



АПМ

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ
ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
И СТРОИТЕЛЬСТВА





Российские CAE-системы на службе промышленности ²⁰²⁰

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ APM – настоящее будущее!

Святослав Соколов



НТЦ «АПМ» - ведущий разработчик ПО для инженерных расчетов



к проектированию позволяет не только создать **наилучшую** конструкцию, но и обеспечивает конкурентное преимущество за счет **снижения затрат** на проектирование (временных, на изготовление опытных образцов) и **себестоимости** изготовления конструкции (в т.ч. за счет использования стандартных типоразмеров сортамента, проката и т.д.) и ее эксплуатации.

Целью оптимального проектирования является создание изделий, конструкций и т.п., **лучшим** образом выполняющих требуемые функции, минимально используя имеющиеся ресурсы и возможности. Чтобы добиться качественного результата, необходимо оптимизировать на всех этапах проектирования.



Приложение №1
к Договору № **XX-XX-XX0/XX-XXX/XX/2019**
от «__» _____ 2019г.

Техническое задание для проведения расчёта прочности и топологической оптимизации конструкции **наименование.**

1. Предмет договора

Расчёт прочности и топологическая оптимизация конструкции **наименование.**

1. Цель

Расчёт прочности и определение оптимального расположения материала в пределах заранее заданного пространства проектирования с целью достижения в [одном варианте **минимизации** массы при соблюдении ограничений на возникающие напряжения], [в другом варианте **максимизации** жесткости при ограничении объёма оставляемого материала]. **(вариант выбирается заказчиком)**

В рамках данной работы необходимо:

- создать расчетную модель в соответствии с исходными данными **(предоставляются заказчиком)**;
- выполнить линейный статический прочностной расчет;
- провести оценку полученных результатов;
- провести топологическую оптимизацию конструкции для заданных расчётных случаев **(предоставляются заказчиком)**;
- провести оценку и контроль полученных результатов **(согласование с заказчиком)**;
- провести пост-обработку полученной формы;
- провести проверочный расчёт новой конструкции для заданных расчётных случаев **(предоставляются заказчиком)**;
- предоставить результаты в электронном виде и на бумажном носителе – 1 экз.



Этапы и модули

Формирование геометрии заготовки по габаритно-присоединительным размерам.
Задание закреплений, соединений и нагрузок.
Генерация КЭ сетки.

APM Studio

Задание закреплений, соединений и нагрузок.
Параметрическая оптимизация закреплений и соединений.

APM Structure3D

Задание области проектирования.
Топологическая оптимизация – минимизация массы с ограничением напряжений.
Формирование эскизной геометрии детали.

APM Structure3D

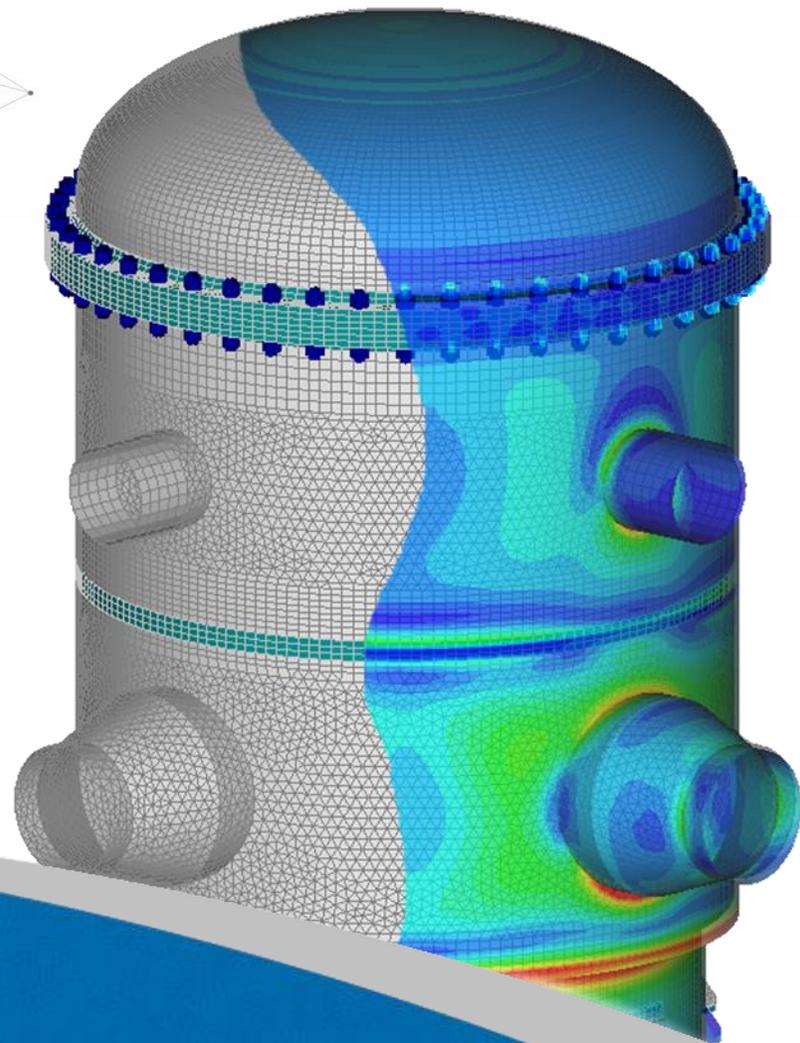
Формирование геометрии детали.
Финишная оптимизация геометрии.
Проектирование соединений.

