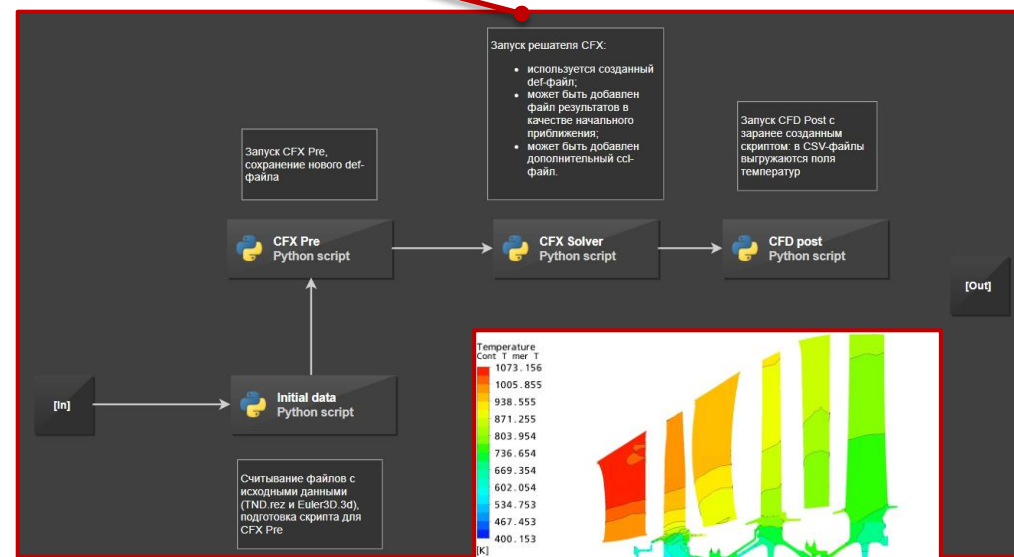
Построение 3D профилей лопаток



Расчет прочности



Газодинамический расчёт



Расчет сопряженного теплообмена

CML-Bench

pSevenEnterprise

Name	Value	Library Target
Efficiency	> 80.0 (%)	P90-72-53-0002_00
Flow	< 10000.0 [m/s]	P90-72-53-0003_00
G_ST_in	from 62.0 [m/s] to 83.0 [m/s]	P90-72-53-0001_00
M_ST_out	< 0.3 [s]	P90-72-53-0003_00
N	from 4.0 [MB/s] to 22.0 [MB/s]	P90-72-53-0004_00

Целевые значения

Разработка требований к изделию (целевых значений к расчету)

База типовых шаблонов АРЦ изделий

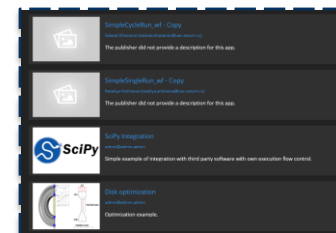
Подготовка исходных расчетных данных

Выбор шаблона АРЦ и её настройка

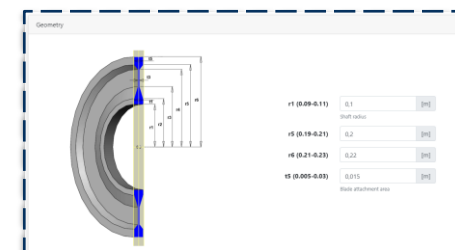
Выполнение расчета на кластерных ресурсах

Автоматизированная обработка результатов расчета

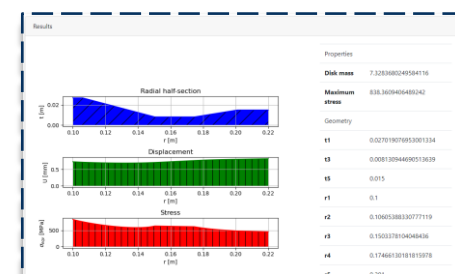
Интеграция результатов расчета в ЦП, получение матрицы соответствия



