

Цифровой суверенитет. Индустрия 4.0

Технологии цифровых двойников

Сергей Салкуцан

Директор Центра ДПО Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг»,
Программный директор Точки кипения Политех, Генеральный директор Фонда поддержки
инноваций и молодежных инициатив Санкт-Петербурга

Передовые (новые) производственные технологии

Технологии моделирования

- математическое моделирование
- компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг
- имитационное и суперкомпьютерное моделирование

Технологии проектирования

- топологическая, топографическая оптимизация
- бионический дизайн
- генеративный дизайн

Технологии связанные с новыми материалами

- технологии разработки и производства материалов с заданными свойствами

Комплексирующие технологии

- технологии цифровых двойников процессов и изделий

Управление жизненным циклом

Традиционное производство vs. Передовое производство

- Стадии жизненного цикла
- 1 – Проектирование
 - 2 – Передача на производство
 - 3 – Производство опытного образца
 - 4 – Испытания опытного образца
 - 5 – Начало серийного производства



Соотношение понятий «математическая модель», «компьютерная модель» и «цифровая модель» в рамках ГОСТ Р «Компьютерные модели и моделирование. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ИЗДЕЛИЙ. Общие положения»

Цифровая модель

Компьютерная модель

Математическая модель

цифровая модель изделия: Система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний по ГОСТ 16504 выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям.

- Примечания**
- 1 Цифровая модель создается с использованием ПО КМ и (или) инструментальных программных и иных средств.
 - 2 Цифровая модель должна описывать структуру, функциональность и поведение разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на тех стадиях жизненного цикла, которые установлены в соответствующих технических заданиях.
 - 3 Наполнение и функциональность цифровой модели зависит от стадии жизненного цикла изделия.
 - 4 Оценка соответствия цифровой модели изделия в общем случае включает в себя процедуры верификации и валидации математических моделей по ГОСТ Р 57188, компьютерных моделей и ПО КМ по ГОСТ Р 57700.1, ГОСТ Р 57700.2, ГОСТ Р 57700.24, ГОСТ Р 57700.25.
 - 5 Под электронными документами понимаются электронные документы по ГОСТ 2.001, ГОСТ 3.1001, ГОСТ 3.1102, ГОСТ 19.101, ГОСТ 34.601, ГОСТ Р 58301.

компьютерная модель (электронная модель): Модель, выполненная в компьютерной (вычислительной) среде и представляющая собой совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными.

Примечание — В основе компьютерной модели лежит математическая модель, реализованная в виде программного кода, и данные, определяющие конкретный объект моделирования.

[ГОСТ Р 57412—2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения и ГОСТ Р 57700.22—2020 Компьютерные модели и моделирование. Классификация]

математическая модель: Модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений.

[ГОСТ Р 57188—2016 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения]

Разработка ЦД может осуществляться как для разрабатываемых изделий (еще не созданных), так и для изделий, ранее спроектированных и (или) уже эксплуатируемых

цифровой двойник: Система, состоящая из цифровой модели изделия, реального изделия и двусторонних информационно-функциональных связей между ними и участниками процессов жизненного цикла.

Примечания

- 1 ЦД проходит стадии в соответствии со стадиями жизненного цикла изделия.
- 2 Участники процессов жизненного цикла – по ГОСТ 56136–2014.

ЦД I стадии

формируется на стадиях создания НТЗ, формирования концепции изделия (аванпроект) и разработки изделия и представляет собой систему цифровых моделей изделия и при необходимости технологических процессов, **взаимоувязанных и сбалансированных на единой платформе в многоуровневой матрице требований, целевых показателей и ресурсных ограничений**

Примечание — В сбалансированной многоуровневой матрице требований, целевых показателей и ресурсных ограничений первой стадии отсутствуют конфликты при выполнении требований и целевых показателей, достигаются целевые показатели и (или) удовлетворяются ресурсные ограничения или конфликты разрешены таким образом, что недостижение отдельных целевых показателей или неудовлетворение отдельным ресурсным ограничениям не оказывает негативного влияния на выполнение требований

ЦД II стадии

формируется на стадии производства изделия и представляет собой систему, состоящую из ЦД-1 и информации в виде результатов виртуальных испытаний и компьютерного моделирования технологических процессов изготовления изделия

Примечания

- 1 В сбалансированной многоуровневой матрице требований, целевых показателей и ресурсных ограничений второй стадии отсутствуют конфликты при выполнении требований, достигаются целевые показатели и (или) удовлетворяются ресурсные ограничения или конфликты разрешены таким образом, что недостижение отдельных целевых показателей или неудовлетворение отдельным ресурсным ограничениям не оказывает негативного влияния на выполнение требований.
- 2 Информация о технологических процессах изготовления изделия, представляющей собой результаты виртуальных испытаний и компьютерного моделирования технологических процессов изготовления изделия, уточняет поведение изделия на стадиях жизненного цикла после разработки посредством ее учета в матрице требований, целевых показателей и ресурсных ограничений на единой платформе.

