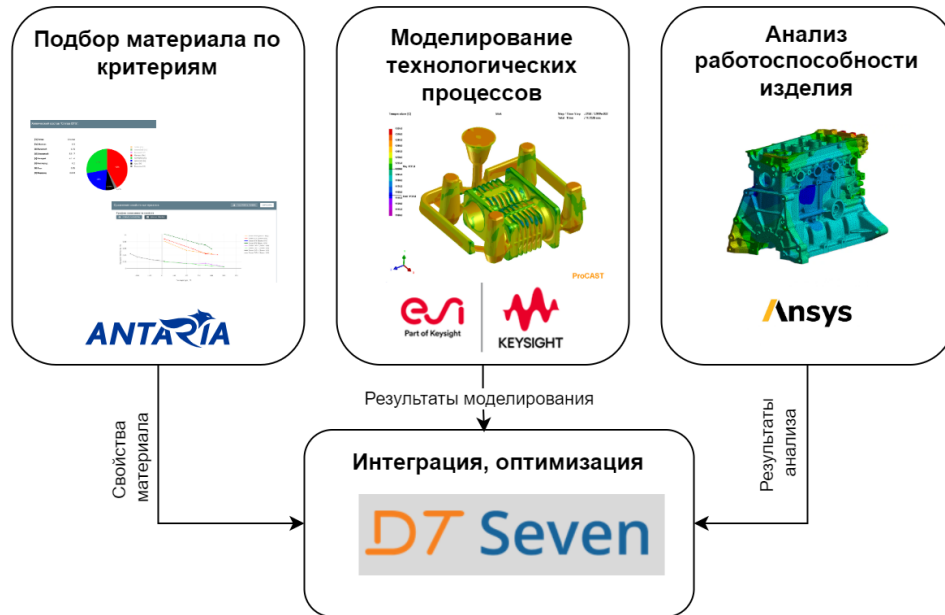


# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПЛАТФОРМЫ DT SEVEN



Андрей Подшивалов  
Генеральный директор  
Нова-Инжиниринг



# О компании

Российский ИТ интегратор и разработчик программного обеспечения для промышленных предприятий. Более 10 лет опыта и успешной реализации проектов в области цифровизации промышленности сделали нашу команду экспертами в отрасли CAE решений.

Образовательная лицензия и собственный инженерный центр реализующий проекты импортозамещения под ключ позволяют в короткие сроки реализовать даже амбициозные проекты.

Свои проекты нам доверяют ведущие высокотехнологичные компании России и СНГ.



Основной офис  
г. Екатеринбург,  
ул. Репина 95



Инженерный центр  
г. Екатеринбург,  
ул. Конструкторов 5



Учебный центр  
г. Екатеринбург,  
ул. Софьи Ковалевской 66



## Наши зеркальные центры

- г. Красноярск
- г. Челябинск
- г. Грозный

## Нам доверяют



# Виртуальный прототип: ВОЗМОЖНОСТИ

## Полная симуляция работы будущего продукта:

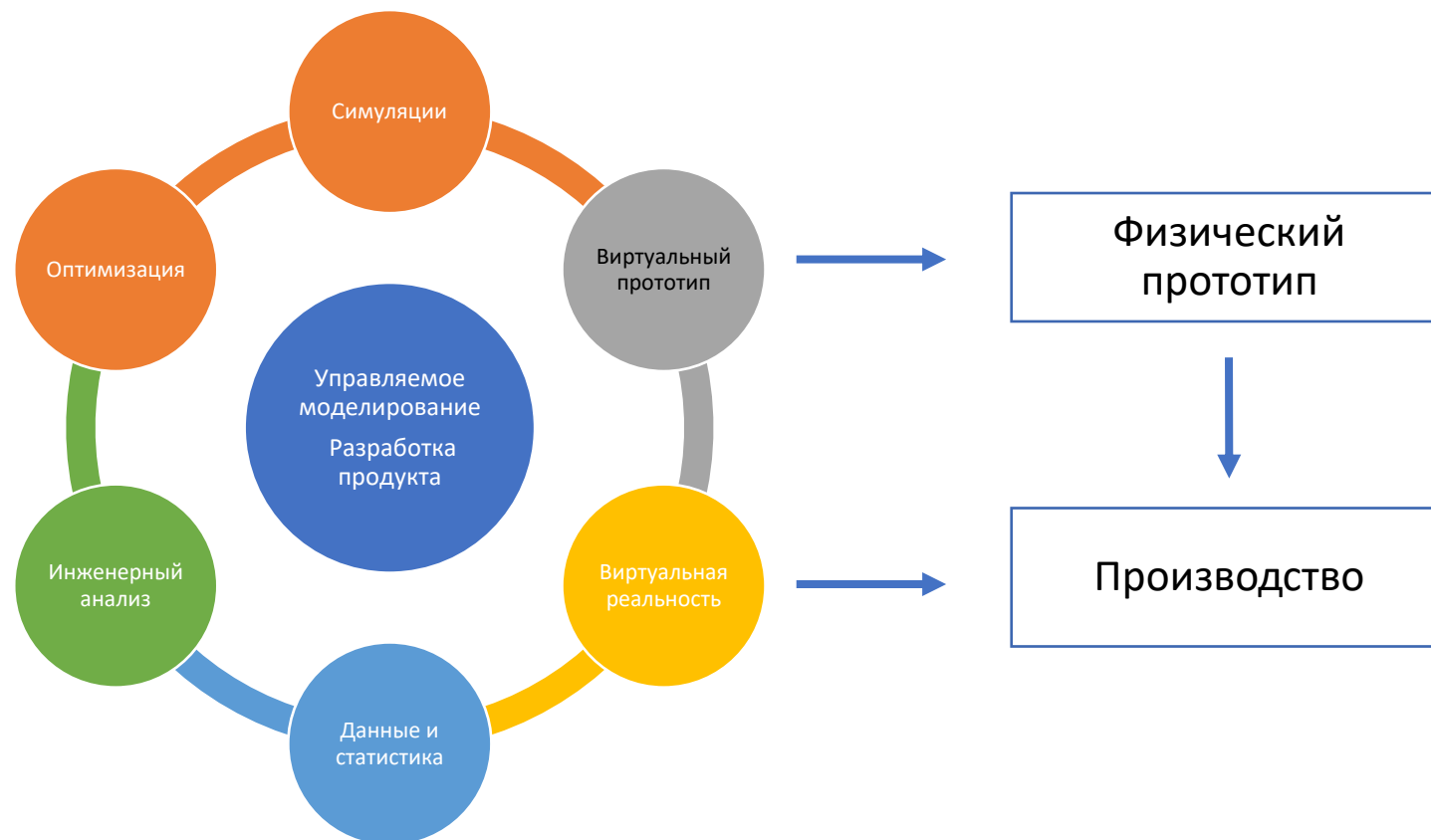
- реальное поведение в реальных условиях;
- комплексный мультифизичный анализ;
- полный цикл моделирования;

## Разработка продукта на основе моделирования:

1. минимизирует общее время разработки;
2. Снижает ошибки проектирования и брак;
3. дает детальное представление о работе устройства;



Концепция и Дизайн



Передовое российское ПО для инженерных задач



# Моделирование технологических процессов

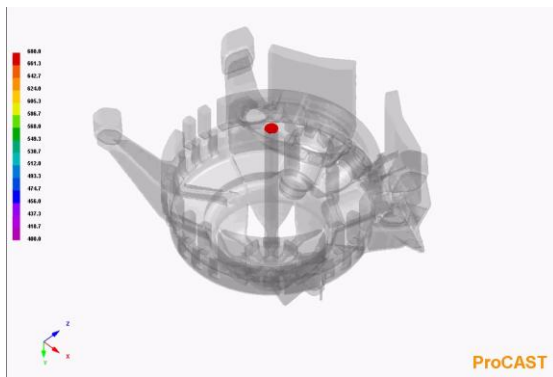


Виды технологических процессов:

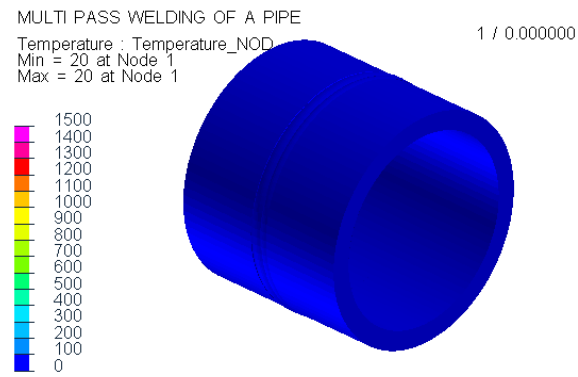
- Литье металлов
- Обработка металлов давлением
- Сварка и термообработка
- Производство композиционных материалов

Цели моделирования:

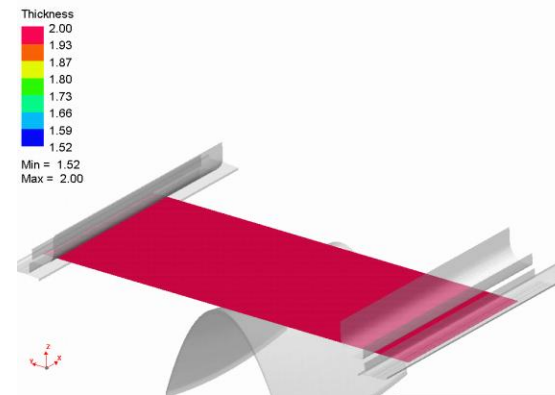
- Прогнозирование и устранение дефектов
- Повышение качества изделий
- Экономия материала
- Повышение стойкости оснастки
- Снижение затрат производства на проектирование и доработку технологии



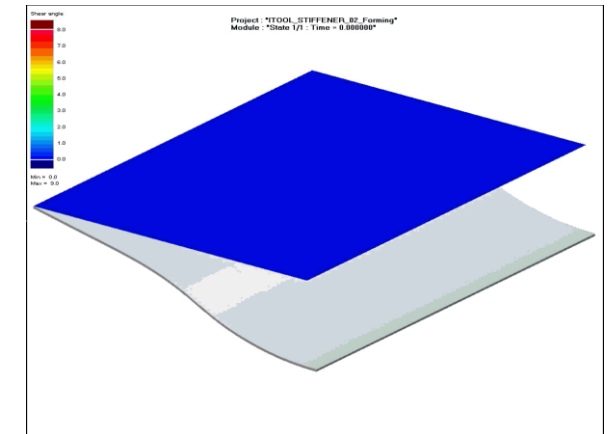
Литье в песчаные формы



Дуговая сварка



Обтяжка листа



Предварительная формовка  
композиционной панели

# ПО для виртуального производства:



## Литье



## ОМД



## Сварка



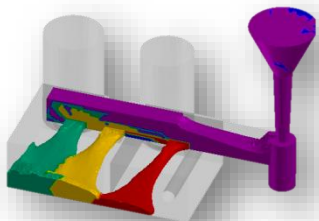
## Композиты аддитивные технологии



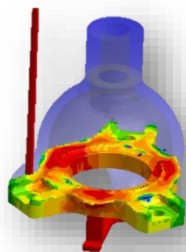


# Моделируемые виды литейных дефектов

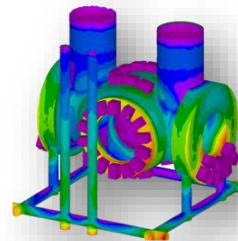
Раскрашивание потока



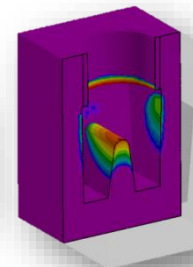
Захват воздуха, оксиды, недолив



Коробление, горячие и холодные трещины



Пригар



**НОВА**  
ИНЖИНИРИНГ

## Моделирование литейных дефектов:

### Кристаллизация:

- Макропористость
- Микропористость
- Газовая пористость
- Раковины
- Тепловые узлы

### Заполнение:

- Недолив
- Захват воздуха
- Оксиды
- Включения
- Неспай

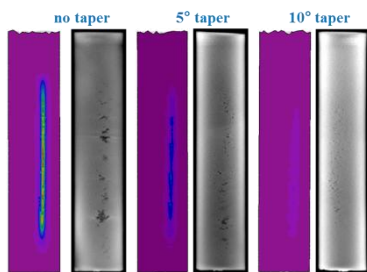
### НДС отливки:

- Горячие трещины
- Холодные трещины
- Напряжения
- Коробление
- Усталостная прочность

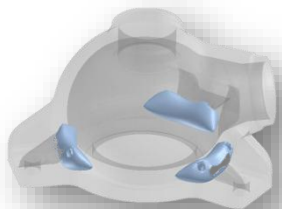
### Другие параметры:

- Дефекты структуры
- Ликвация элементов
- Механические свойства
- Размерные допуски