APM Structure3D
Компас-3D
APM Joint



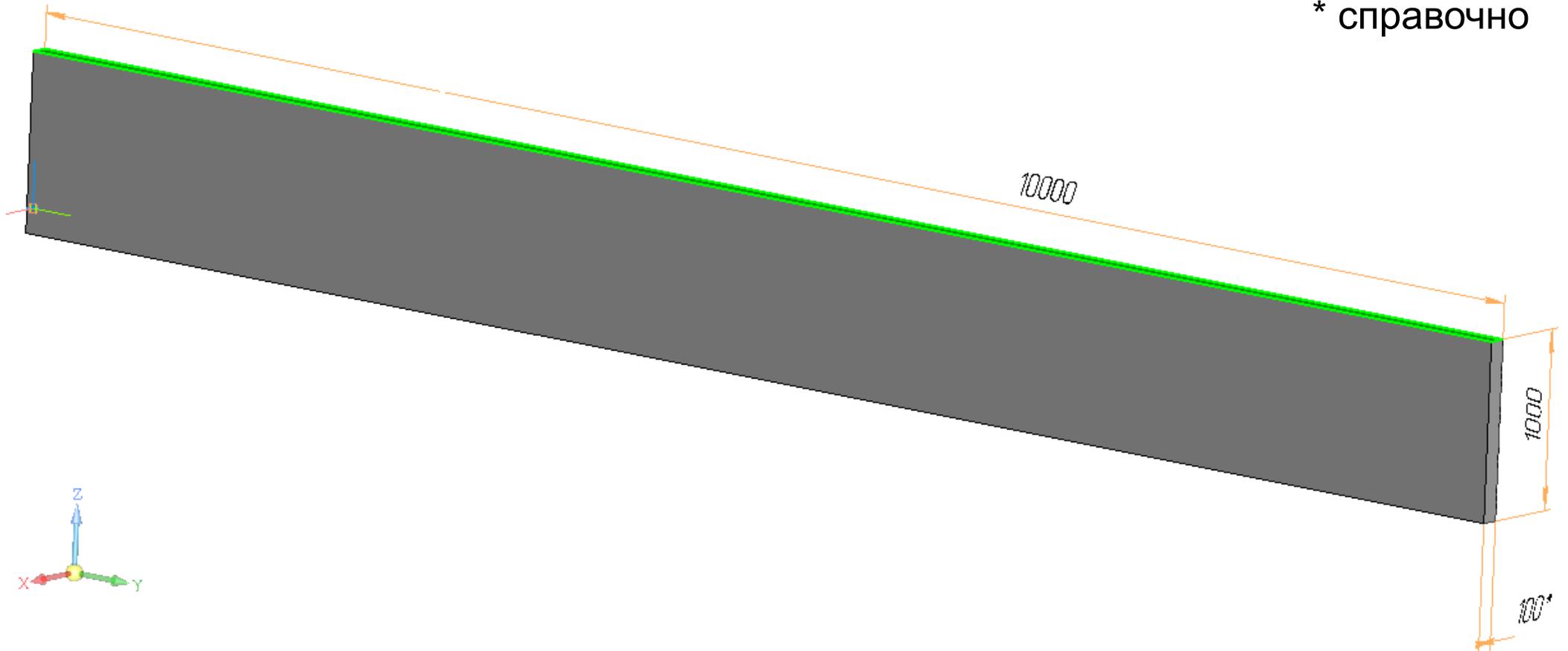


ПРИМЕРЫ



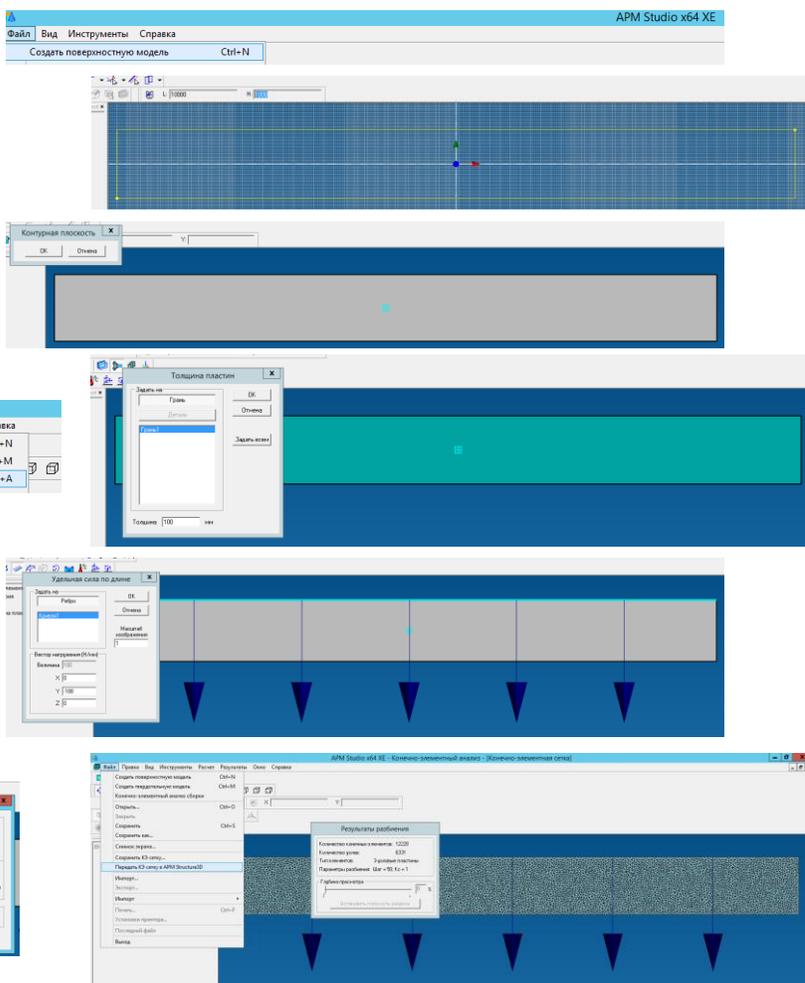
Изготовить стальную (Ст235) ферму габаритами 10000x1000x100*мм минимальной массы, выдерживающую равномерно распределенную нагрузку 100тс на верхний пояс с коэффициентами запаса 1.25 по текучести и 1.3 по устойчивости. Опираение по краям.