Выбор или создание АРЦ



Задание исходных данных



Результаты расчета

462-ЦД91-70-0001_00 аэродинамический расчет
462-ЦД91-47-0001_00-LCS-001_Расчет характеристики
462-ЦД91-70-0001_00-SIM-001
462-ЦД91-70-0001_00-SIM-002
462-ЦД91-70-0001_00-SUB-001
462-ЦД91-70-0001_00-SUB-002
462-ЦД91-01-003_00 геометрия
462-ЦД91-01-003_01 геометрия
С3 на расчет

Расчетные данные

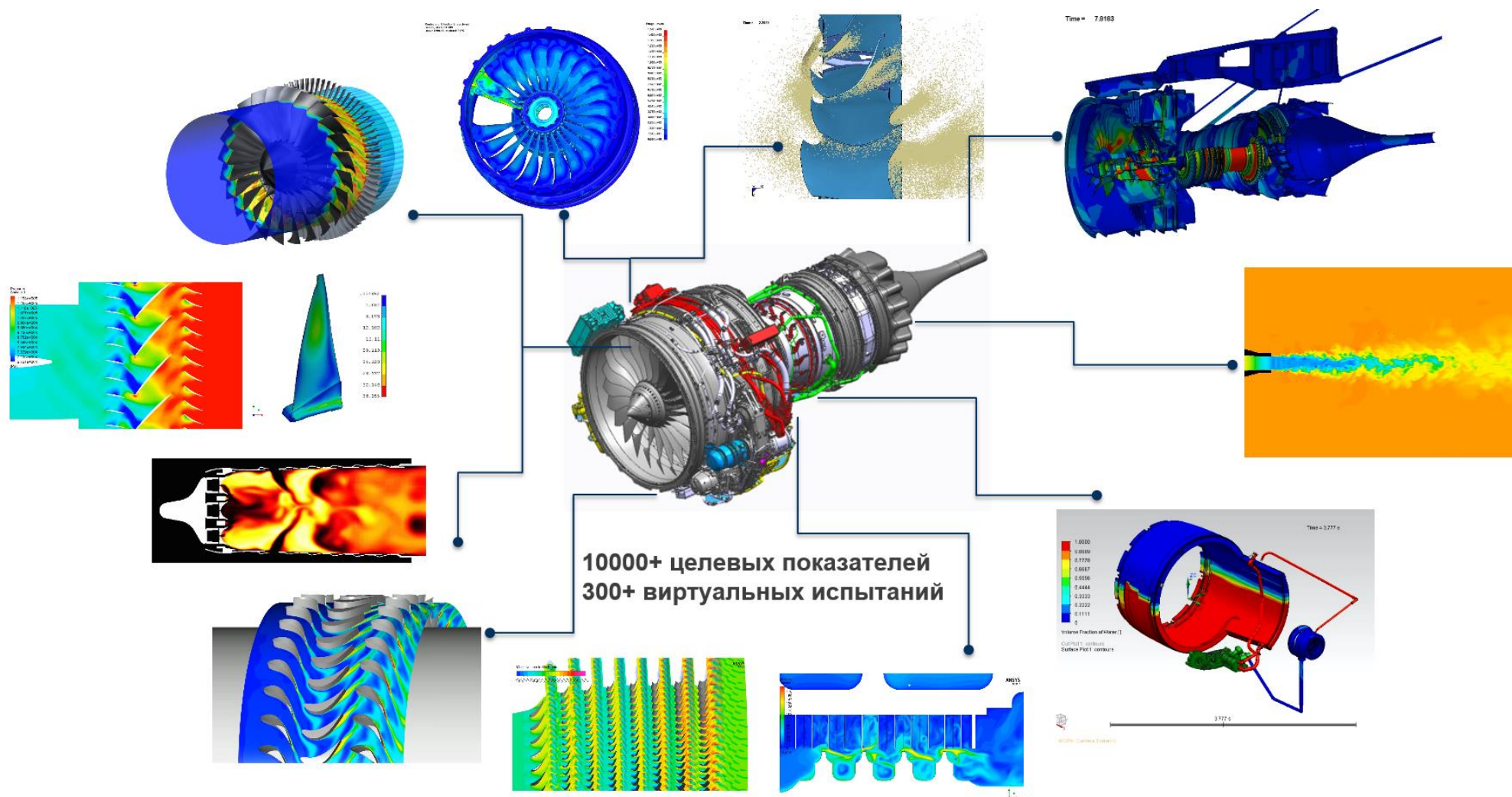
JOBID	PARTITION	USER	NAME	ST
5780697	compute	nemtyreva_ia	TVD_TND_zazorTND_0_2mm_issp.284	PD
5780696	compute	nemtyreva_ia	TVD_TND_zazorTND_0_2mm_issp.284	R
5780693	compute	klyushina_en	im123_6.db	R
5780691	compute	klyushina_en	im123_6.db	R
5780689	compute	harchenko_rv	4_red_line_1800K_T2P_KD_cut_ga	R
5780683	compute	harchenko_rv	bez_shaybu_shnu_cut.22970	R
5780672	compute	lukyanenko_rv	P08_HPC_FET112 Local TimeScale	R
5780669	compute	lukyanenko_rv	P08_HPC_FET112 7st Bleeds Phis	R
5780636	compute	davydov_aa	dr_nadr_COLD_i_112.res.66919	R
5780633	compute	davydov_aa	pdr_13_09_6_2_70G.res.25957	R