ЦД III стадии

формируется на стадии эксплуатации и представляет собой систему, состоящую из цифрового двойника первой и, в случае необходимости, второй стадии и информации, которая поступает с эксплуатируемого изделия.

Примечание – Информация, поступающая с эксплуатируемого изделия, уточняет поведение изделия на различных стадиях жизненного цикла посредством ее учета в матрице требований, целевых показателей и ресурсных ограничений на единой платформе.

1. Разработка, включая создание НТЗ и формирование концепции изделия (ЦД-1)

2. Производство (ЦД-2)

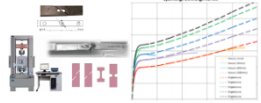
3. Эксплуатация (ЦД-3)

t

Материалы

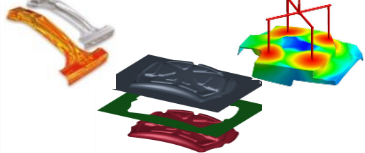
Более 200 материалов, содержащих:

- 10 параметров E, v, p, α, ...
- Более 10 нелинейных характеристик
- 7 критериев разрушения с моделями повреждаемости

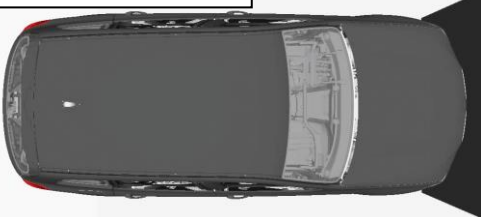


Технология изготовления

Интеллектуальное литье, штамповка, точечная сварка; учёт предварительного напряжённо-деформируемого состояния



Цифровой двойник



Цифровой двойник и реальный объект (контроль по 500 датчикам)



Реальный объект, натурные испытания



Соединения

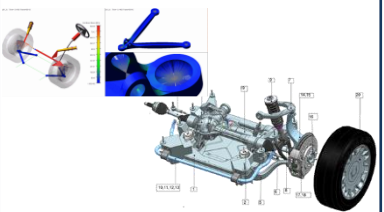
Более 7000 сварных соединений и 6 метров сварных швов, клеевые соединения:

- Стекольный
- Структурный
- Полуструктурный
- Расширяющийся



Механизмы

Более 100 различных механизмов и кинематических связей механизмов



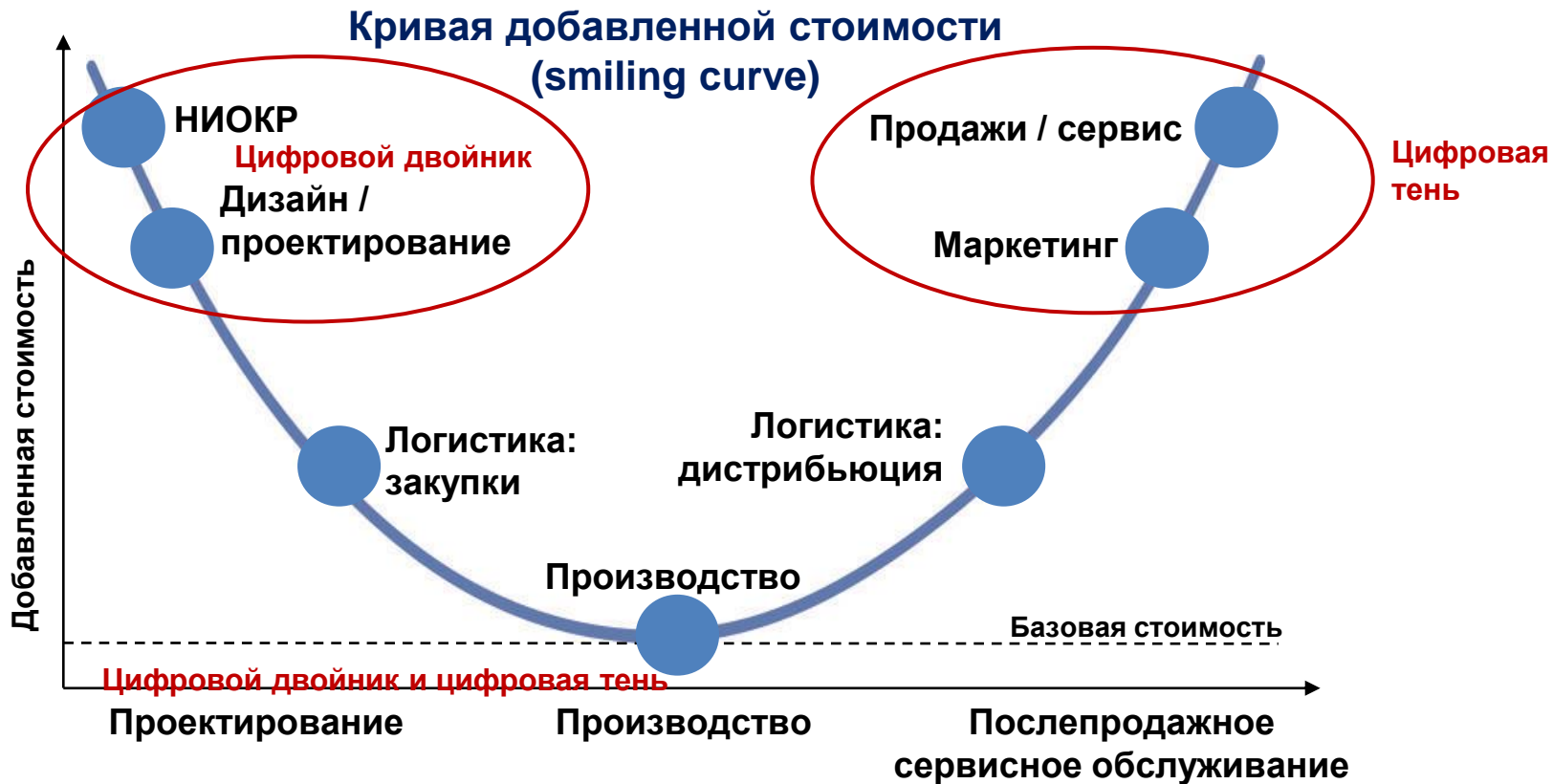
Целевые показатели и ограничения

- Многоуровневая матрица целевых показателей и ресурсных ограничений;
- 100 000+ показателей;
- 200+ мировых стандартов и требований к автомобилю, системам и компонентам



Smart Digital Twin - [(Simulation & Optimization)-Based Smart Big Data]-Driven
Advanced (Design & Manufacturing)

Цифровые двойники и цифровые тени



Технологии цифровых двойников

Цифровой двойник изделия – турбогенератор:

- сокращение сроков проектирования и производства
- сокращение количества внеплановых ситуаций
- обеспечение данными на всех этапах жизненного цикла объекта
- возможность применения предиктивной аналитики

Цифровой двойник процесса – генерация электроэнергии:

- сокращение количества ошибок
- усиление контроля за качеством
- сокращение издержек
- генерация и сбор больших данных

Цифровой двойник предприятия – ТЭС:

- интеграция всех аспектов производства
- описание всех процессов предприятия в динамике
- снижение рисков
- повышение конкурентоспособности и прибыльности бизнеса

Технология: цифровые двойники

Польза технологии цифровых двойников для сектора энергетики (эффекты, прогнозы, результаты)

- Позволяет предвидеть возможные проблемы и проводить безрисковое тестирование новых функций перед их запуском.
- Позволяет оптимизировать энергетическую составляющую в стоимости продукта (для компаний не из сектора энергетики);
- Радикально сокращает затраты на натурные эксперименты.

Кейс атомной отрасли Франции - цифровые двойники всех реакторов

С 2020 EDF совместно с Framatome, Французский комиссией по альтернативным источникам энергии и атомной энергетике и шестью организациями из науки и французского ядерного сектора в течение следующих 4 лет должны будут разработать цифровые двойники каждого блока парка ядерных энергетических реакторов, которые будут служить тренажером для нового поколения операторов и средой моделирования для инженерных исследований

Кейс. Стратегическое направление по цифровым двойникам компании Iberdrola

Iberdrola использовала технологию цифровых двойников для:

- Увеличения грузоподъемности крана для перевалки топлива на атомной станции Cofrentes. Фактический кран был реализован с использованием цифровых двойников, а модели машинного обучения на основе цифровых теней использовались для прогнозирования потенциальных проблем.
- Оптимизации парогазовых установок с использованием цифрового двойника газовой турбины с целью настройки работы рассматриваемой турбины для адаптации к различным климатическим условиям и потребностям в энергии.