* справочно

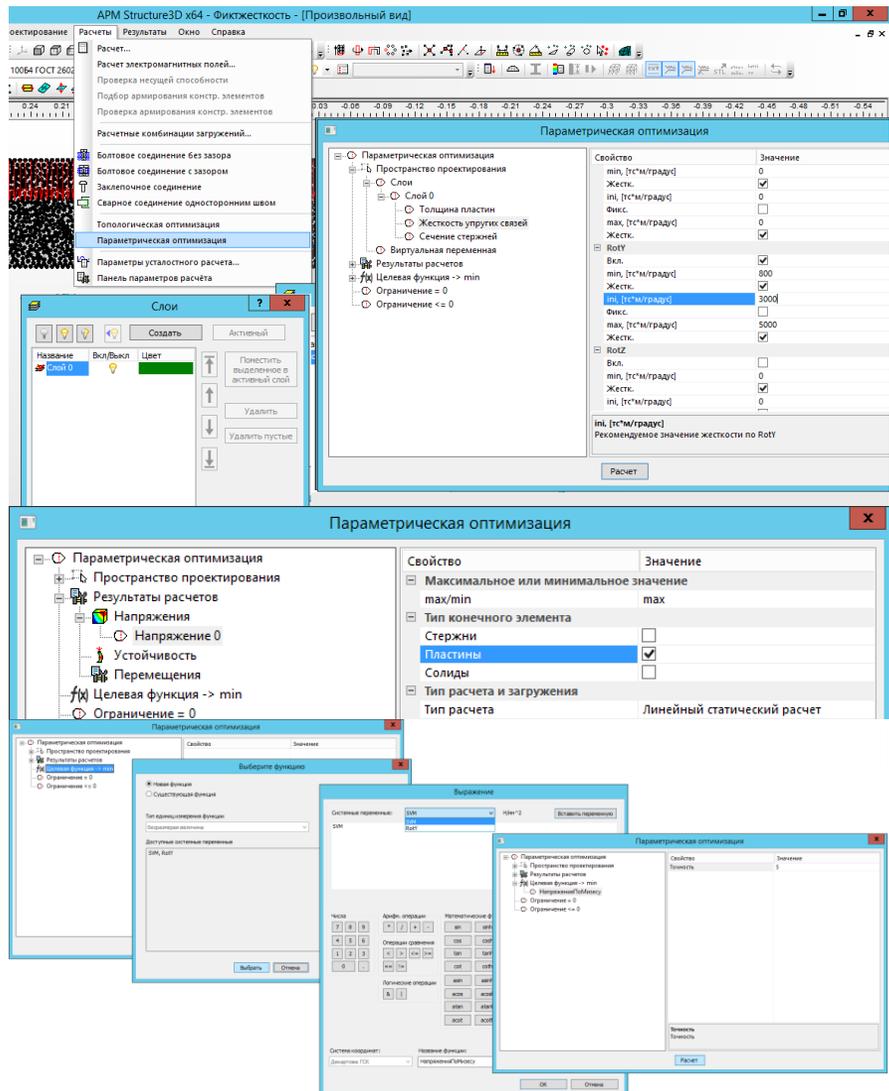


Формирование геометрии заготовки по габаритно-присоединительным размерам. Задание закреплений, соединений и нагрузок. Генерация КЭ сетки.

- запускаем поверхностное моделирование в APM Studio
- в эскизе рисуем прямоугольник 10000x1000 мм
- командой «Контурная плоскость» превращаем его в пластину
- переходим в режим КЭ анализа
- присваиваем пластине толщину 100 мм
- прикладываем к верхнему ребру распределенную силу
- создаем КЭ сетку с шагом 50 мм (~20 КЭ на минимальный габарит)
- передаем ее в APM Structure3D



Настройка параметрической оптимизации торсионной жесткости соединений (закреплений).

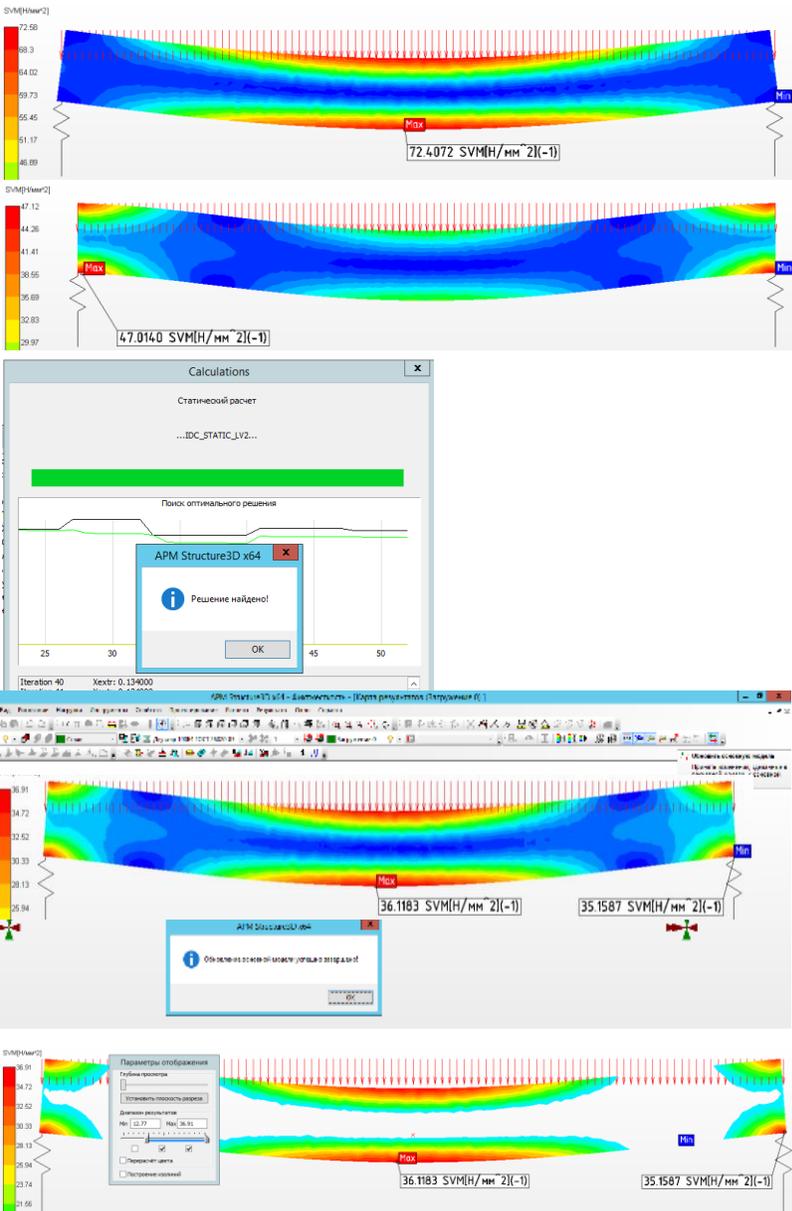


- открываем окно настроек
- в качестве пространства проектирования выбираем слой, содержащий упругие связи, варьируемым параметром – торсионную жесткость упругой связи(в ЛСК), препятствующую повороту торцов при прогибе фермы
- результатами расчета – эквивалентное напряжение по Мизесу (SVM) в пластинах
- задаем целевую функцию как SVM (-> min) с точностью 4 МПа (~8% от ожидаемого напряжения)