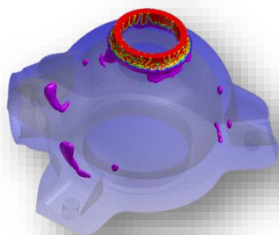
Критерий Нияма



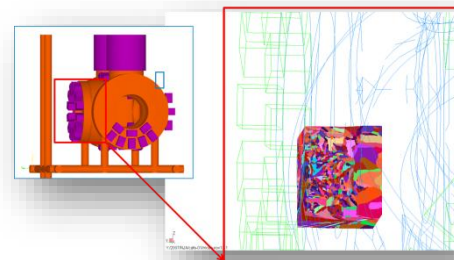
Тепловые узлы



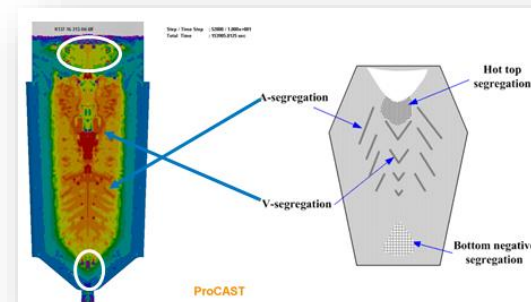
Усадочная пористость и раковины



Структура зерна



Макроликвация

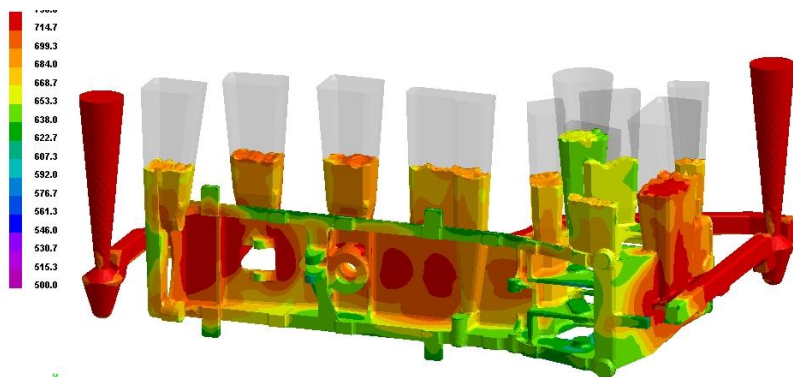


# Пример моделирования литья детали «Колонка» для НАЗ «Сокол»

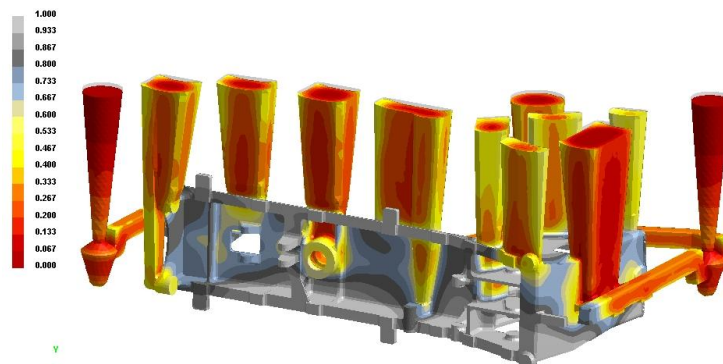
Вид литья: в песчано-глинистые формы

Марка сплава: АМ4,5Кд

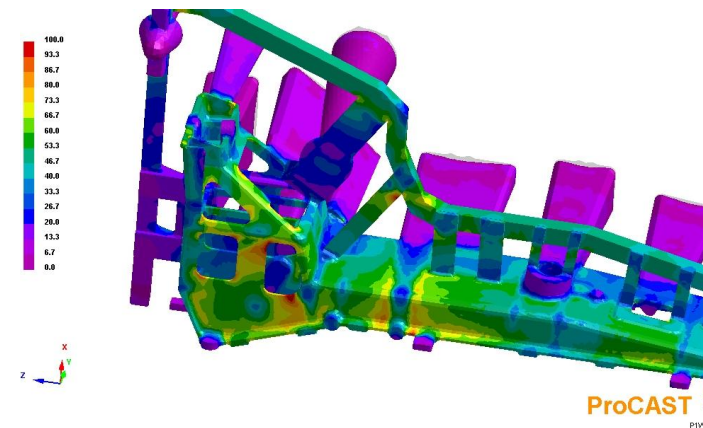
Что сделано: при моделировании выявлены места концентрации остаточных напряжений, соответствующих появлению трещин в реальном процессе. Представлены рекомендации по изменению технологии литья для устранения выявленных дефектов



Заполнение формы сплавом



Кристаллизация отливки



Концентрация остаточных напряжений в отливке



# Моделирование процессов сварки



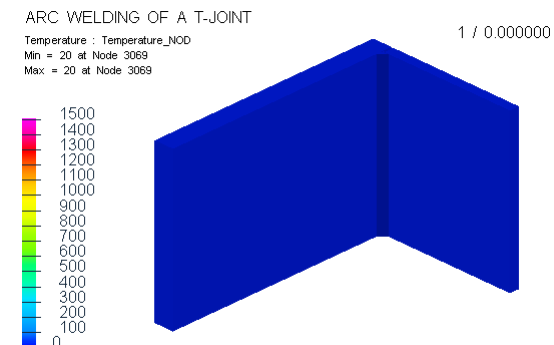
## Цели

- Проверка точности изготовления сварной конструкции
  - Оценивается по перемещениям (короблениям) в ходе/после сварки
- Проверка технологической прочности сварного шва
  - Основывается на анализе напряжений и деформаций в процессе сварки
- Проверка эксплуатационной надежности сварных швов
  - Проводится с учетом остаточных напряжений и деформаций после сварки

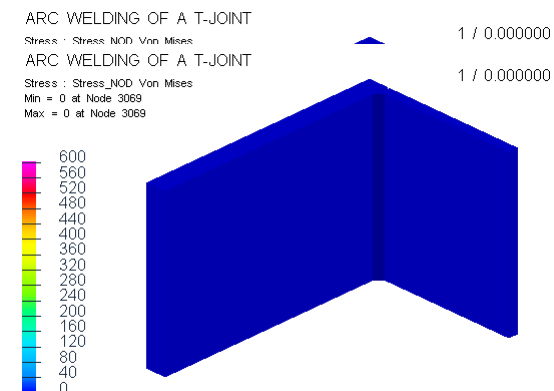
## Возможности

Моделируемые виды сварки:

- Автоматическая дуговая сварка
- Ручная дуговая сварка
- Лазерная сварка
- Многопроходная сварка
- Ротационная сварка трением
- Сварка трением с перемешиванием
- Контактная точечная сварка
- Сварка сопротивлением



Температура в зоне сварного шва



Напряжения в зоне сварного шва

# Расчет короблений боковой рамы комбайна (РОСТСЕЛЬМАШ)

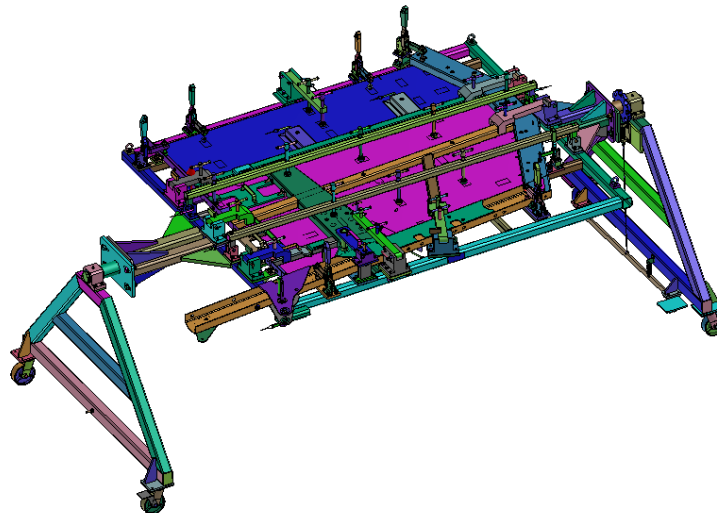


## Цели исследования (моделирования):

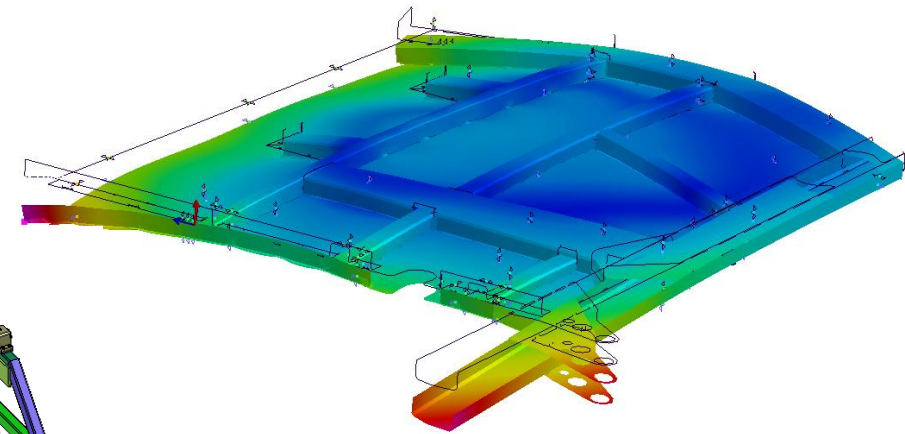
- Проверка соответствия остаточных размеров после сварки требованиям КД;

## Входные данные

- CAD модель детали
- CAD модель сварочной оснастки
- Режимы сварки (одинаковые для каждого шва);
- Материал детали: низкоуглеродистая и низколегированная сталь



CAD модель детали «боковина»  
и сварочной оснастки



Форма общих короблений изделия

**ROSTSELMASH**  
Professional Agrotechnics

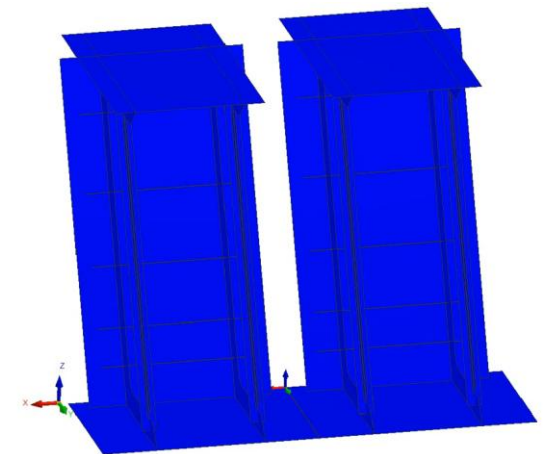
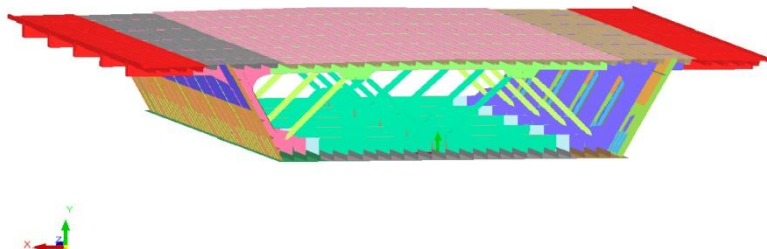
# Моделирование сварки моста через Волгу - ГИПРОСТРОЙМОСТ



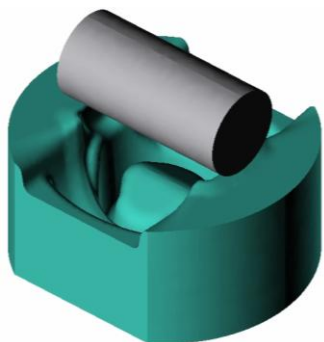
**Цель проекта:** прогноз короблений и остаточных напряжений, оптимизация последовательности сварки и условий закрепления для получения заданной геометрии моста и снижения деформаций и остаточных напряжений

**Результат проекта:** проект длился 2 года. Была разработана компьютерная модель процесса сварки сначала контрольных образцов, а потом и целых пролетов (25–30 метров длиной).

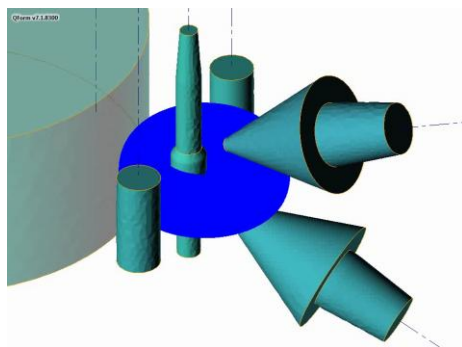
Мост построят в рамках проекта «Маршрут Европа – Западный Китай». Моделирование позволило сократить затраты на эксперименты и наглядно посмотреть, какие есть альтернативы традиционным подходам к сварке, а также как эти альтернативы можно улучшить



# Моделируемые процессы в QForm



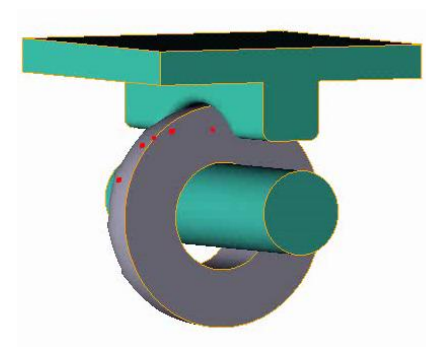
Объемная штамповка



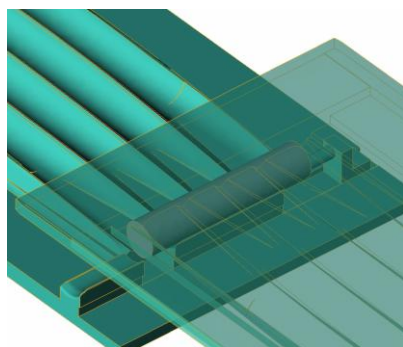
Раскатка колец



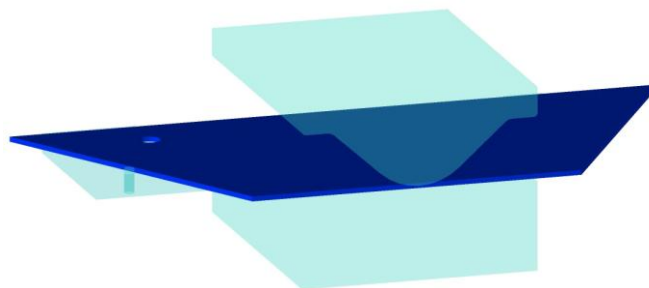
Прессование



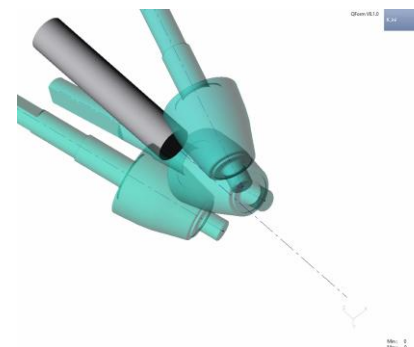
Ковка



Поперечно-клиновая прокатка



Листовая штамповка



Поперечно-винтовая прокатка



Термообработка и прогнозирование микроструктуры



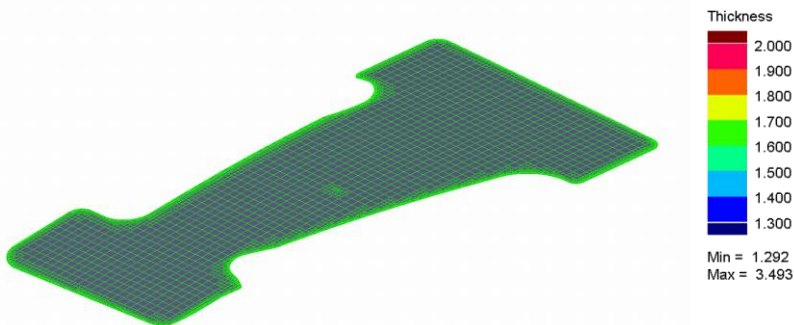
# Возможности PAM-STAMP

## Моделируемые виды процессов:

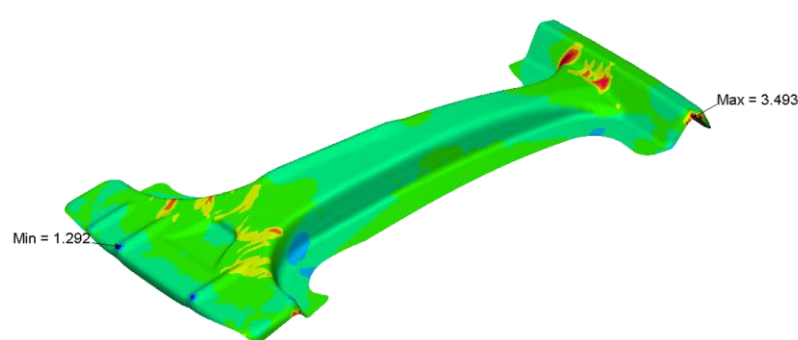
- Холодная, горячая, теплая штамповка
- Вытяжка
- Обтяжка
- Зафланцовка
- Трубогибочное моделирование
- Гидроформовка
- Последовательная штамповка
- Формовка эластичной средой