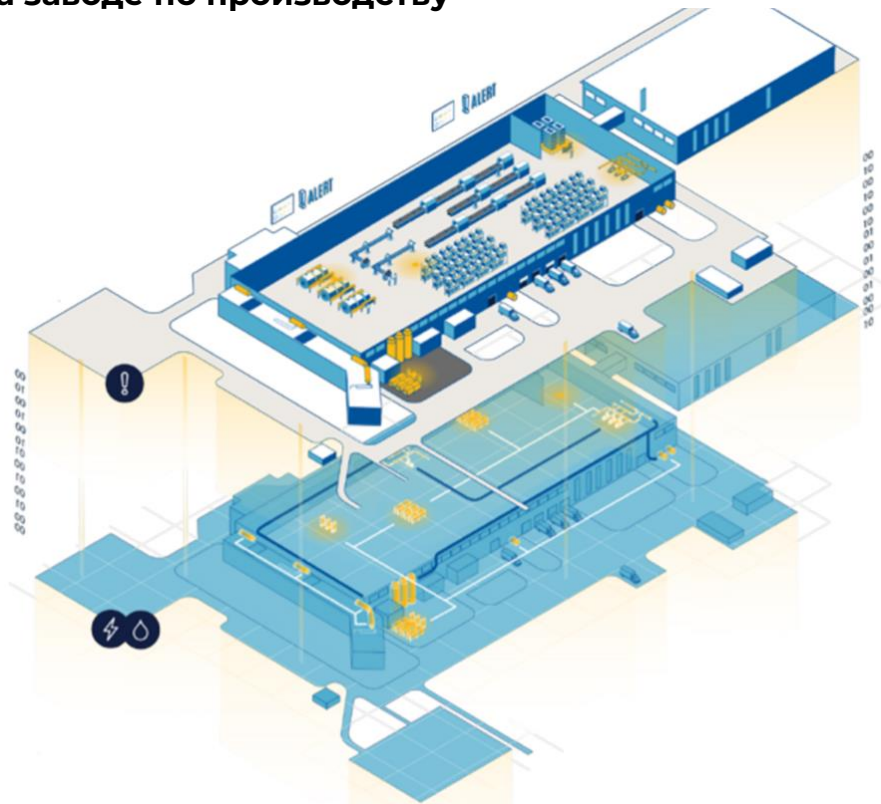
Цифровые тени (образы)

Кейс Arçelik - умный энергетический менеджмент на заводе по производству бытовой техники

- Arçelik использует данные более чем 400 датчиков и устройств измерения энергии, таких как анализаторы энергии, счетчики природного газа, расходомеры сжатого воздуха и калориметры, чтобы снизить потребление энергии.
- Цифровой двойник завода самостоятельно регулирует освещение и оптимизирует системы охлаждения и отопления на основе алгоритма, использующего ввод данных в режиме реального времени.
- Потребление энергии и объемы производства можно отслеживать в режиме реального времени, что позволяет проводить сравнение, анализировать эффективность и прогнозировать энергопотребление.
- Это решение было опробовано на новом заводе и в настоящее время внедряется по всему миру.

Принципы построения системы:

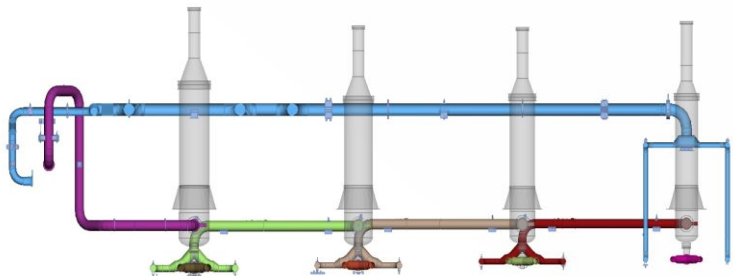
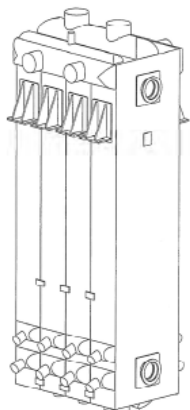
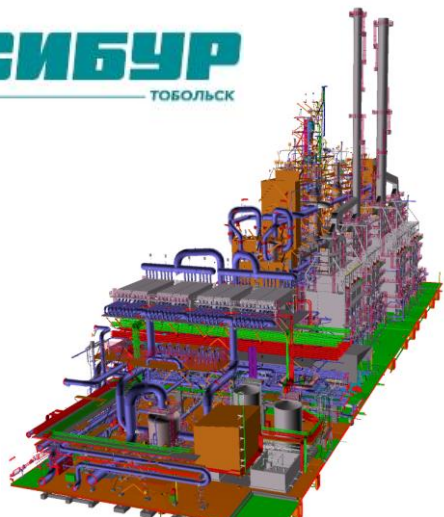
- Связность.
- Обработка и визуализация данных для принятия решений.
- Экосистемное партнёрство.
- Стратегия и планирование.