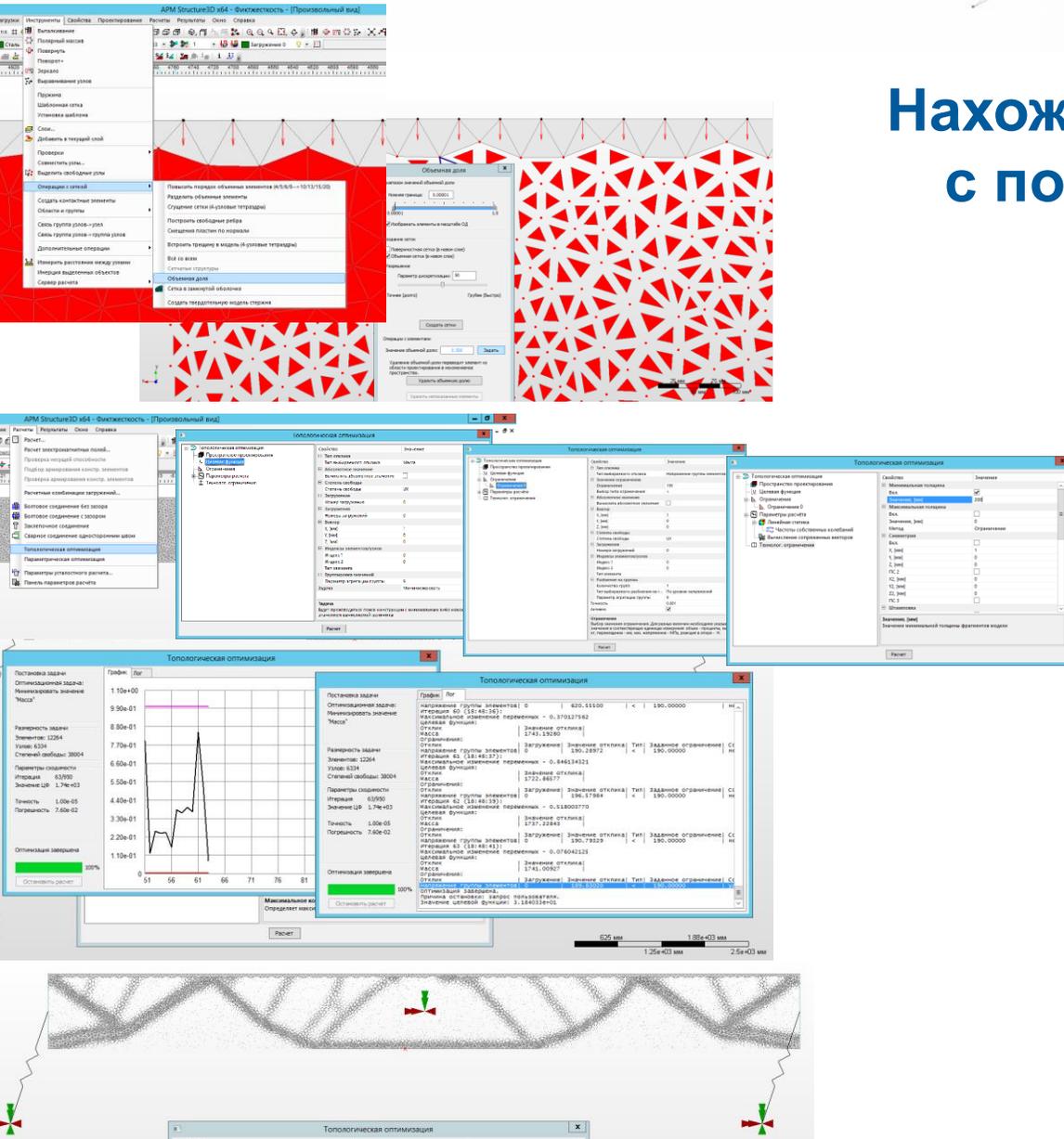


Влияние жесткости закреплений и ее оптимизация.

- задавая очень малое и очень большое значения крутильной жесткости, линейным статическим расчетом получаем картины НДС, соответствующие шарнирному опиранию и заделке
- по результатам, напряжения концентрируются посередине балки или в заделке
- очевидно предположить, что при промежуточной жесткости закрепления напряжения снизятся и выровняются
- оптимальная жесткость находится расчетом Параметрической Оптимизации – максимальные напряжения в заготовке **снижены в ~2 раза!**
- переходим к удалению ненагруженных областей с помощью Топологической Оптимизации



Нахождение оптимальной геометрии изделия с помощью Топологической Оптимизации.