## Решаемые задачи:

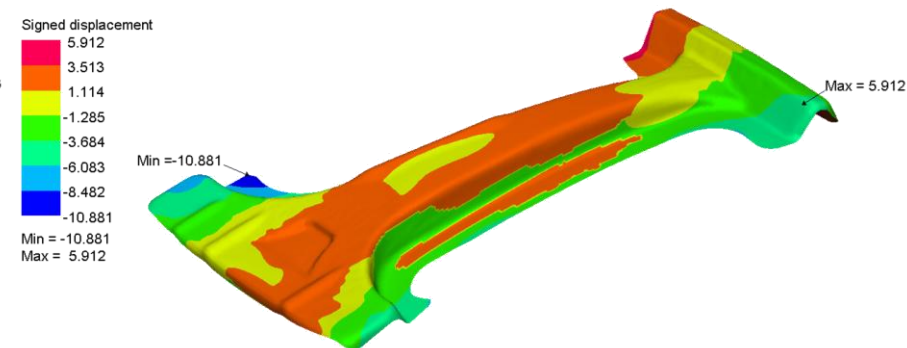
- Расчет и компенсация пружинения
- Прогнозирование трещин, разрывов и складок
- Анализ косметических дефектов



Адаптация сетки в процессе штамповки



Толщина, мм



Величина пружинения, мм

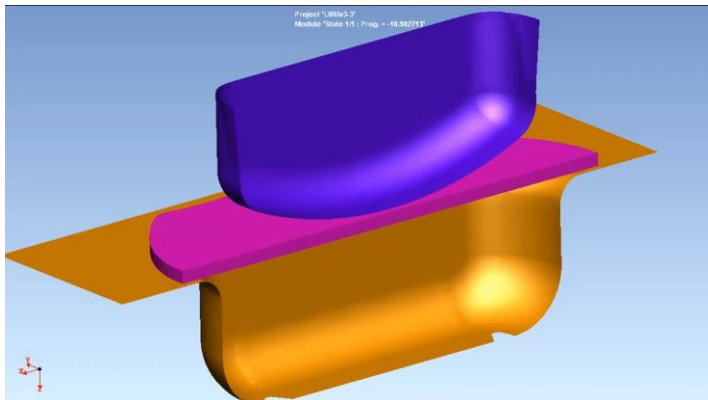


# Проектирование технологии листовой штамповки для ОАО «НПО «Сатурн»

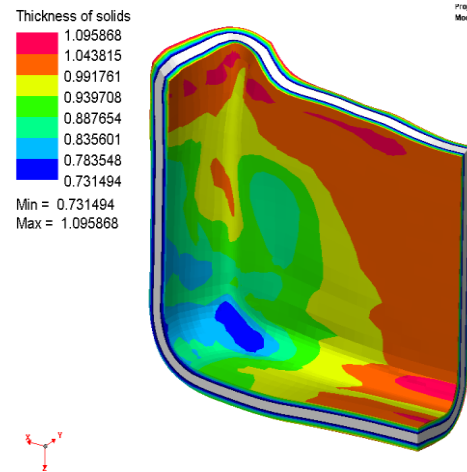


Цель: создание технологии изготовления изделия согласно технического задания, оптимизация технологии по числу переходов, учет допусков и наличия дефектов при производстве

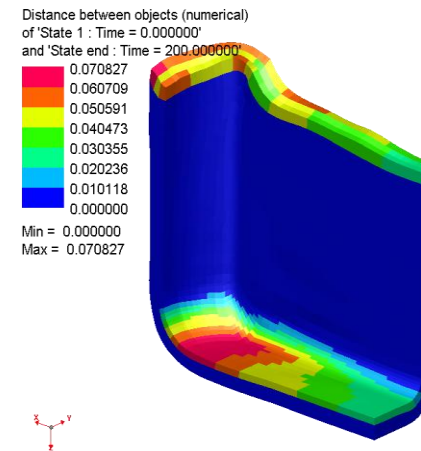
Результат: с помощью PAM-STAMP разработана требуемая технология, созданы объемные модели и чертежи инструментов с учетом компенсации пружинения получения изделия за 2 перехода, вместо 6 переходов, рассчитанных на предприятии



Инструмент (матрица и пуансон) для второго перехода



Поле толщины, мм



Величина пружинения после штамповки, мм

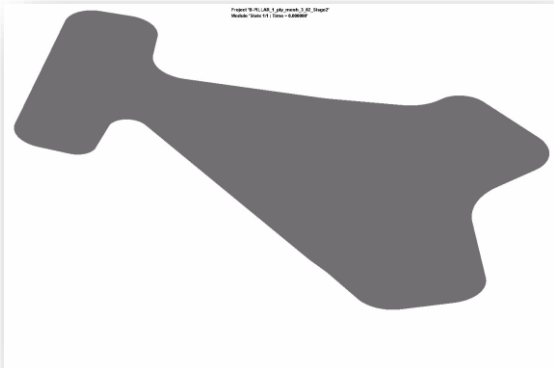


Заготовка после второго перехода штамповки

# Моделирование производства КОМПОЗИТНЫХ изделий в PAM-Composites

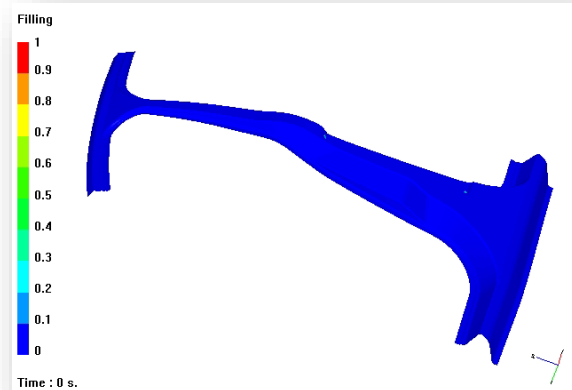
## PAM-FORM

- Моделирование процессов:
  - Предварительного формования
  - Вакуумного формование термореактивных препрегов
  - Формовка термопластов
- Оценка:
  - Складок
  - Утолщений
  - Перегибов
  - Деформаций (сдвиговых и в волокнах)
  - Напряжений (сдвиговых и в волокнах)
  - Направления волокон



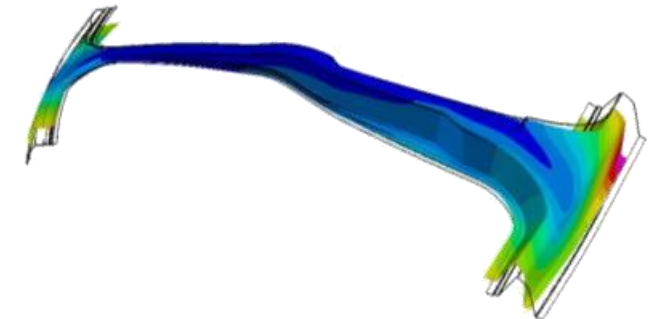
## PAM-RTM

- Моделирование процессов:
  - Процесса RTM
  - Процесса VARI (инфузии)
  - Процесса Light RTM
  - Процесса C-RTM
  - Отверждения
- Оценка:
  - Сухих зон
  - Уровня пористости
  - Времени ввода смолы
  - Времени отверждения
  - Эволюция температуры
  - Давления в форме



## PAM-DISTORTION

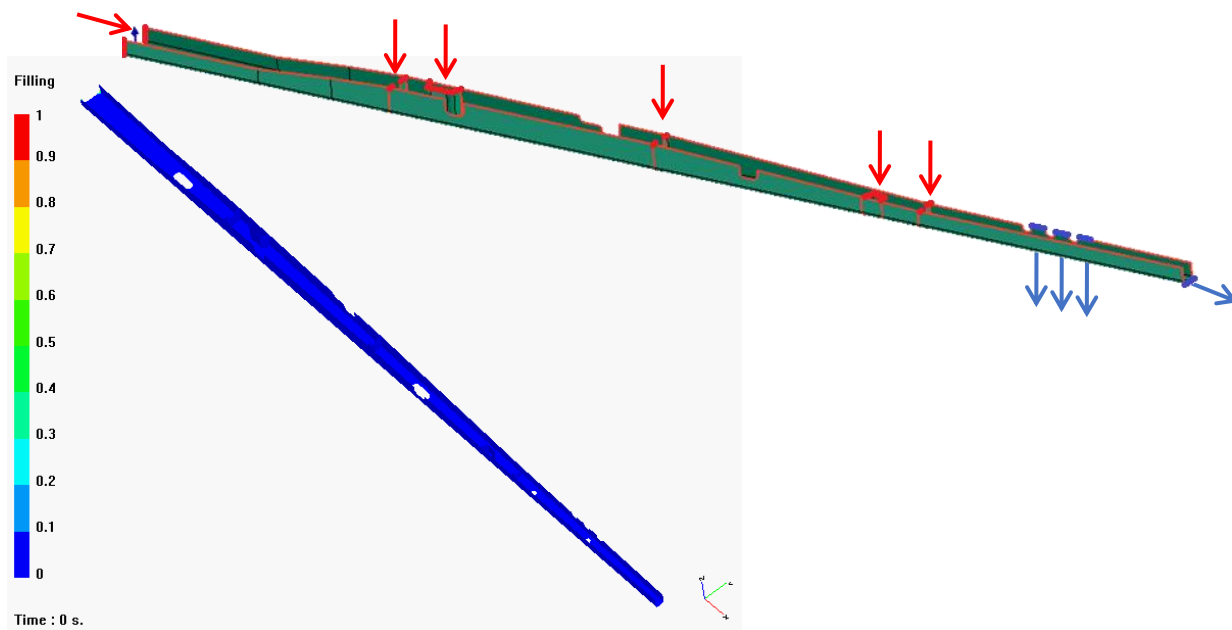
- Моделирование процессов:
  - Короблений, вызванных процессами производства (продольное коробление, скручивание)
- Оценка:
  - Внутренних напряжений во время отверждения
  - Остаточных напряжений при выемке из формы
  - Короблений во время отверждения
  - Короблений после извлечения из формы



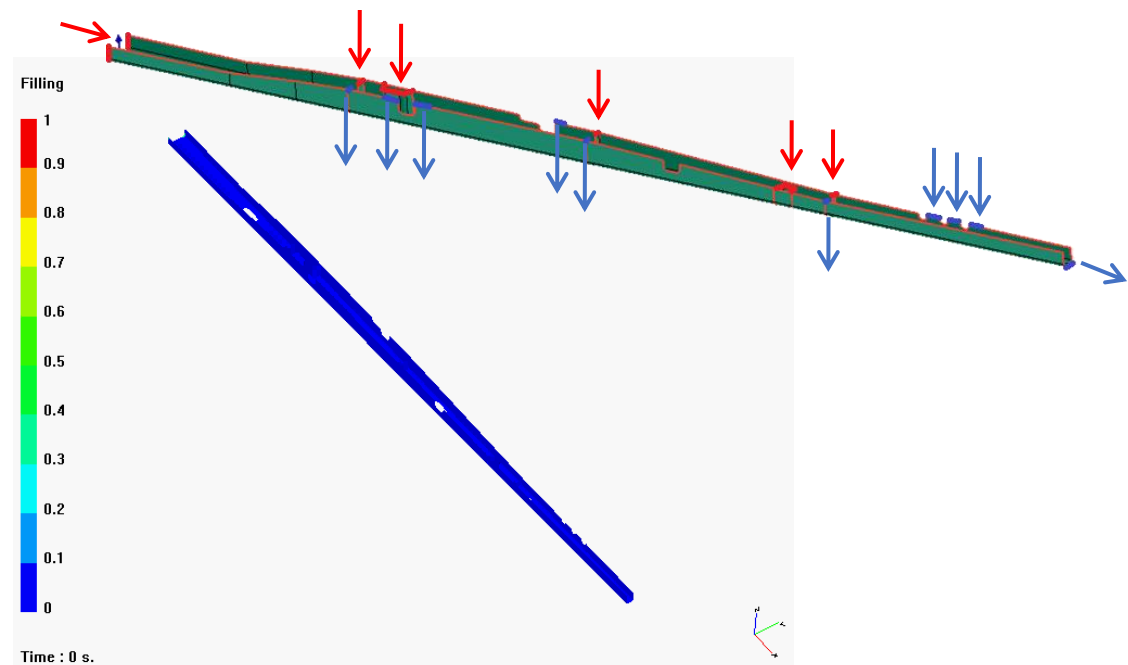
# Оптимизация схемы пропитки авиационной панели