Снижение стоимости энергии в затратах на продукт по сравнению с обычными заводами составило **20%**.

Разработка цифровых моделей различных единиц производственного оборудования

СИБУР
ТОБОЛЬСК



Отрасль: Нефтехимия

Заказчик: ООО «СИБУР-Тобольск»

Срок реализации проекта: 2019 – 2020 гг.

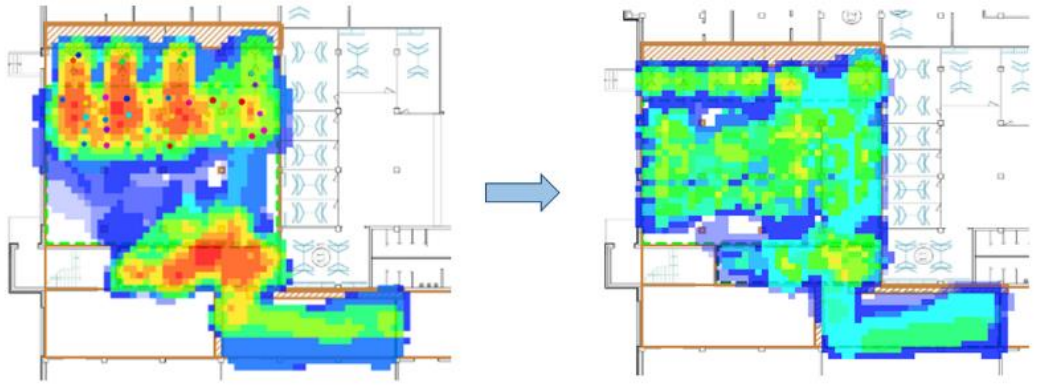
Проблематика проекта:

Выявление воздействий и нагрузок в трубопроводной обвязке реакторных блоков ДГП, разработка цифровых моделей поведения частиц катализатора, анализ влияния изменений входных данных на число циклов эксплуатации до появления нештатной ситуации

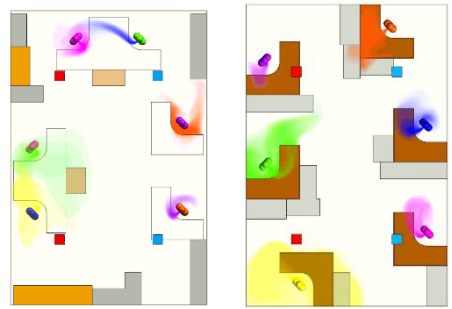
Результат:

- ✓ Цифровая модель трубопроводной обвязки реакторных блоков ДГП и теплообменников холодного блока;
- ✓ Газодинамическая модель течения газов и катализатора;
- ✓ Математическая модель коксообразования на стенках реактора;
- ✓ Определение критических напряжений, разработка и согласование технических решений;
- ✓ Предиктивная аналитика.

Технологии моделирования



Моделирование плотности потока людей в столовой до и после выполнения моделирования в системе AnyLogic и оптимизации процесса функционирования столовой



Наиболее интересными были работы, которые позволяли обезопасить людей в помещении и при этом не требовали значительных временных или финансовых затрат.

В ряде случаев оказывалось, что простая перестановка мебели уже может значительно снизить риск передачи инфекции от человека к человеку.

<https://nticenter.spbstu.ru/news/7383>

<https://nticenter.spbstu.ru/news/7420>

Салкуцан Сергей

Директор Центра ДПО Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг»

Программный директор Точки кипения Политех

Генеральный директор Фонда поддержки инноваций и молодежных инициатив Санкт-Петербурга

pish.spbstu.ru

salkutsan@spbstu.ru