Очередь расчетов

Simulation	Location	Value	Target	Delta	Unit
462-ЦД91-43-0001_00-LCS-001_1.00	Location	Value	Target	Delta	Unit
462-ЦД91-43-0001_00-SIM-001_Pout0.78bar	4/4	0.330	80.00	Δ	25.57
462-ЦД91-43-0001_00-SIM-002_Pout1.25bar	4/4	0.210	79.00	Δ	21.60
462-ЦД91-43-0001_00-SIM-003_Pout1.25bar	4/4	0.170	77.80	Δ	18.62
462-ЦД91-43-0001_00-SIM-004_Pout1.79bar	4/4	0.190	73.60	Δ	12.09
462-ЦД91-43-0001_00-SIM-005_Pout2.61bar	4/4	0.250	63.80	Δ	4.170

Матрица соответствия

- Работа систем в общем файловом хранилище;
- ЦП управляет бизнес-процессами и ресурсами;
- В p7E в качестве исходных выбираются файлы из CML-Bench;
- Использование АРЦ сокращает время подготовки и передачи данных между дисциплинами, минимизирует ошибки и коммуникационные потери, обеспечивает повторяемость результатов.

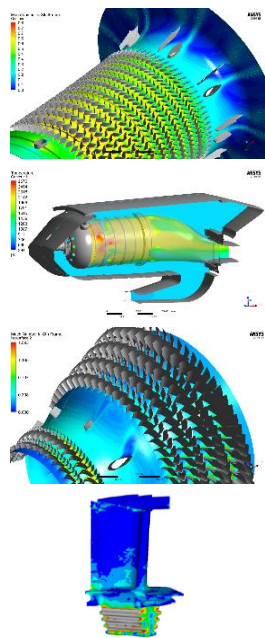


ВИРТУАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОРСКИХ ГТД НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