- **Цель:** Определение оптимальной схемы производства панели
- **Задача:** Пропитка авиационной детали, длина панели – 18 м
- **Решение:** Проведено исследование нескольких схем производства изделия для предотвращения образования сухих зон
- **Результаты:** В соответствии с поставленной задачей была определена оптимальная схема производства изделия



Первоначальная схема производства



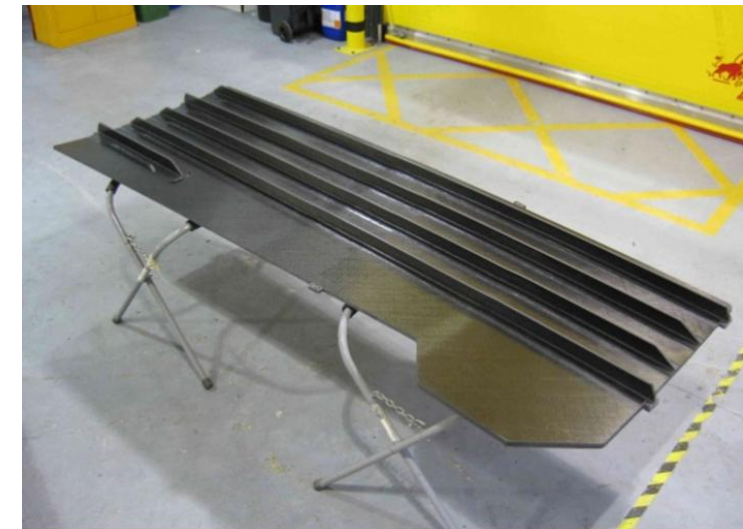
Оптимальная схема пропитки

# Моделирование коробления панели фюзеляжа

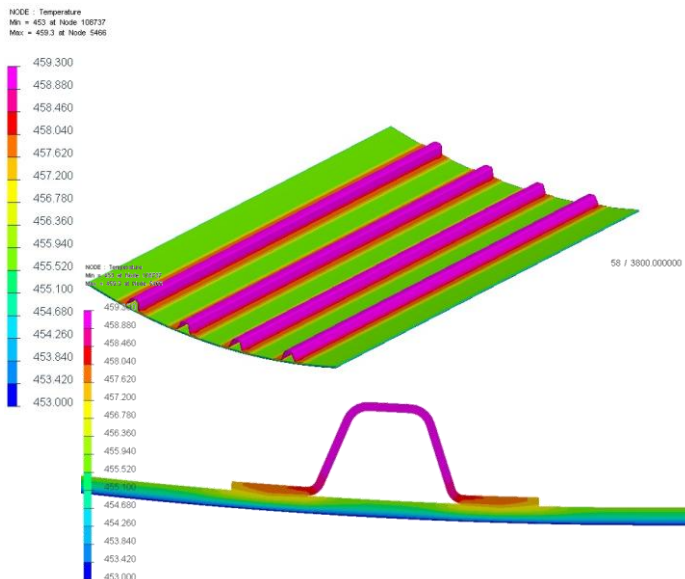
**Цель:** оценить величину коробления при отверждении и минимизировать его за счет компенсации оснастки

**Решение:** проведение серии численных экспериментов в ПО PAM-Distortion с последующим изменением рабочей поверхности оснастки

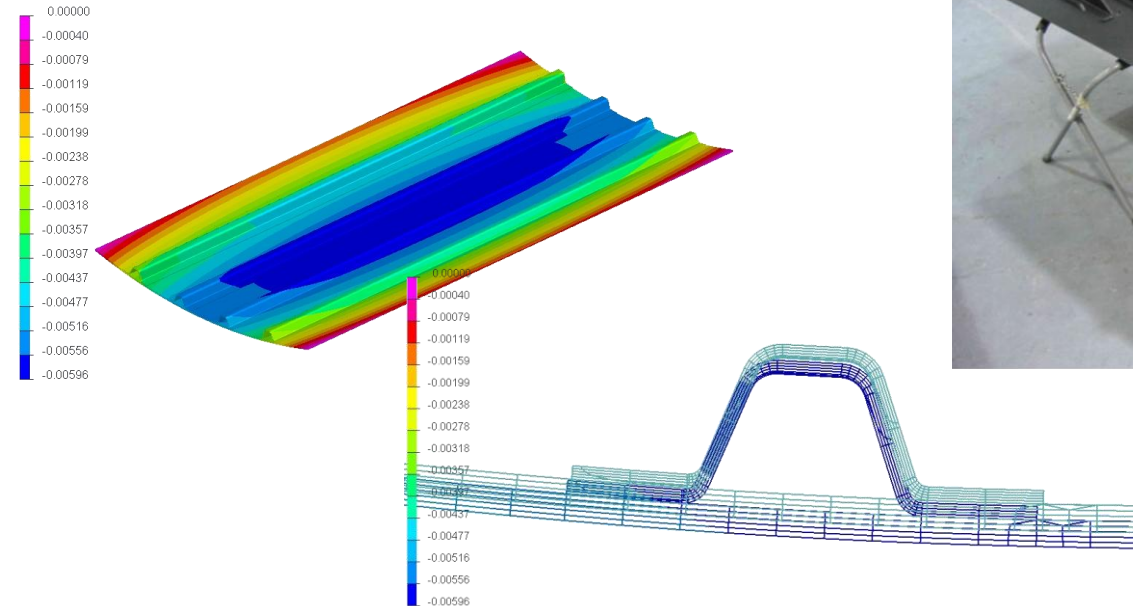
**Результаты:** решена задач отверждения, определены величины короблений и остаточных напряжений, проведена переработка оснастки для компенсации короблений



Готовое изделие



Эволюция температуры при отверждении



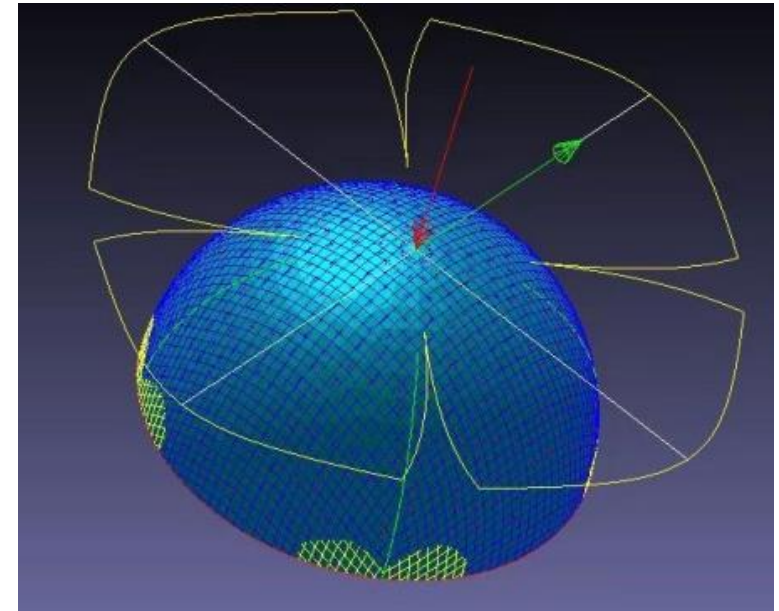
Коробление детали после отверждения

# Проектирование композиционных деталей в Fibersim

Fibersim - это программное обеспечение для проектирования и производства изделий из композиционных материалов

Fibersim позволяет:

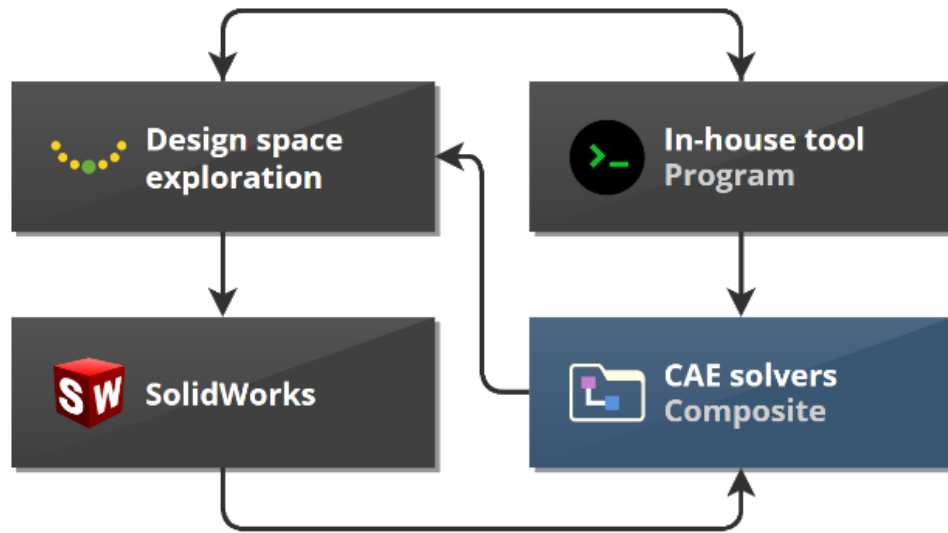
- описывать композиционное изделие различными способами
- анализировать структуру пакета
- учитывать конструкторские и технологические особенности каждого слоя
- моделировать поведение материала при укладке с учетом технологических особенностей производства
- выполнять моделирование укладки слоев на поверхность оснастки
- давать результирующие данные для производства и документацию в виде технологических эскизов и таблиц слоев
- получать развертки для раскройных станков, файлы систем лазерной проекции, оборудования для выкладки
- автоматизировать этап описания изделия и изменения конструкции





# Интеграция расчетных систем, автоматизация расчетов и оптимизация изделий и процессов

**D7** Seven

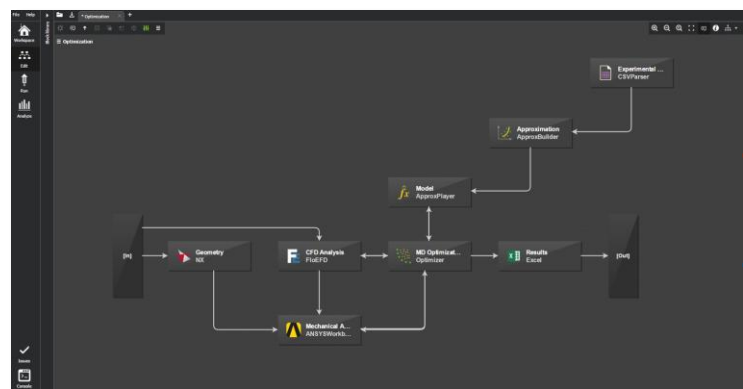


# Интеграция, оптимизация и прогноз

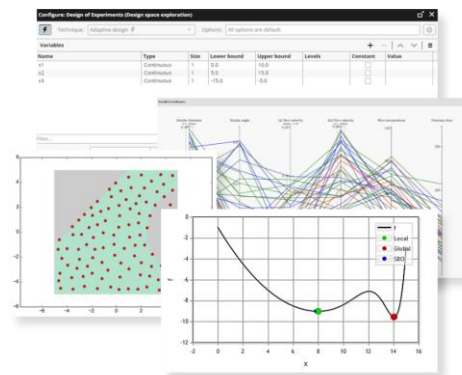
- DT Seven предназначен для:
  - Автоматизации процессов проектирования и интеграции внешних программ и данных в единую цепочку
  - Решения инженерных задач при помощи набора инструментов для исследования, оптимизации и предиктивного моделирования
- DT Seven позволяет:
  - Собирать модели поведения изделия на основе наборов данных, аналитических или расчетных моделей
  - Исследовать и оптимизировать эти модели с помощью инструментов исследования и оптимизации
  - Прогнозировать поведение новых вариантов изделий или режимов их работы при помощи инструментов предиктивного моделирования



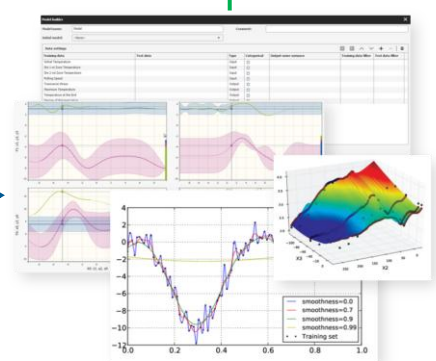
# Интерфейс и компоненты



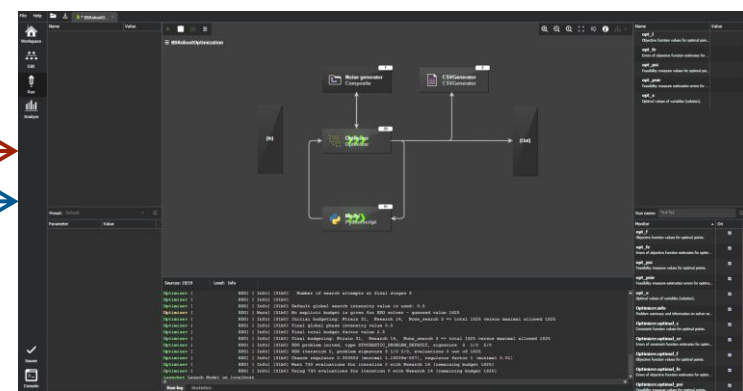
Построение расчетной схемы



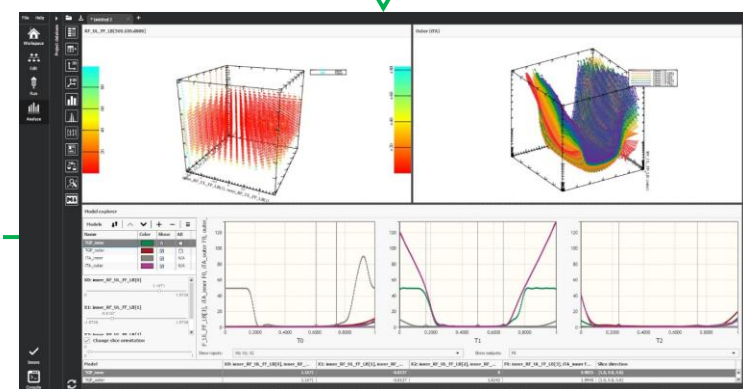
Исследование и оптимизация



Предиктивное моделирование



Запуск расчетной схемы



Анализ результатов

# Прямая интеграция инженерного ПО и CAD/CAE пакетов



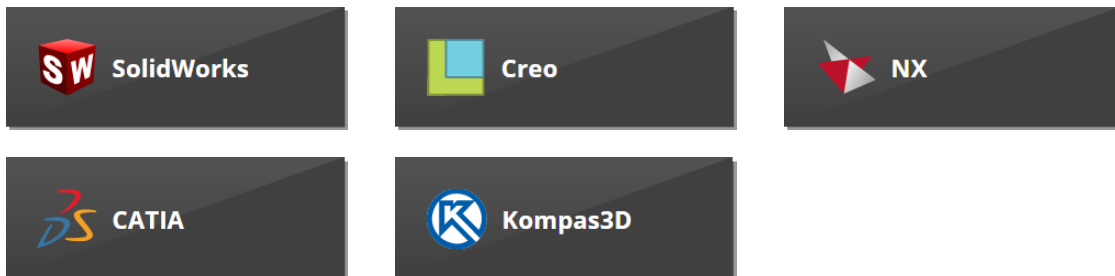
- DT Seven поддерживает **прямую интеграцию** с большинством известных CAD/CAE систем и другим ПО, используемом при проектировании:

- ANSA (beta)
- ANSYS Workbench
- CATIA (beta)
- Creo
- Excel
- FloEFD
- FMI models
- Kompas3D
- NX - Видео (англ.) launch
- SimInTech (beta)
- SimulationX (beta)
- Solid Edge (beta)
- SolidWorks
- STAR-CCM+
- Логос (beta)
- T-FLEX CAD (beta)
- CADFlo (beta)

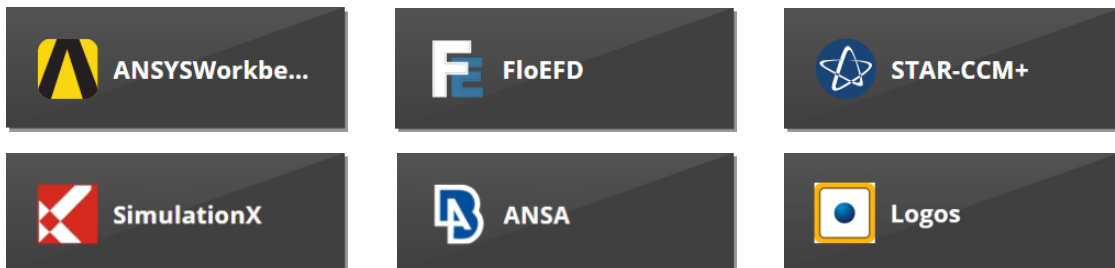
## Интеграция инженерного ПО:



## Прямая интеграция с CAD-системами:



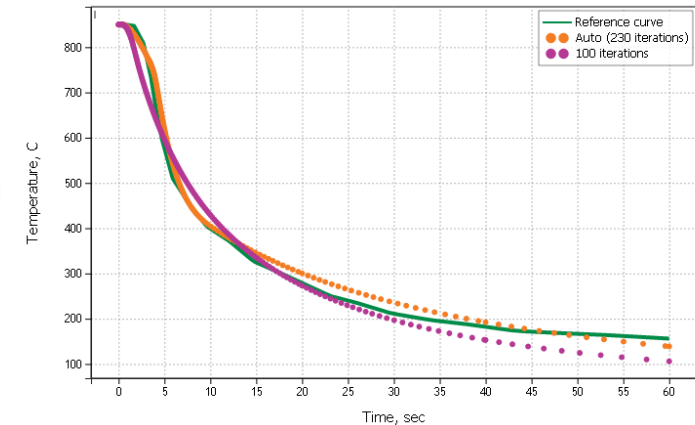
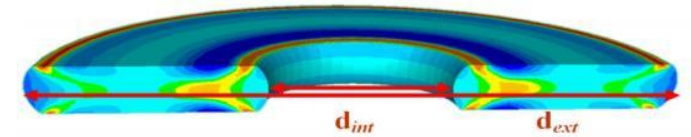
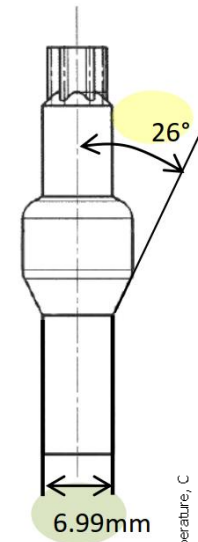
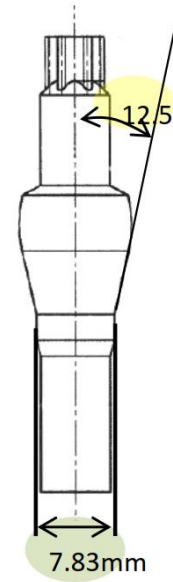
## Прямая интеграция с CAE-системами:



# Применение DT Seven для технологических задач



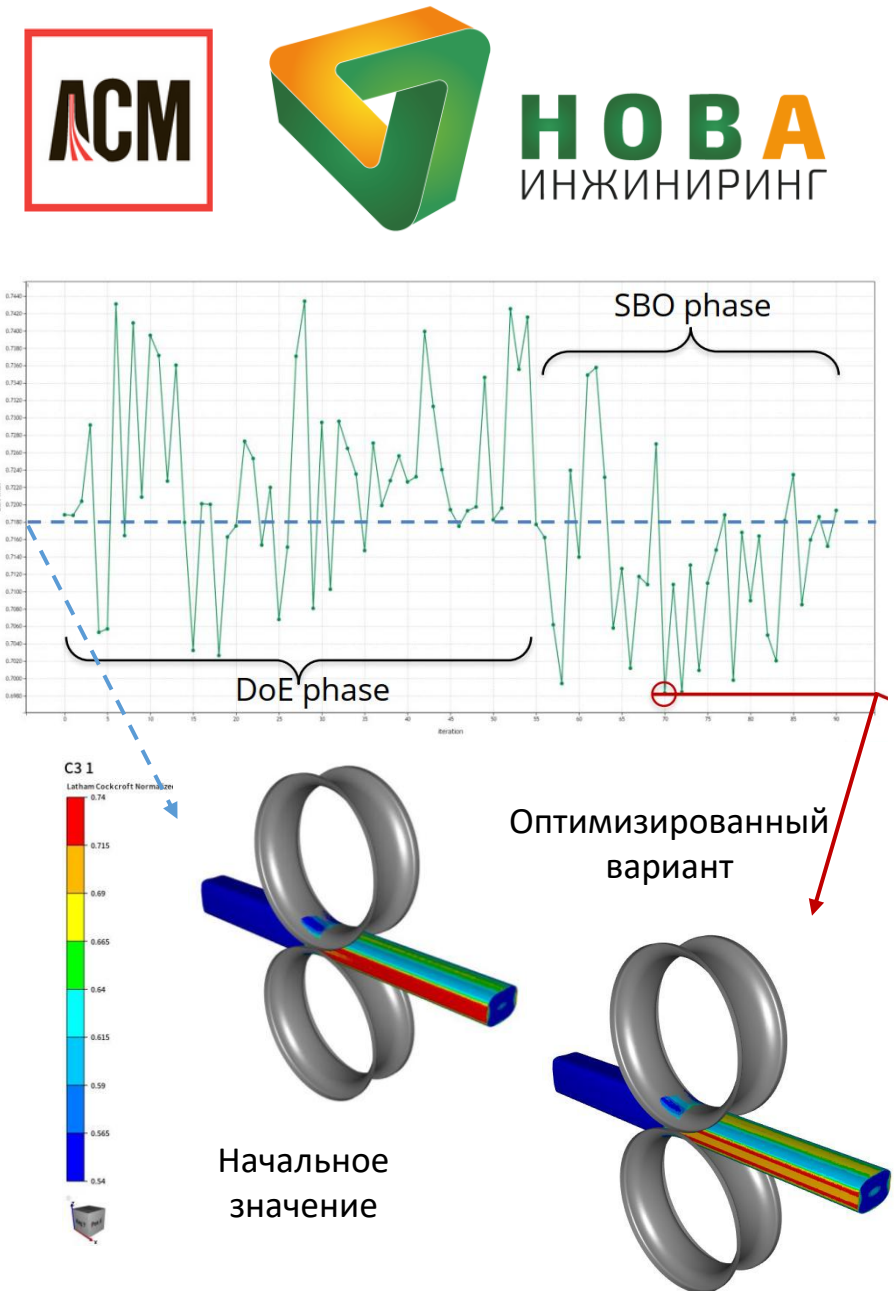
- Параметрическая и/или геометрическая оптимизация технологического процесса для повышения качества изделий или эффективности производства
- Автоматизация типовых расчетов с большим количеством расчетных исследований
- Решение обратной задачи для корректировки начальных условий процесса на основе экспериментальных данных
  - Например:
    - Коэффициент трения смазки
    - Коэффициент теплоотдачи охлаждаемой среды
    - Коэффициент теплопередачи между телами





# Оптимизация процесса прокатки блюма

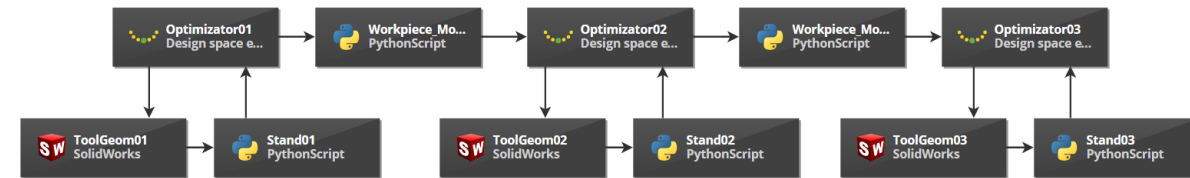
- **Задача:**
  - Уменьшить максимальное значение критерия разрушения Латема-Кокрофта вдоль края заготовки.
- **Сложности:**
  - Длительное время расчетов в нестационарной постановке.
- **Решение:**
  - Моделирование прокатки в ПО FORGE (стационарный расчет в три этапа прохождения заготовки через 3 клетки).
  - Первоначальное выполнение планирование эксперимента (50 точек) для оценки надежности расчетной цепочки и корректного поведения модели.
  - Оптимизация задачи методом SBO с учетом полученных итераций при планировании эксперимента: 35 расчетов (всего 85).
  - Варьирование 4 технологических параметров в процессе оптимизации (температура валков, коэффициент трения, скорость вращения валков, начальная температура заготовки)
- **Результат:**
  - Значительное уменьшение критерия разрушения менее чем за 80 итераций.
  - Полученные результаты были подтверждены на полной расчетной модели (мелкая сетка)



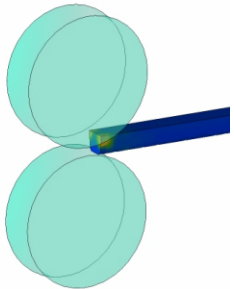
# Оптимизация процесса продольной прокатки алюминиевого слитка



- Задача
  - Поиск расстояния между валками в каждой клетке прокатного стана для обеспечения оптимальной степени обжатия слитка, минимизации износа инструмента и устранения формирования дефектов на поверхности заготовки.
- Сложности:
  - Большое количество клеток в стане (до 18), требующих оптимизации межвалкового зазора и/или рабочего профиля.
  - Прямая зависимость степени обжатия между клетями: изменение геометрии инструмента в одной клетке потребует корректировки для всех последующих.
  - Длительное время расчета в QForm (от 12 часов).
- Решение
  - Создание расчетной цепочки в DT Seven для последовательной оптимизации геометрии валков каждой клетки от первого к последнему с использованием метода SBO.
- Результат
  - Автоматизированное решение для оптимизации процесса прокатки, сокращение времени проектирования технологии в 2-3 раза по сравнению с ручным подходом.