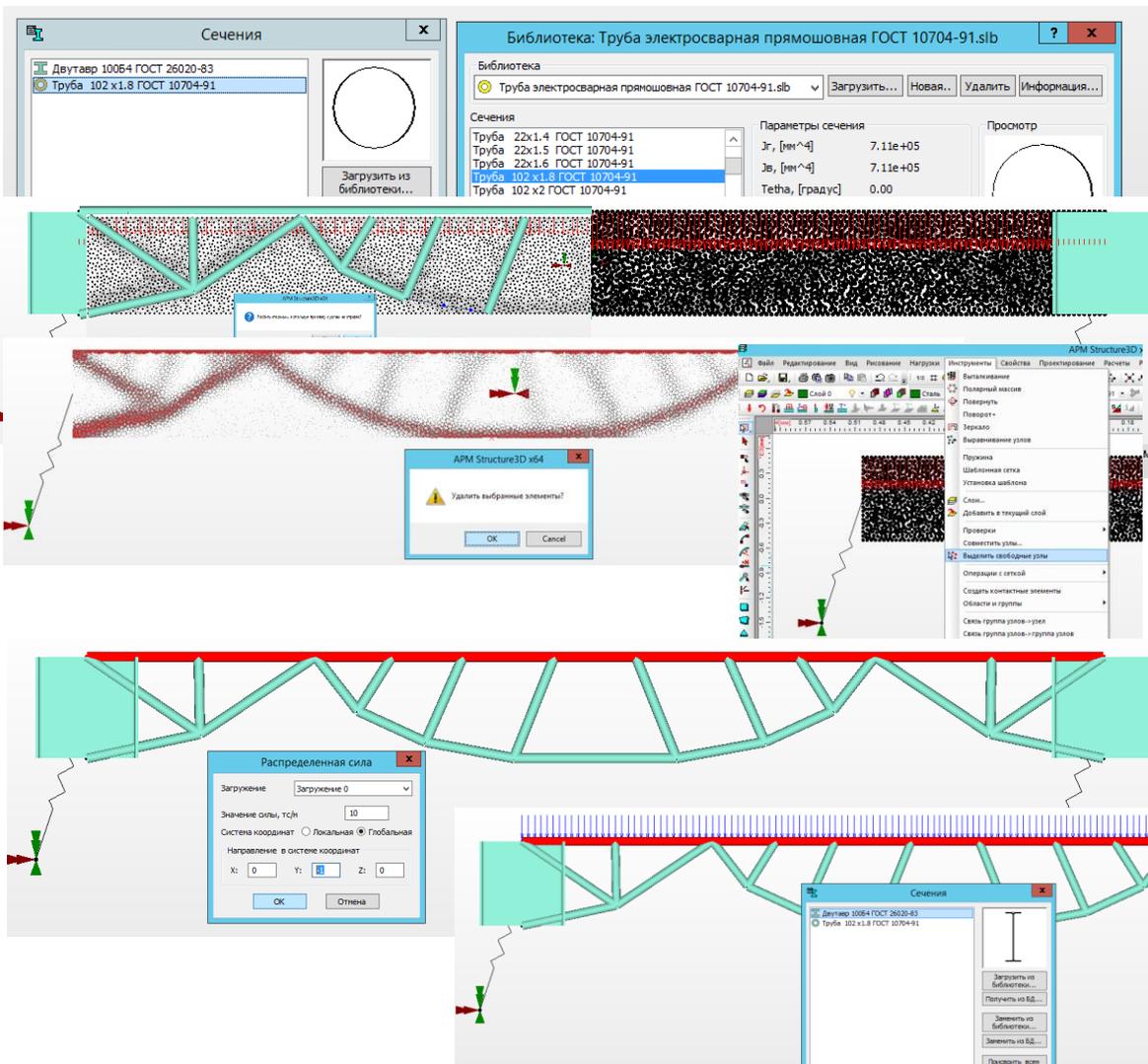


- в качестве пространства проектирования выбираем оболочечные КЭ, кроме тех, к узлам которых приложена нагрузка (путем задания объемной доли)
- целевая функция – масса, ограничения: напряжения ≤ 190 МПа, мин. толщина 200 мм (4 габарита КЭ)
- в результате расчета получаем эскиз оптимальной геометрии фермы



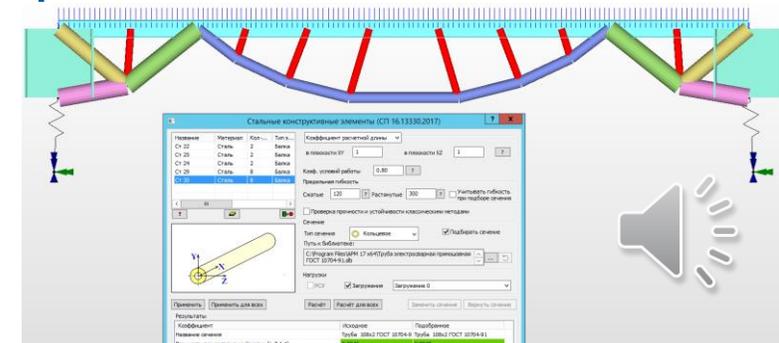
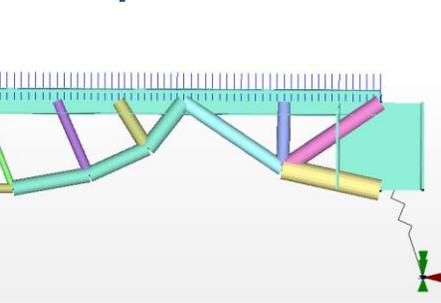
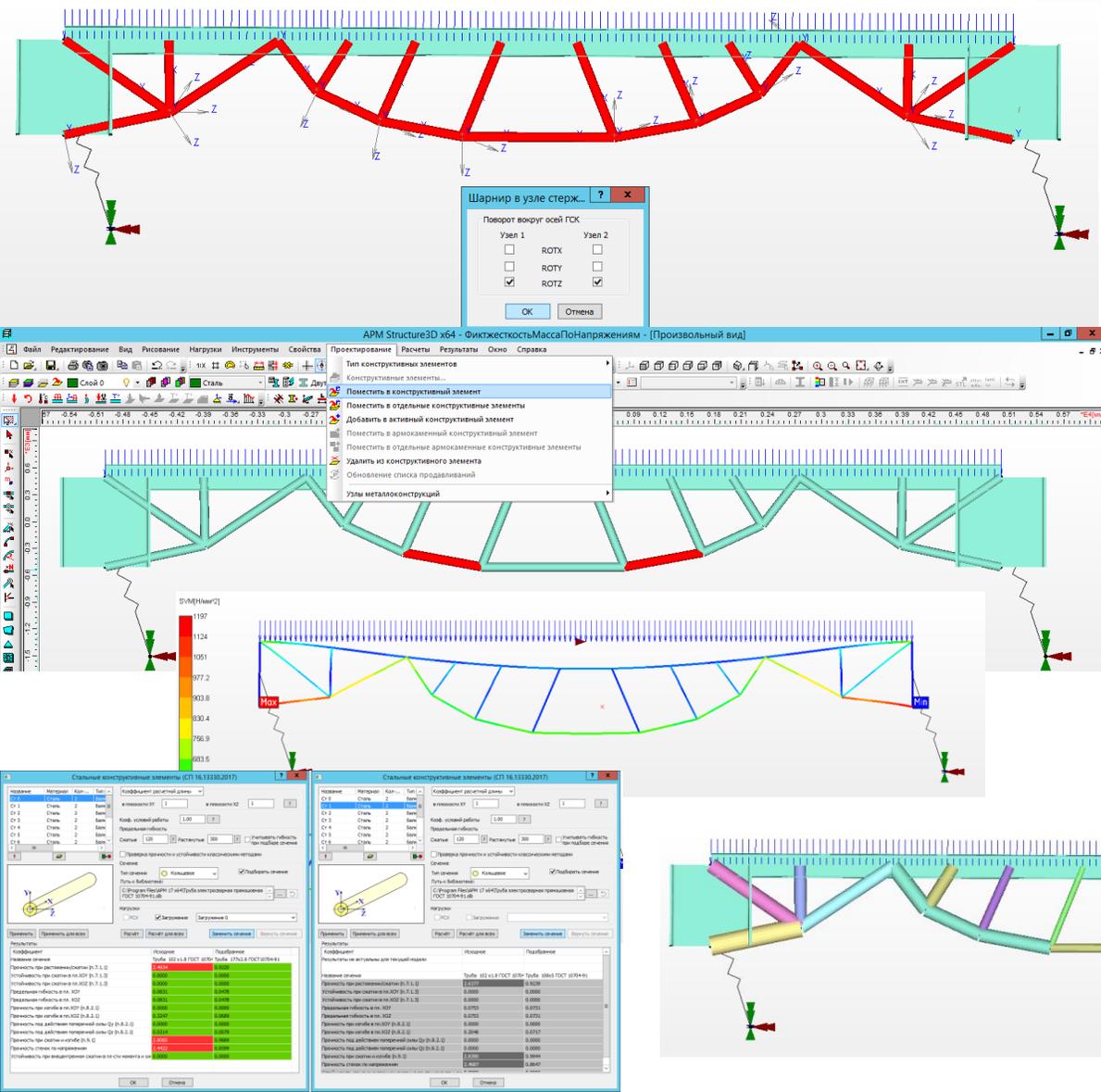
Постобработка результатов Топологической Оптимизации.