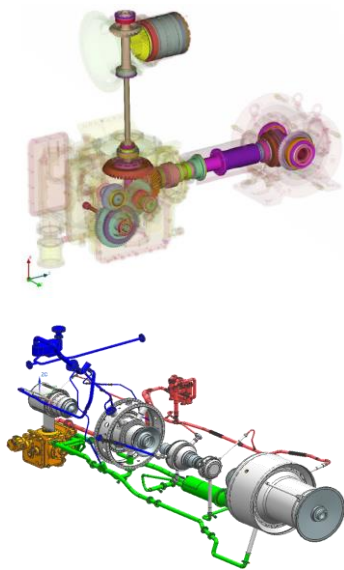
ГЛАВНЫЙ ГАЗОТУРБИННЫЙ АГРЕГАТ М55Р



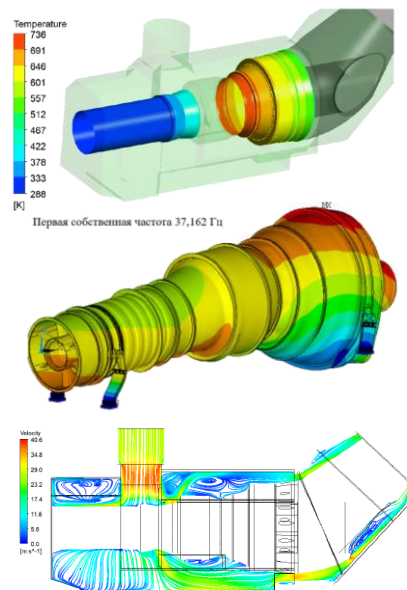
Модели узлов



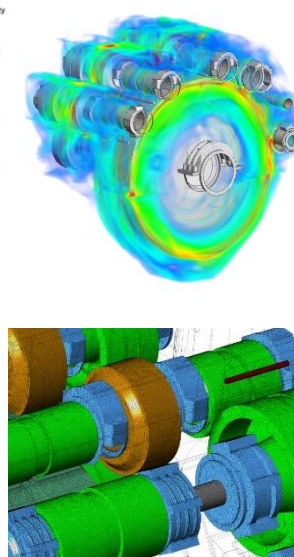
Модели систем



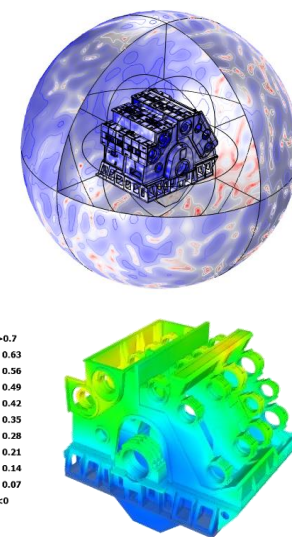
Интегральные модели



Модели узлов и систем



Интегральные модели



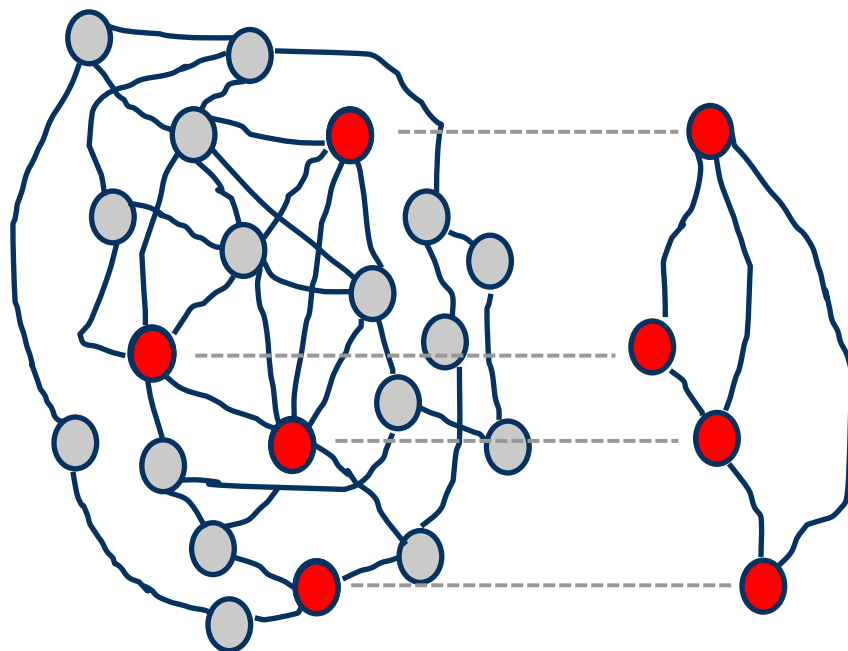


Интерфейс системы прогнозирования технического состояния

Интеграция с датчиками на двигателе



Апробация системы при испытаниях Р90-02 сб.5

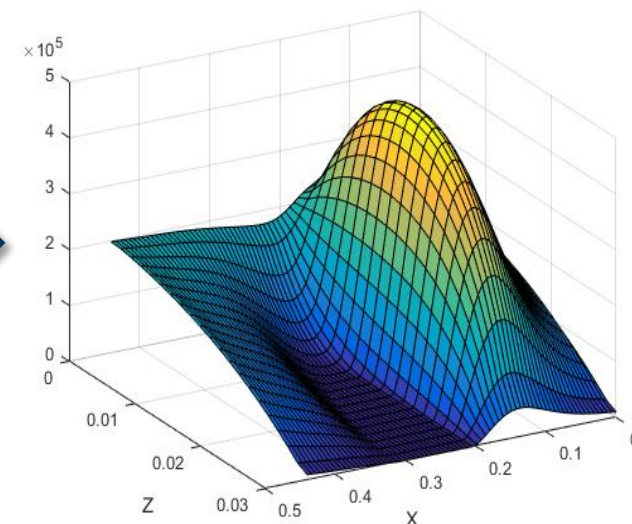


ЦД стадии ОКР

Модели в составе ЦД эксплуатации



Адаптация и обучение на экземпляре ГТД



«Замещающая» быстрая модель

На основе методов машинного обучения и ИИ



2 раза

Уменьшение сроков
сертификации, частичный
переход на электронную
сертификацию



10 раз

Ускорение анализа влияния
отклонений и модификаций
конструкции на характеристики ГТД



0,1 секунды

Создание моделей,
позволяющих предсказывать
состояние изделия на
несколько недель вперед



95%

Увеличение доли решений,
принимаемых на основе расчётов,
а не экспертного заключения

- ❑ **Сформирована методология создания и применения ЦДИ ГТД этапа ОКР;**
- ❑ Зафиксированы и формализованы в рамках нормативной документации основные процедуры ее использования и применения;