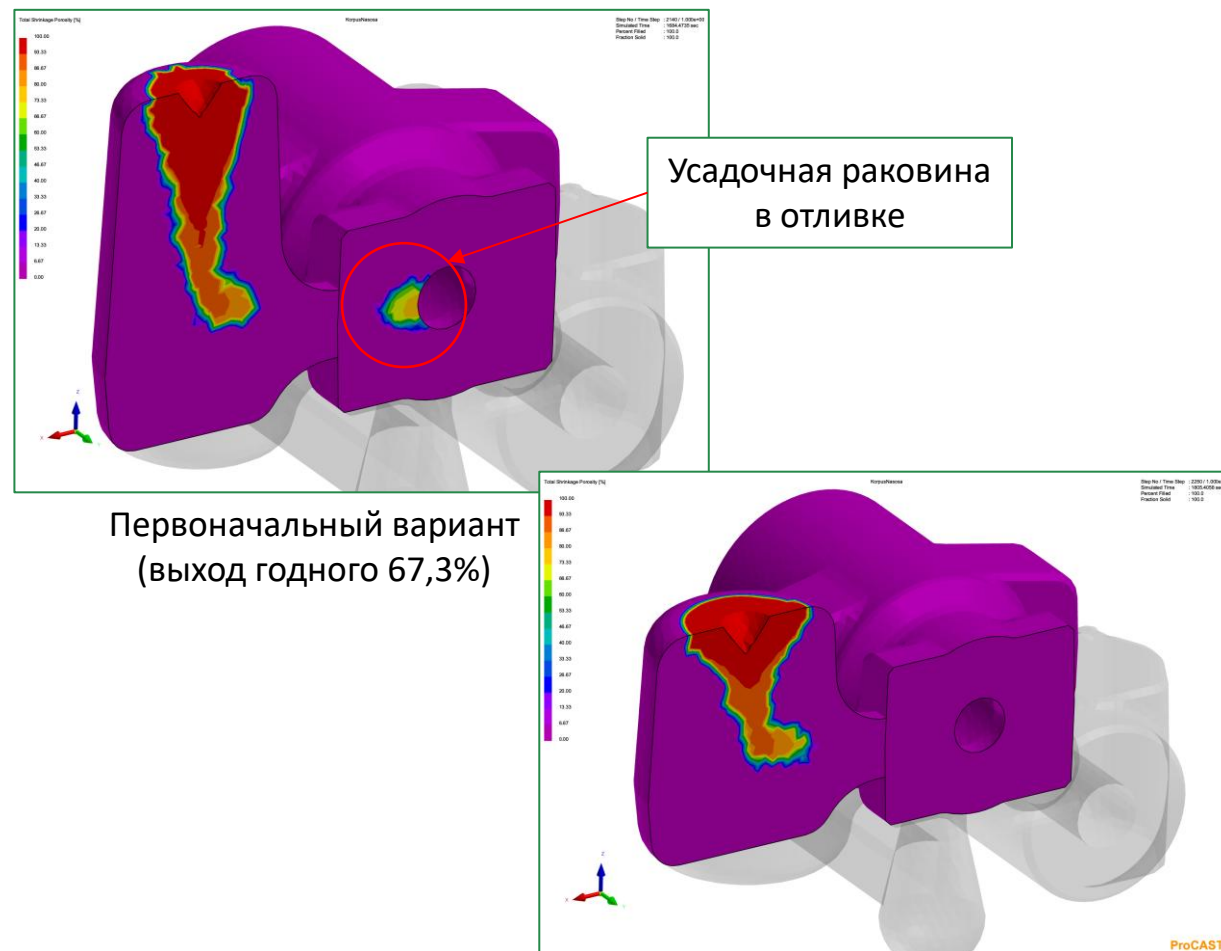
QForm 11.0.2



Оптимизированная геометрия валков для трех первых клеток

# Оптимизация размеров прибыли

- Задача:
  - Сократить время на проектирование размеров прибылей, повысить качество отливок (отсутствие усадочных дефектов), сократить расход металла (повысить выход годного)
- Сложности:
  - Необходимость учета нескольких факторов при проектировании прибылей: марку сплава, материал формы, конфигурацию отливки, тип применяемых прибылей, что часто требует большого количество расчетных итераций на отработку технологии.
  - При ограниченном времени не всегда удается достигнуть оптимального варианта технологии
- Решение:
  - Использование DT Seven для автоматической оптимизации размеров прибылей (диаметра и высоты) с изменением геометрии в SolidWorks и подготовки расчетной модели и запуска моделирования в ПО ProCAST.
- Результат:
  - Автоматизированная расчетная цепочка для подбора оптимальных размеров прибылей для конкретной геометрии отливки позволяет сократить время технолога на проектирования питающей системы и максимизировать выход годного литья.



Первоначальный вариант  
(выход годного 67,3%)

Оптимальная технология  
(выход годного 64,6%)

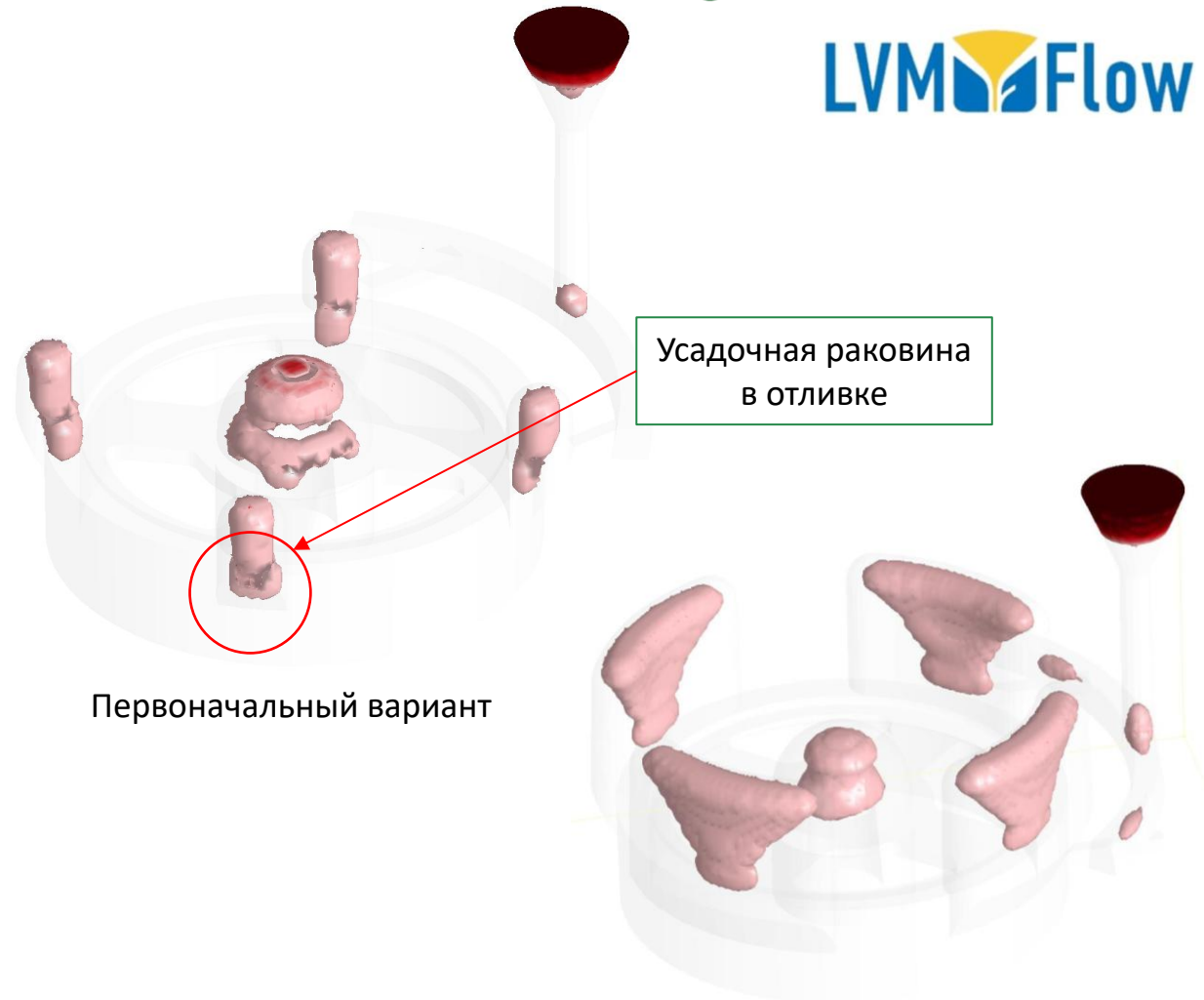
# Оптимизация размеров прибыли при литье в песчаные формы

- Задача:
  - Сократить время на проектирование размеров прибылей, повысить качество отливок (отсутствие усадочных дефектов), сократить расход металла (повысить выход годного)
- Сложности:
  - Необходимость учета нескольких факторов при проектировании прибылей: марку сплава, материал формы, конфигурацию отливки, тип применяемых прибылей, что часто требует большого количество расчетных итераций на отработку технологии.
  - При ограниченном времени не всегда удается достигнуть оптимального варианта технологии
- Решение:
  - Использование DT Seven для автоматической оптимизации размеров прибылей (диаметра и высоты) с изменением геометрии в SolidWorks и подготовки расчетной модели и запуска моделирования в ПО LVMFlow.
- Результат:
  - Автоматизированная расчетная цепочка для подбора оптимальных размеров прибылей для конкретной геометрии отливки позволяет сократить время технолога на проектирования питающей системы и максимизировать выход годного литья.



**НОВА**  
ИНЖИНИРИНГ

**LVMFlow**

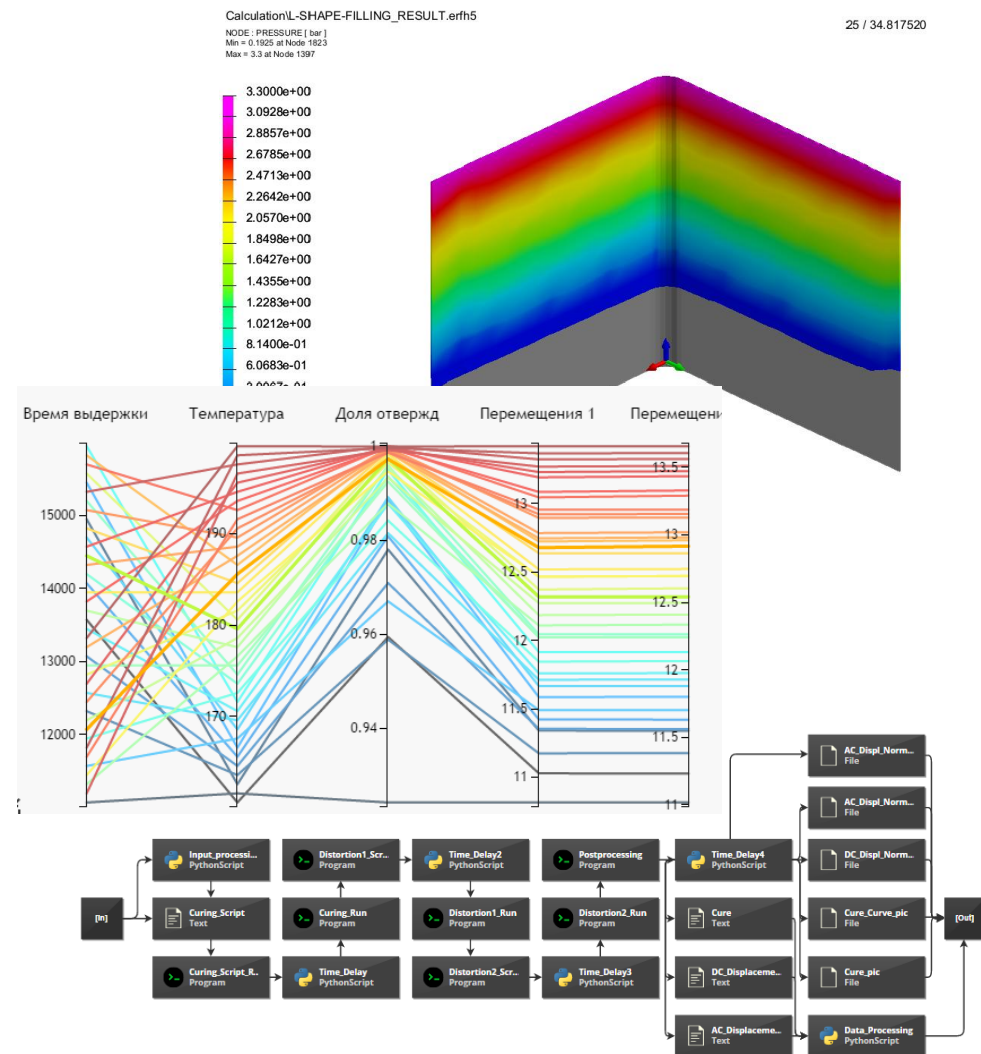


Первоначальный вариант

Оптимальная технология

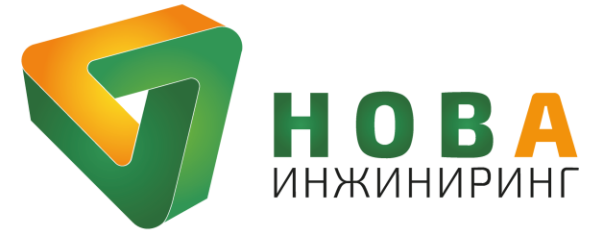
# Автоматизация моделирования процессов производства композитных материалов

- Задача
  - Автоматизация моделирования задач производства композитных материалов в среде PAM-Composite с целью устранения дефектов в изделиях, снижения затрат и интенсификации производства.
- Сложности:
  - Учет различных процессов, связанных с изготовлением композитных изделий: формовки, пропитки связующим с последующим отверждением, коробления после полимеризации смолы. Каждый этап изготовления рассчитывается в отдельном решателе (PAM-Form, PAM-RTM, PAM-Distortion).
  - Необходимость проведения связанных расчетов с передачей промежуточных данных между различными решателями.
  - Более 10 различных варьируемых технологических параметров (например, зоны подвода смолы и расположение вент, давление подачи смолы, температурного режима полимеризации и пр.).
- Решение
  - Интеграция PAM-Composite в DT Seven для проведения параметрического исследования или оптимизации процессов производства композитов с оценкой влияния различных технологических параметров на конечный результат.
- Результат
  - Автоматизированное решение для исследования и оптимизации процесса производства композитных материалов, позволяющее минимизировать коробление изделий, устранять дефекты «сухих зон», сокращать расход связующего и др.