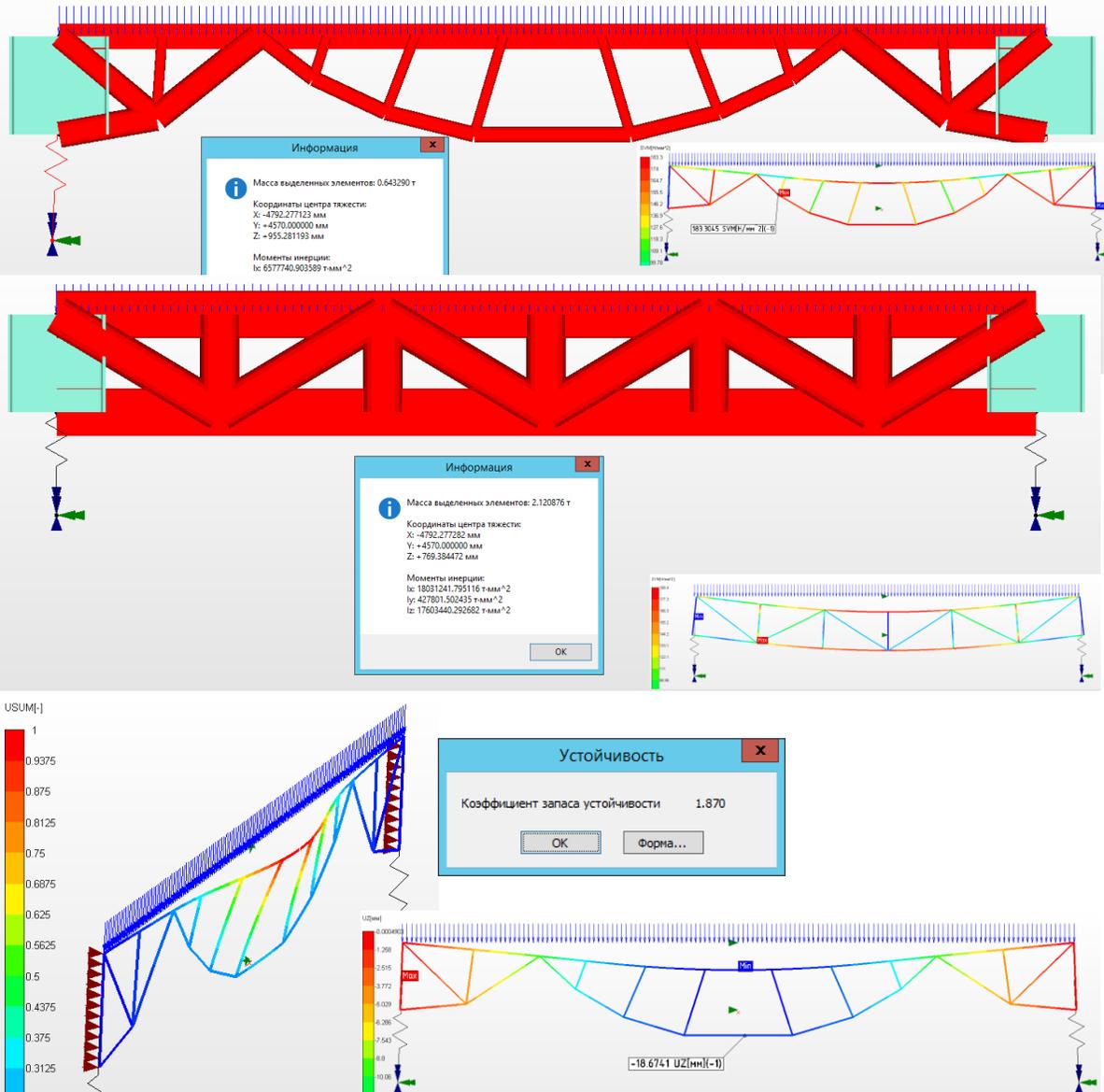
- выбираем базовое сечение (труба электросварная прямошовная 100x2)
- обрисовываем эскиз стержневыми КЭ, не привязываясь к промежуточным узлам
- если конструкция предполагается симметричной – отзеркаливаем отрисованную половину, совмещаем узлы
- перезадаем распределенную нагрузку



Финишная оптимизация

- задаем шарниры на концах вспомогательных стержней (нижний пояс и раскосы) – разрешаем вращения, соответствующие прогибу фермы
- помещаем симметричные детали в отдельный конструктивный элемент
- проводим лин. статический расчет и подбор сечений конструктивных эл-тов
- группируем схожие сортаменты для сокращения ассортимента





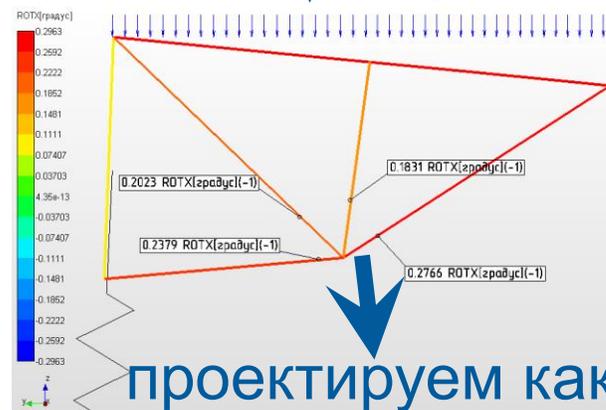
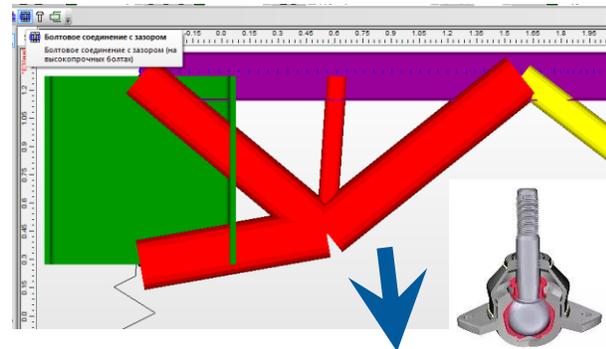
Оценка результатов проектирования