- ❑ Методология активно применяется на практике в рамках нескольких проектов;
- ❑ В рамках НИОКР ведутся работы по расширению методологии и доработке отдельных ее элементов.
- ❑ Прорабатываются вопросы создания цифровых двойников этапа эксплуатации
- ❑ Текущий уровень развития технологий цифрового двойника и его функциональные качества дают возможность интеграции с объектом применения

- ☐ Необходимый уровень взаимосвязи и интеграции моделей ЦД ГТД с моделями ЛА
- ☐ Оптимизация параметров ГТД в системе ЛА. **Возможна? ДА. Необходима??**
- ☐ Уровень взаимодействия между разработчиком ГТД, разработчиком объекта, эксплуатантом. На каком этапе начинается и как поддерживается. Чем регламентируется?
- ☐ Как должен измениться подход к ОКР по созданию ГТД при использовании ЦД и его возможностей?
- ☐ Каким требованиям должен удовлетворять цифровой двойник ГТД как объект для применения при сопровождении эксплуатации изделий?
- ☐ Кто «хозяин» данных эксплуатации двигателя, и как взаимодействовать с ним?



**КАКОВО МЕСТО ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В
ТЕКУЩЕЙ ПАРАДИГМЕ СОЗДАНИЯ АВИАЦИОННОЙ
ТЕХНИКИ И ДРУГИХ ОБЪЕКТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ГТД?**



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!