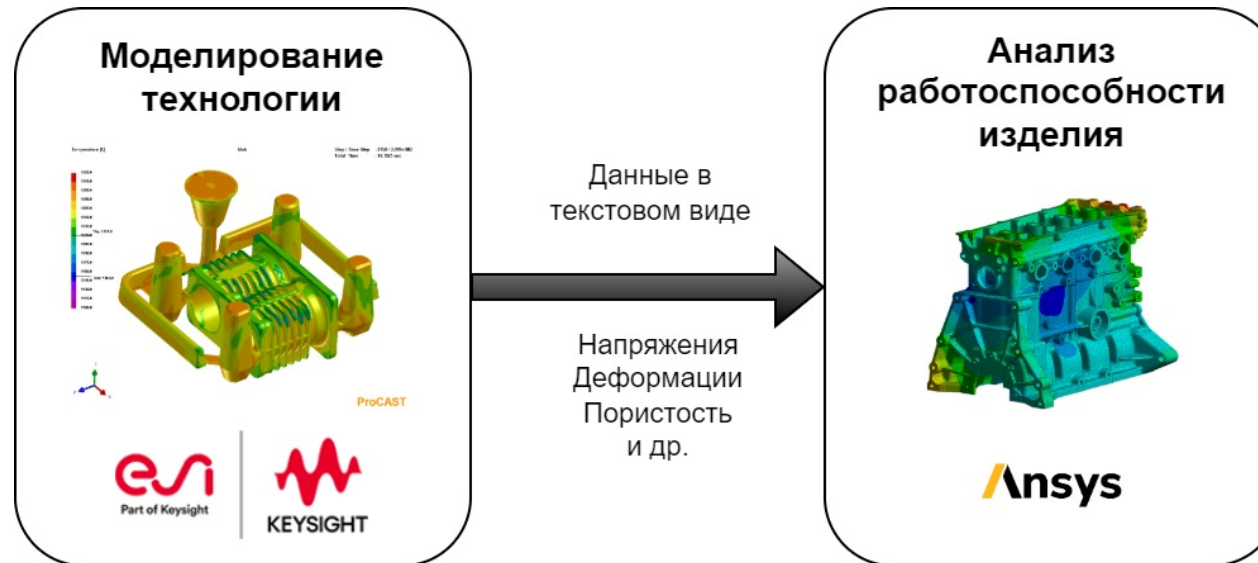




# Методика оценки НДС с учетом технологических дефектов



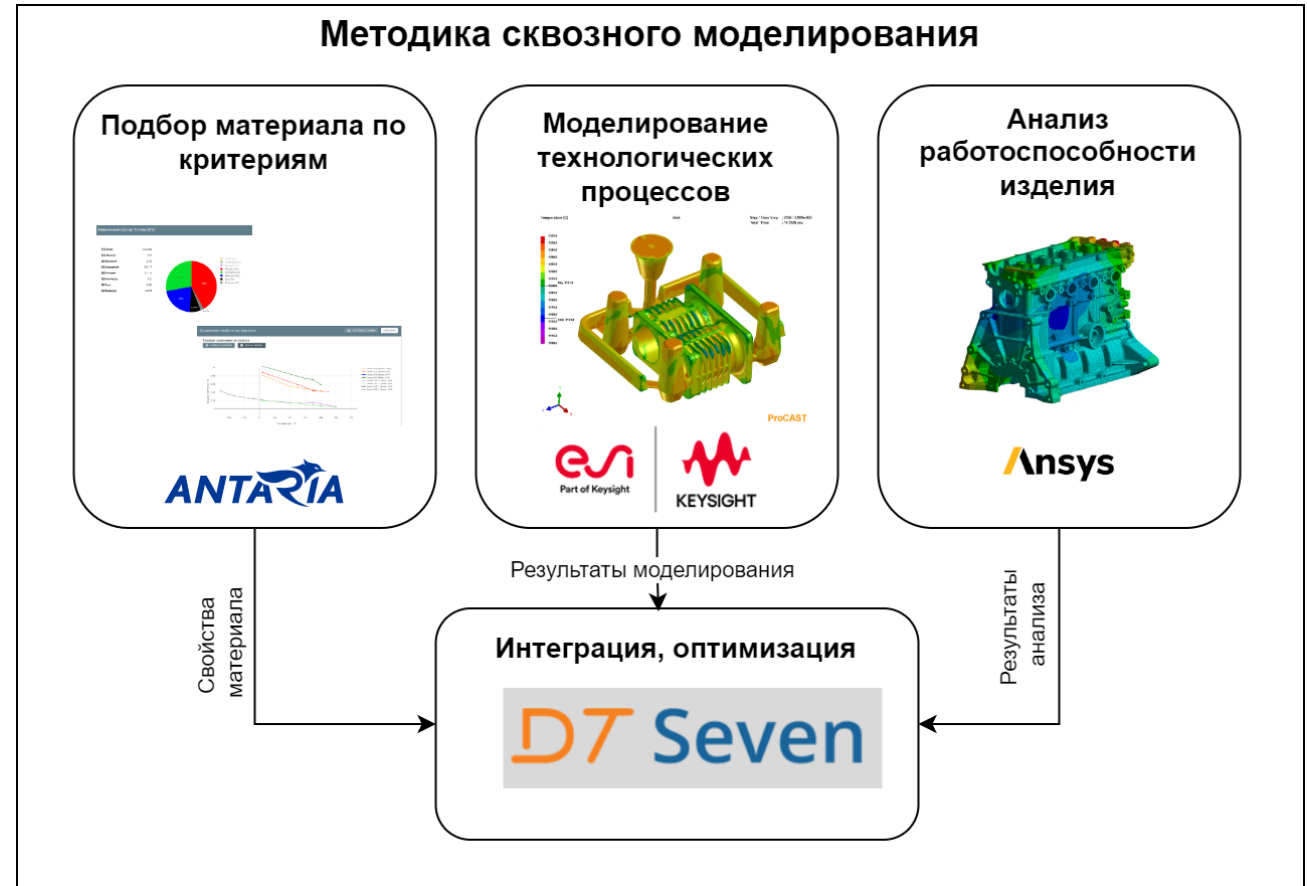
- Современные средства численного моделирования имеют наличие инструментов по возможностям выгрузки результатов в различные форматы данных и чтения/обработки данных также в различных форматах.
- Однако сложность возникает при **необходимости проецирования методики на различные изделия** и проведения параметрической оптимизации. Кроме того, нередко при этом встает **проблема выбора оптимального материала**.



# Методика сквозного проектирования изделий с учетом технологии

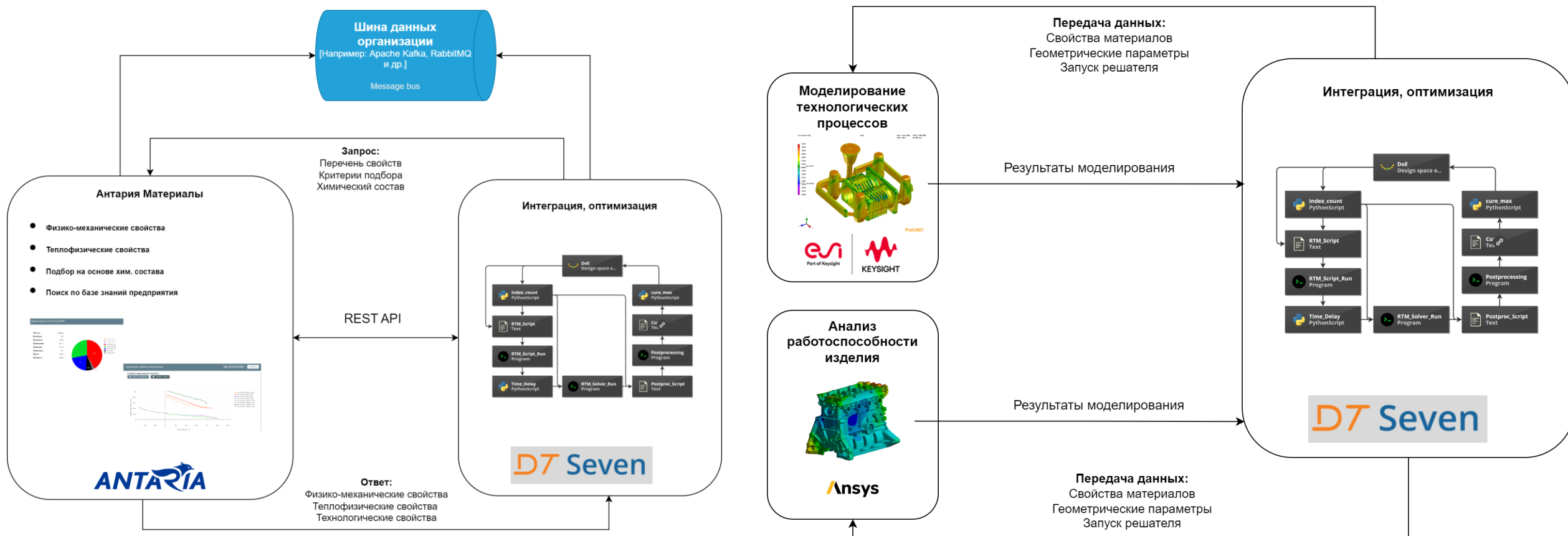


- Применение DT7 как основного интеграционного решения для шаблонизации методики
- Применение инструментов параметрической оптимизации (геометрия, материал)
- Применение Antaria Materials как рекомендательной системы для подбора материала и предоставления данных о физико-механических и теплофизических свойствах



# Взаимодействие компонентов

- Обмен данными по REST между D7 и Antaria
- Возможность интеграции с другими системами организации
- Возможность включения ПАК с языковыми моделями для предоставления информации из базы знаний организации



# Оценка прочности сварного соединения с учетом остаточных напряжений

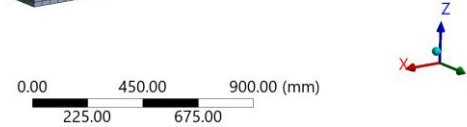
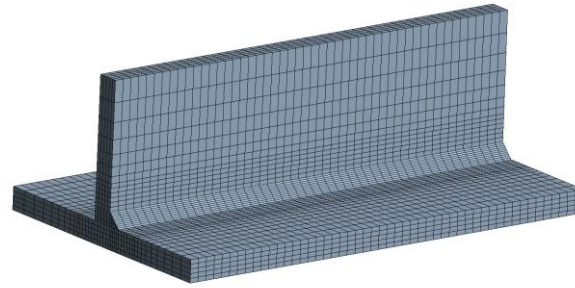
Инжиниринг и производство

[www.nova-e.org](http://www.nova-e.org)



# Постановка задачи

- Задача: оценка прочности сварного соединения учетом остаточных напряжений.
- *Функциональное назначение компонентов:*
- **DT7** – Интеграционная платформа
- **Antaria** – Свойства материалов
- **ESI Sysweld** – моделирование сварки
- **ANSYS** – анализ прочности при рабочих нагрузках



Объект исследования (КЭ-сетка)

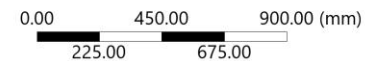
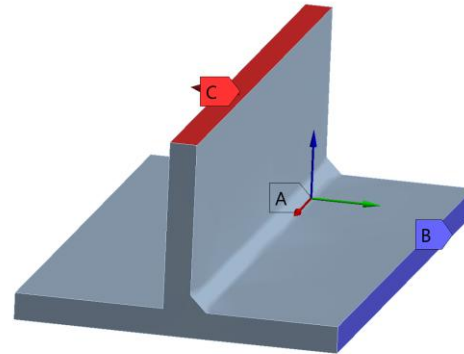
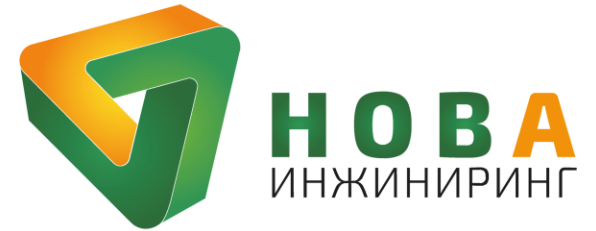


Схема нагружения

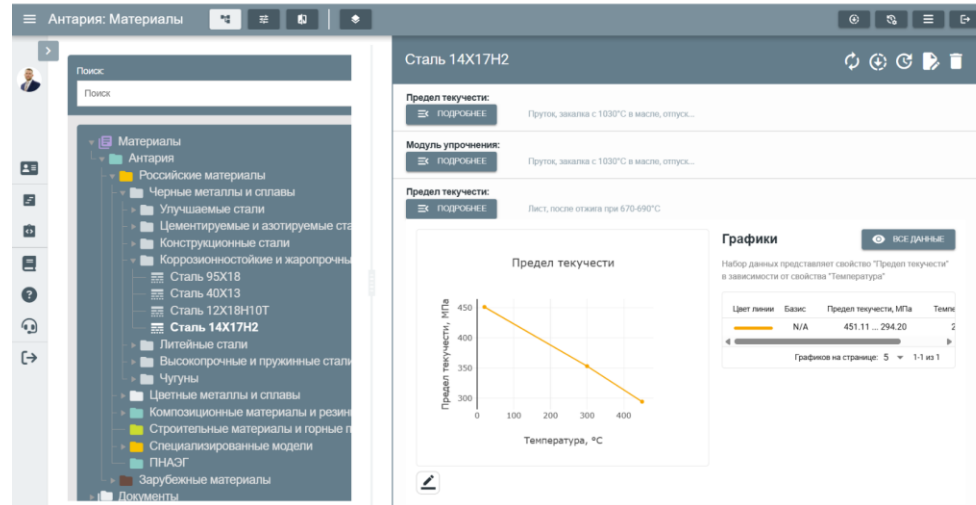




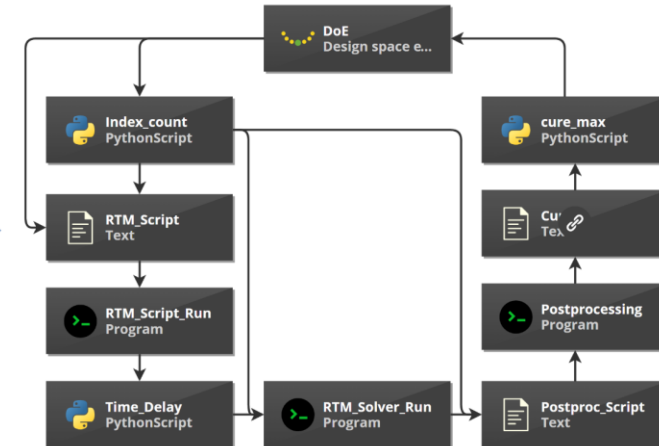
# Алгоритм решения



## Получение данных о свойства материала по API

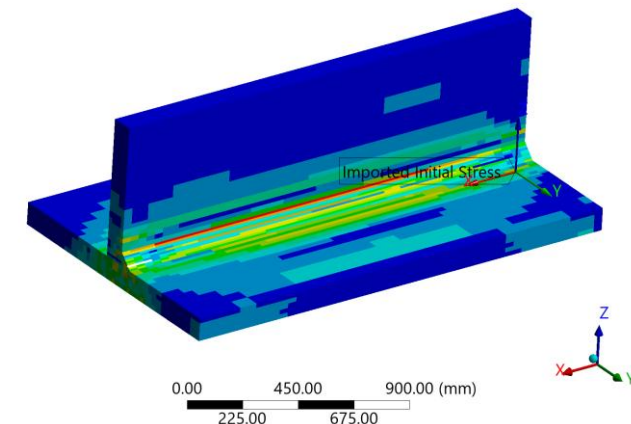


Получение данных по API



### Шаги решения:

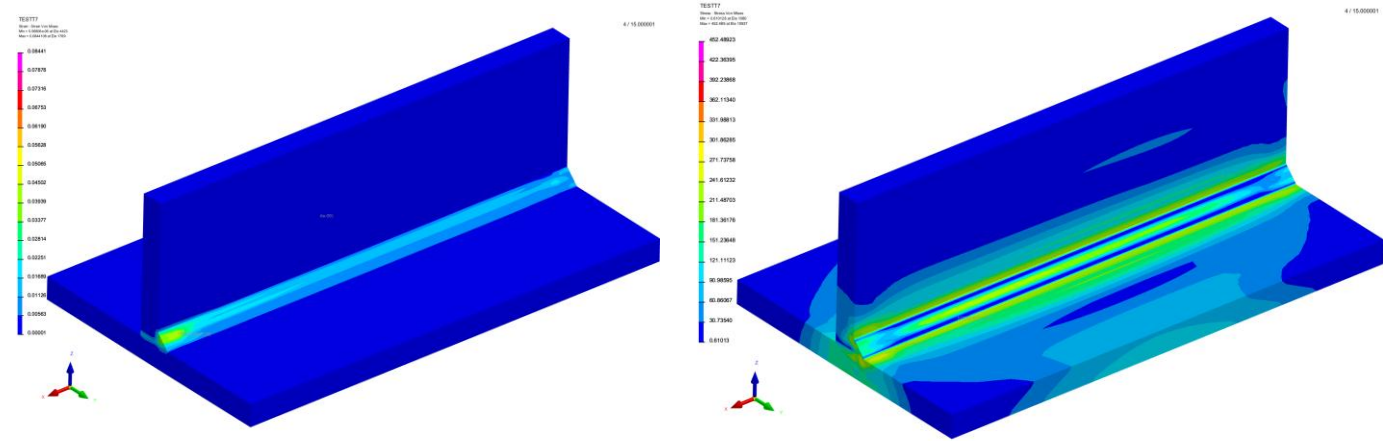
1. Получение свойств материалов для Sysweld и ANSYS
2. Моделирование процесса сварки
3. Получение данных по остаточным напряжениям/деформациям и их передача в прочностной анализ
4. Анализ прочности с учетом остаточных напряжений