- масса оптимальной конструкции 643 кг, а традиционной 2121 кг – **в ~3 раза**
- напряжения в конструкции 183 МПа обеспечивают требуемый к-т запаса по текучести $235 \text{ МПа} / 183 \text{ МПа} = 1.28 > 1.25$
- запас общей устойчивости $1.87 > 1.3$ – рекомендуемый СП 16.13330.2017
- прогиб $18.7 \text{ мм} / 10000 \text{ мм} = 1/535 < 1/200$ – рекомендуемый СП 16.13330.2017

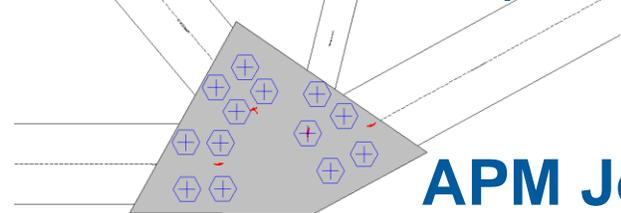


Упругие и шарнирные соединения

Деталь

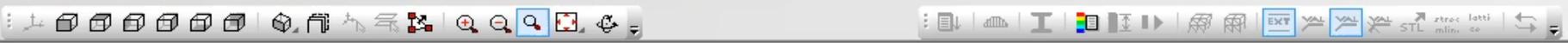


проектируем как
болтовые с зазором



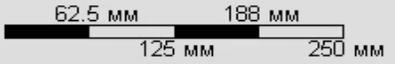
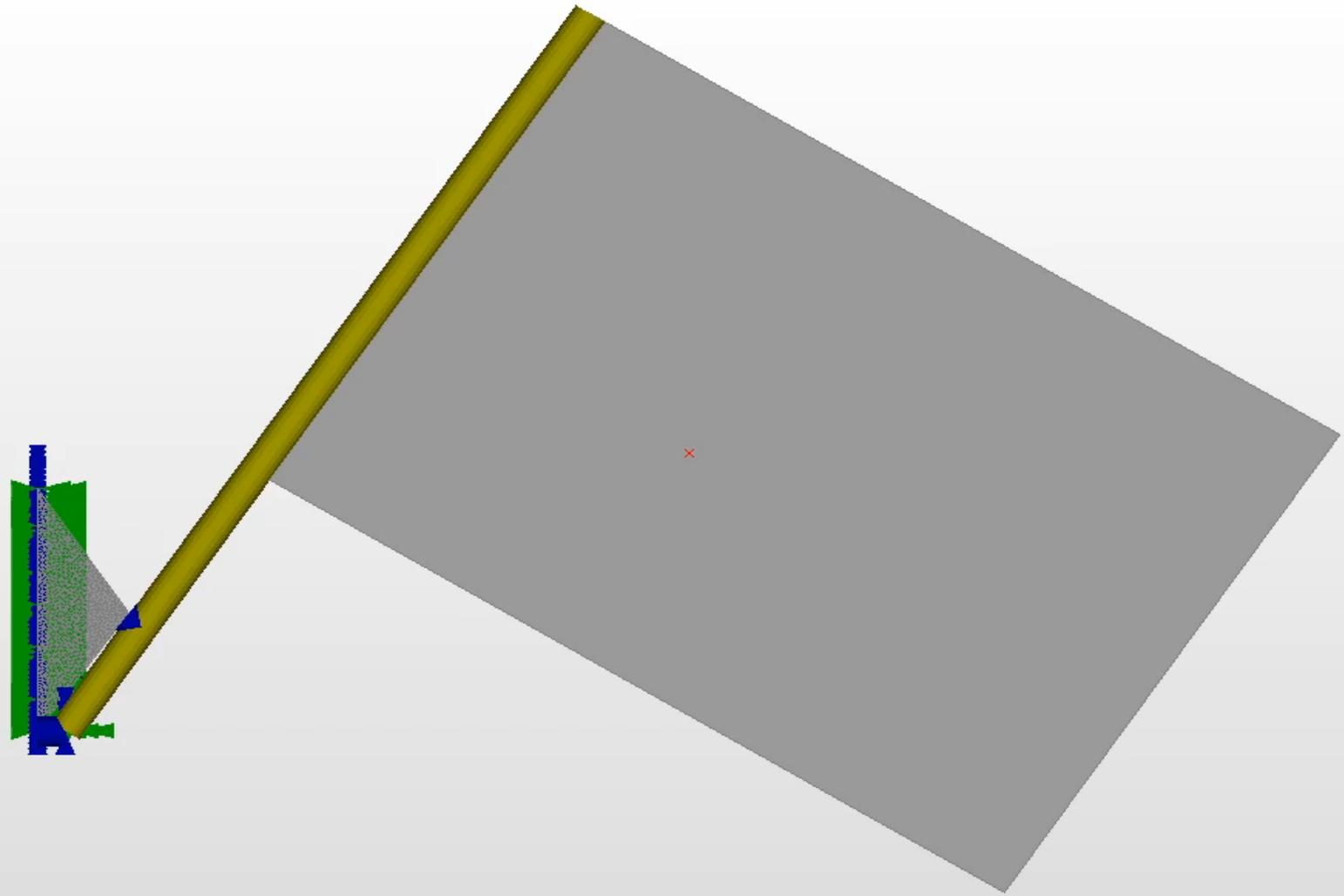
- Параметрическая оптимизация жесткости крепления
- Топологическая оптимизация
- Финишная оптимизация (в разработке)





Карта результатов (Load Case 0)

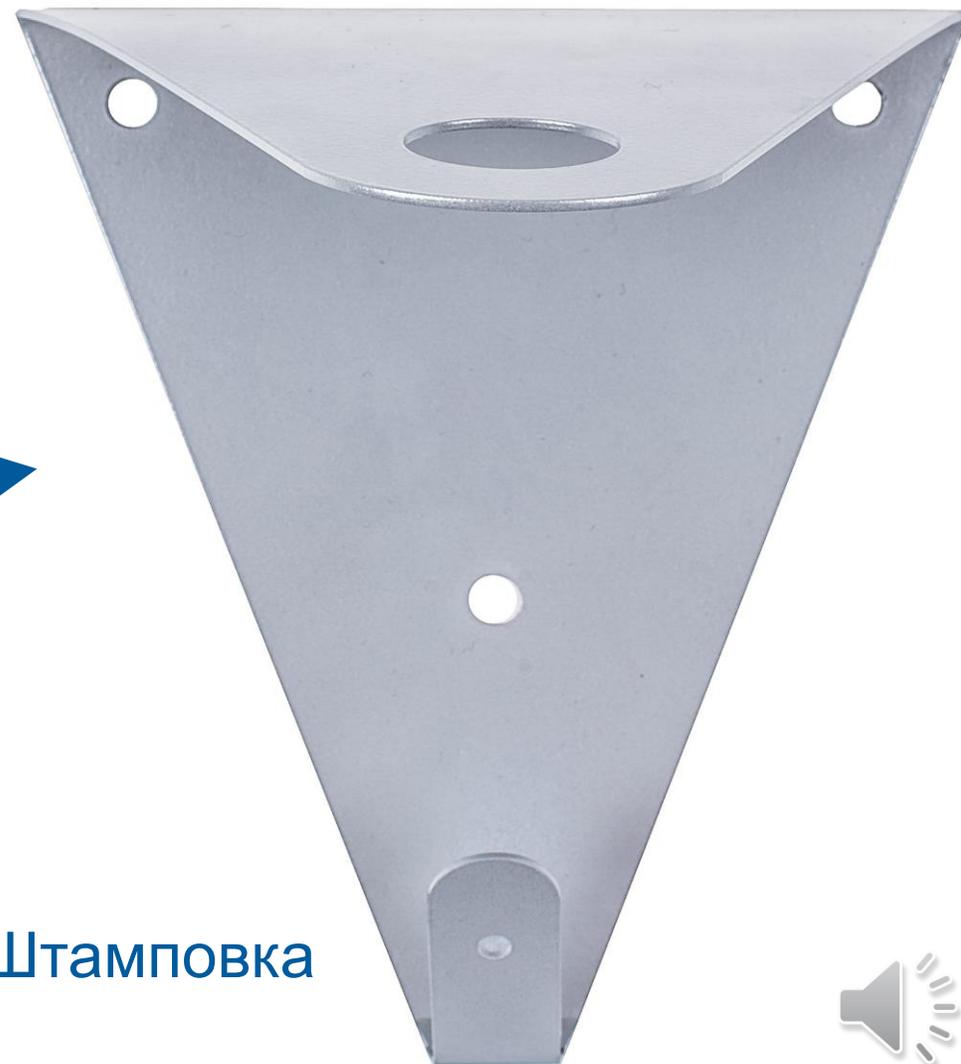
Вид спереди



Оптимальное проектирование



Литьё, экструзия
или резка\сварка



Штамповка

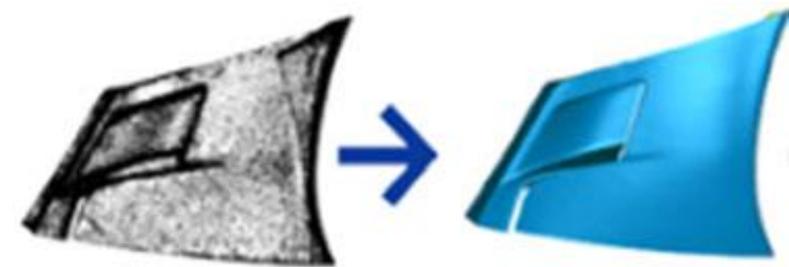




Топологическая оптимизация
 Реверс-инжиниринг
 Локализация производства

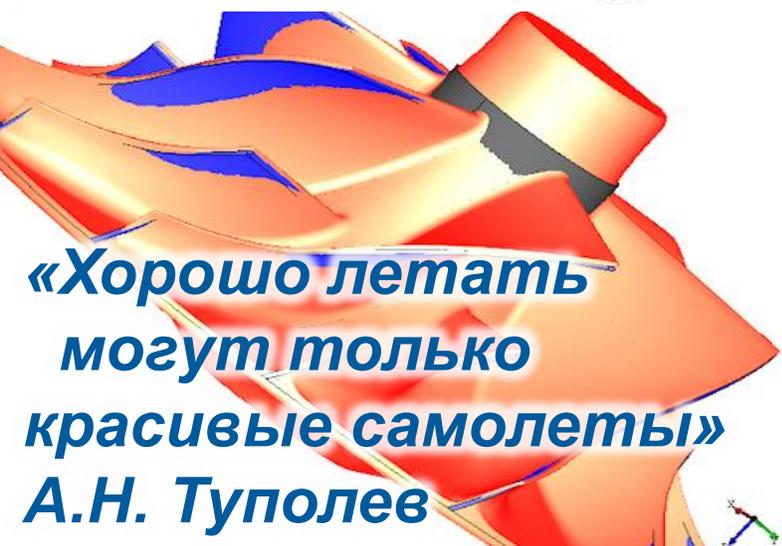
Робастность
 - сохранение функциональности при погрешностях изготовления, износе, повреждениях.

Финишная оптимизация
 (в разработке)



Scan Part

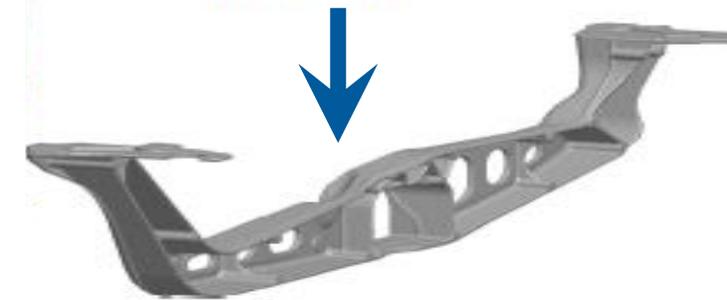
Convert to Polygons



«Хорошо летать могут только красивые самолеты»
 А.Н. Туполев



result of topology optimization



design

???

fine optimization





Технология **Оптимального Проектирования** позволяет не только создать **наилучшую конструкцию**, но и обеспечивает конкурентное преимущество за счет **снижения затрат** на проектирование (временных, на изготовление опытных образцов), **себестоимости** изготовления (в т.ч. за счет использования стандартных типоразмеров сортамента и т.д.) и эксплуатации конструкции.

Делай с нами, делай, как мы, делай лучше нас!

Спасибо
за внимание!

Компания НТЦ «АПМ»
(научно-технический центр)
Московская область, г. Королев
Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6
Тел.: (495) 120-58-10, (495) 514-84-19
Internet: www.apm.ru, www.cae.apm.ru
E-mail: com@apm.ru





АПМ

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ
ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
И СТРОИТЕЛЬСТВА