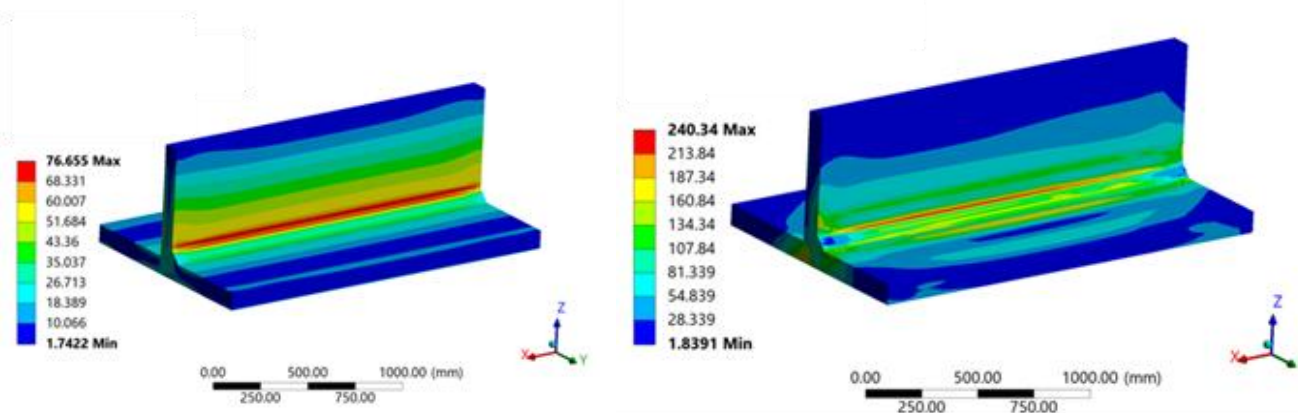
Результаты интерполяции напряжений

# Результаты

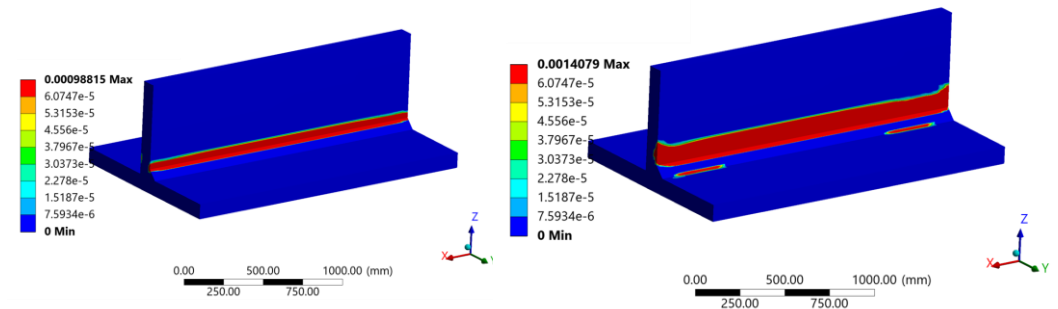
- Интенсивность пластических деформаций отличается около 10%
- Качественные результаты полей напряжений/деформаций имеют существенное отличие



Поля остаточных напряжений и деформаций



Поля эквивалентных напряжений по Мизесу (слева – без учета остаточных напряжений, справа – с учетом остаточных напряжений)



Интенсивность пластических деформаций (слева – без учета остаточных напряжений, справа – с учетом остаточных напряжений)

# Заключение

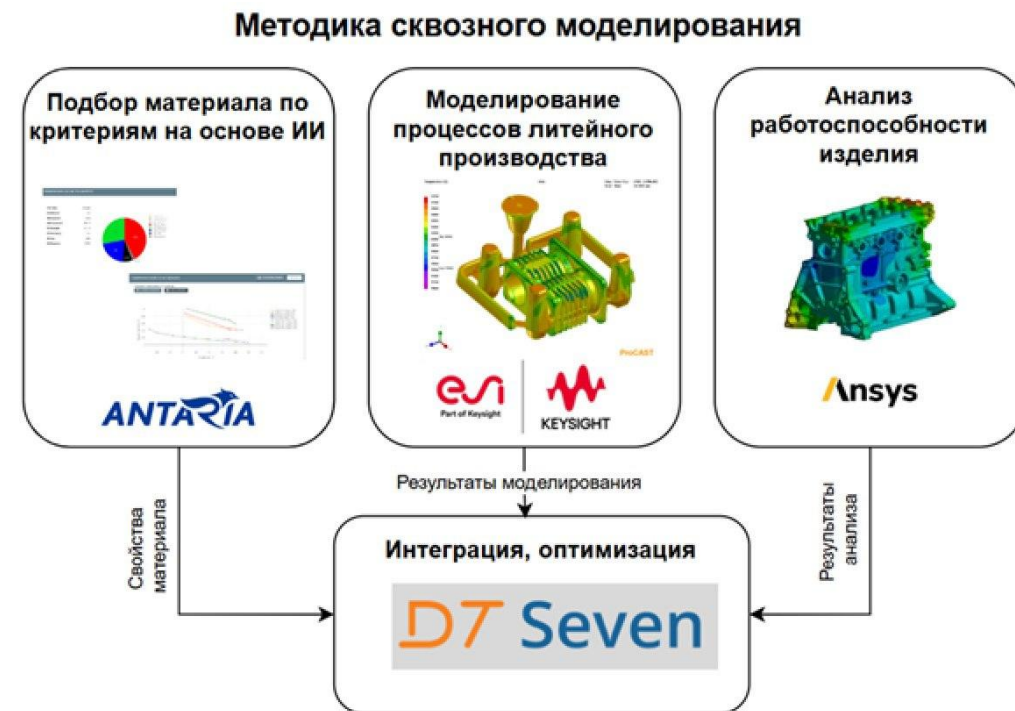


- Платформа D7 позволяет осуществлять интеграцию различных компонентов (ПО) для решения междисциплинарных задач и проводить оптимизационные расчеты
- При оценке работоспособности изделий важно учитывать технологию изготовления
- Современные программные решения позволяют сложные междисциплинарные задачи, которые возникают при разработке новой техники и технологий

# Автоматизированное решение для сквозного моделирования



- Взаимная интеграция на базе DT Seven программного обеспечения для проведения сквозного моделирования:
  - Antaria (система управления данными о материалах и технологиях)
  - ProCast (моделирование литья металлов)
  - Ansys Mechanical (анализ прочности)
- Методика заключается в оценке влияния физико-механических свойств материалов на качество изделия и, в свою очередь, влияние технологических дефектов в отливке на эксплуатационные характеристики.
- Эффективность и ценность данного подхода – учет влияния дефектов производства на прочностные характеристики изделия и одновременная оценка влияния выбранного материала на весь цикл производства и испытаний
- Расчетная цепочка может быть создана один раз и масштабирована на другие изделия предприятия для достижения более высоких тактико-технических характеристик продукции и повышения ее конкурентоспособности.



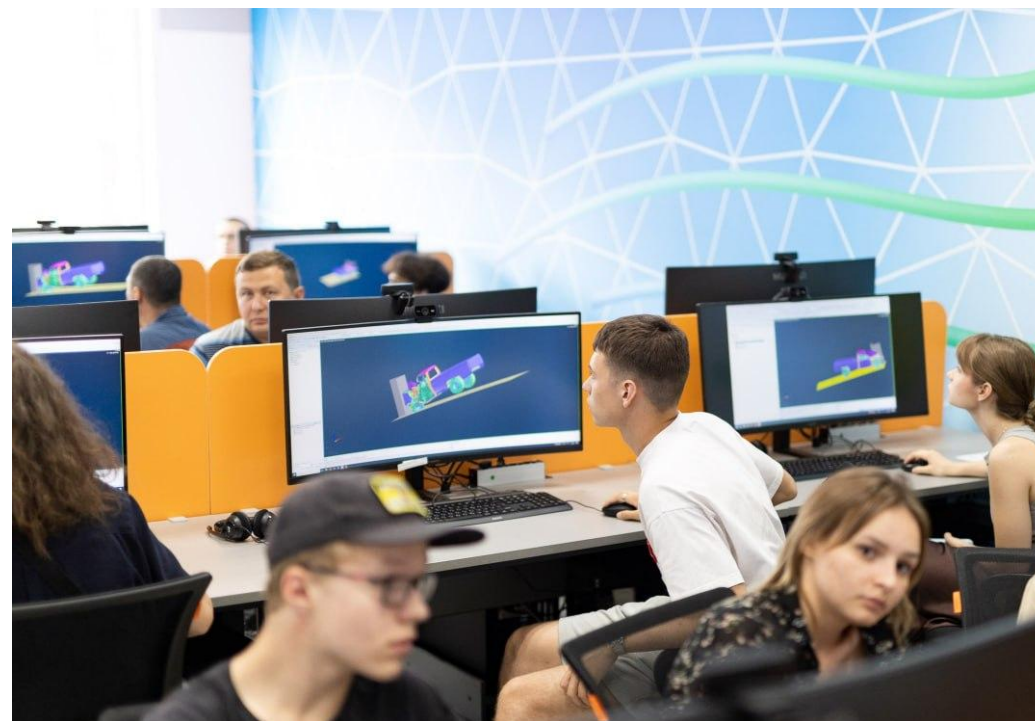
# Курсы обучения от ООО «Нова Инжиниринг»



Возможно проведение учебных курсов с выдачей сертификатов установленного образца о повышении квалификации.

Разработано более 30 авторских курсов в области CAE, CAD, ИИ, реверс-инжиниринга, включая:

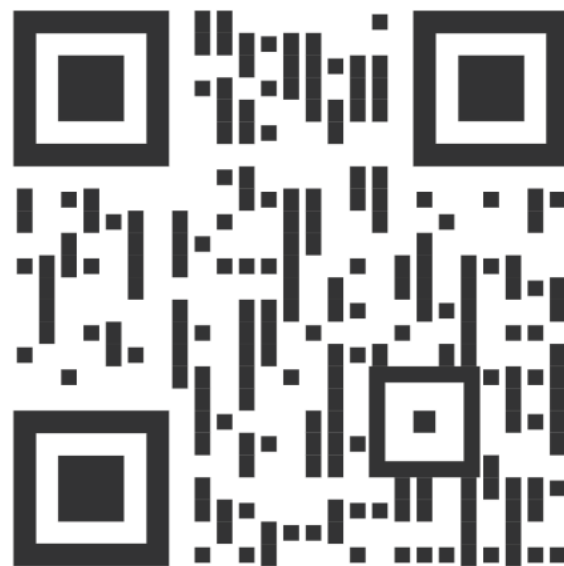
- DT Seven
- LVMFlow, PoligonSoft, ProCast
- Sysweld, SIMMAX
- PAM-STAMP, Qform
- PAM-Composites, Fibersim
- Fidesys, ЛОГОС Прочность, Ansys, LS-Dyna,
- CADFlo, ЛОГОС Аэро-Гидро, Ansys Fluent, CFX
- Ansys HFSS, GAMMA
- Компас, T-Flex
- VR Concept
- Проектное обучение студентов
- Искусственный интеллект и большие данные



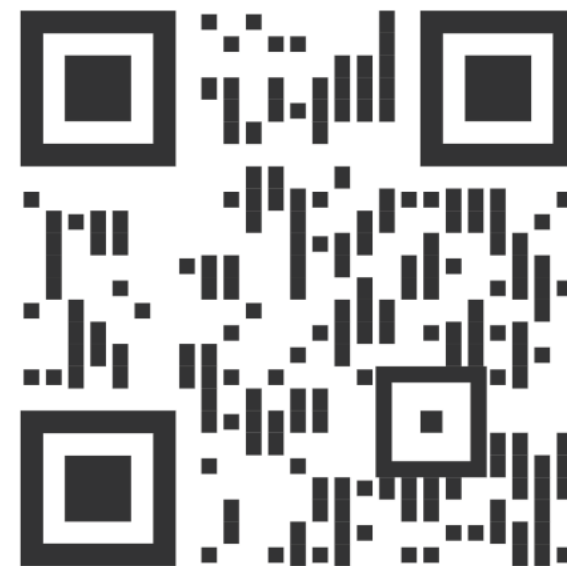




**НОВА**  
ИНЖИНИРИНГ



сайт



телеграм-канал