



АПМ

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ
ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
И СТРОИТЕЛЬСТВА





Российские САЕ-системы на службе промышленности²⁰²⁰

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРМ – 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.



Процесс оптимального проектирования

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



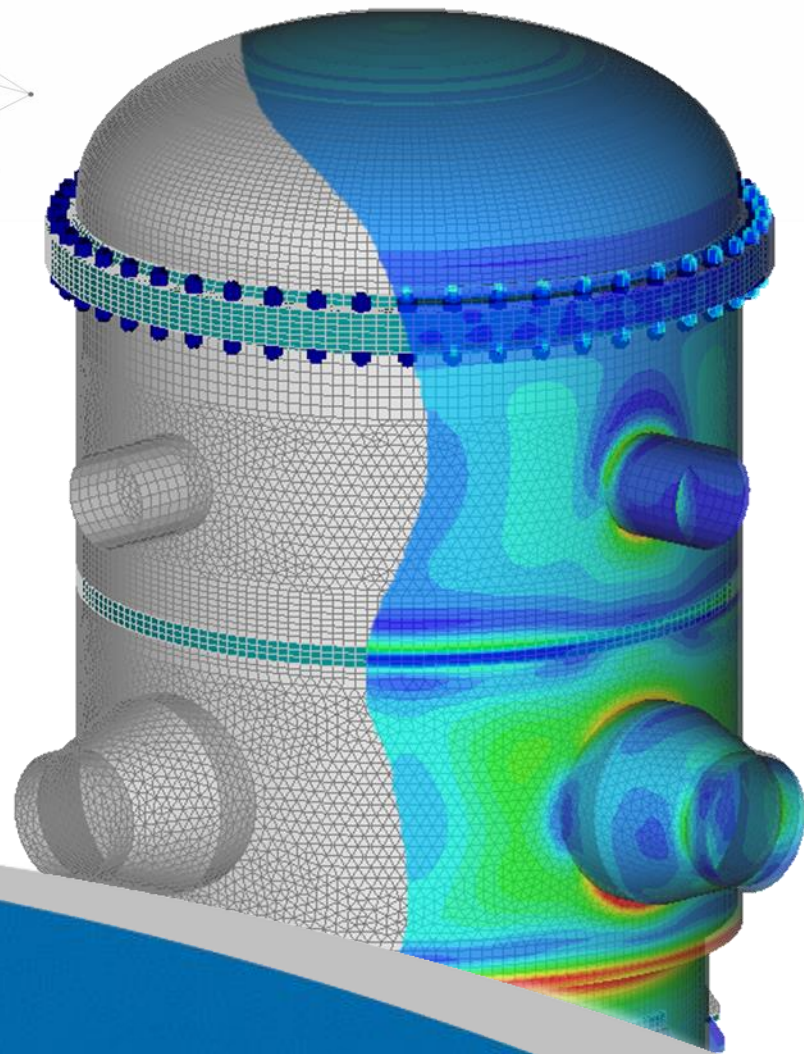
Формирование геометрии детали.
Финишная оптимизация геометрии.
Проектирование соединений.

APM Structure3D
Компас-3D
APM Joint



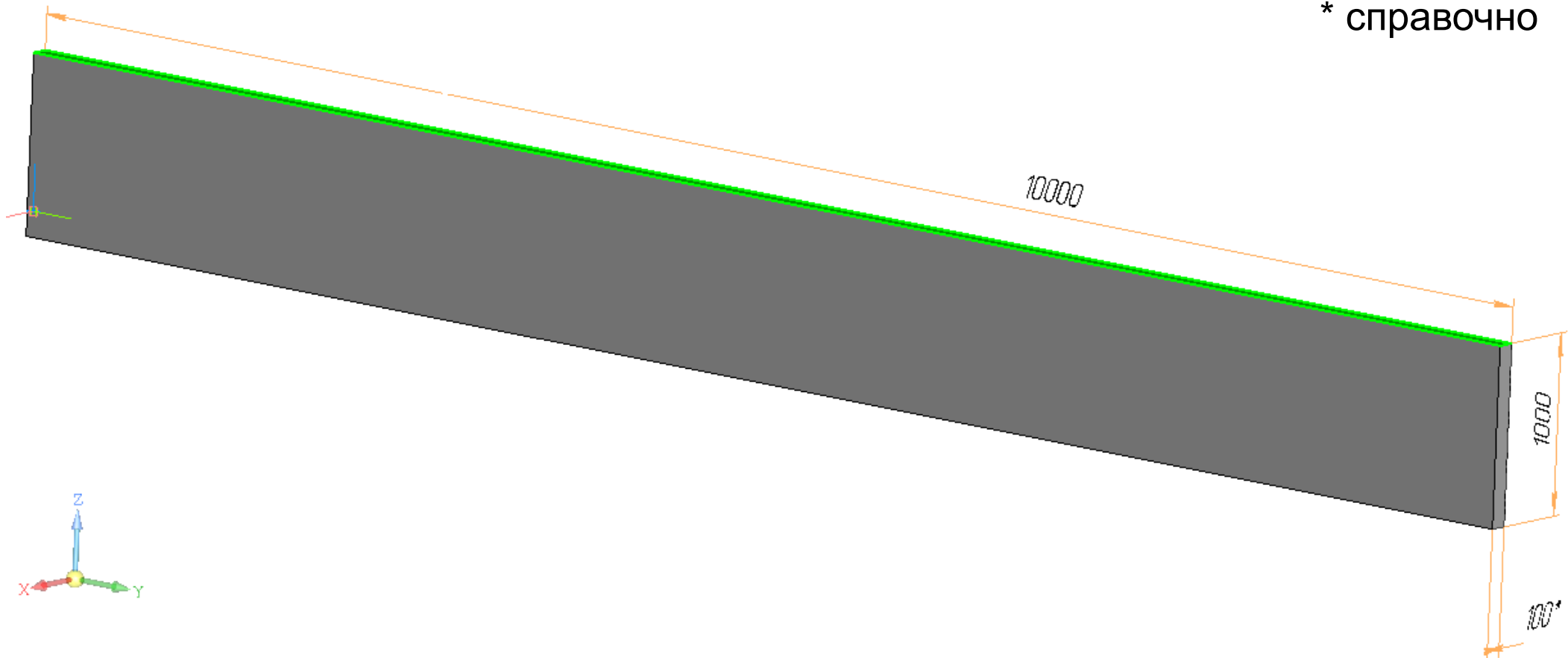


ПРИМЕРЫ



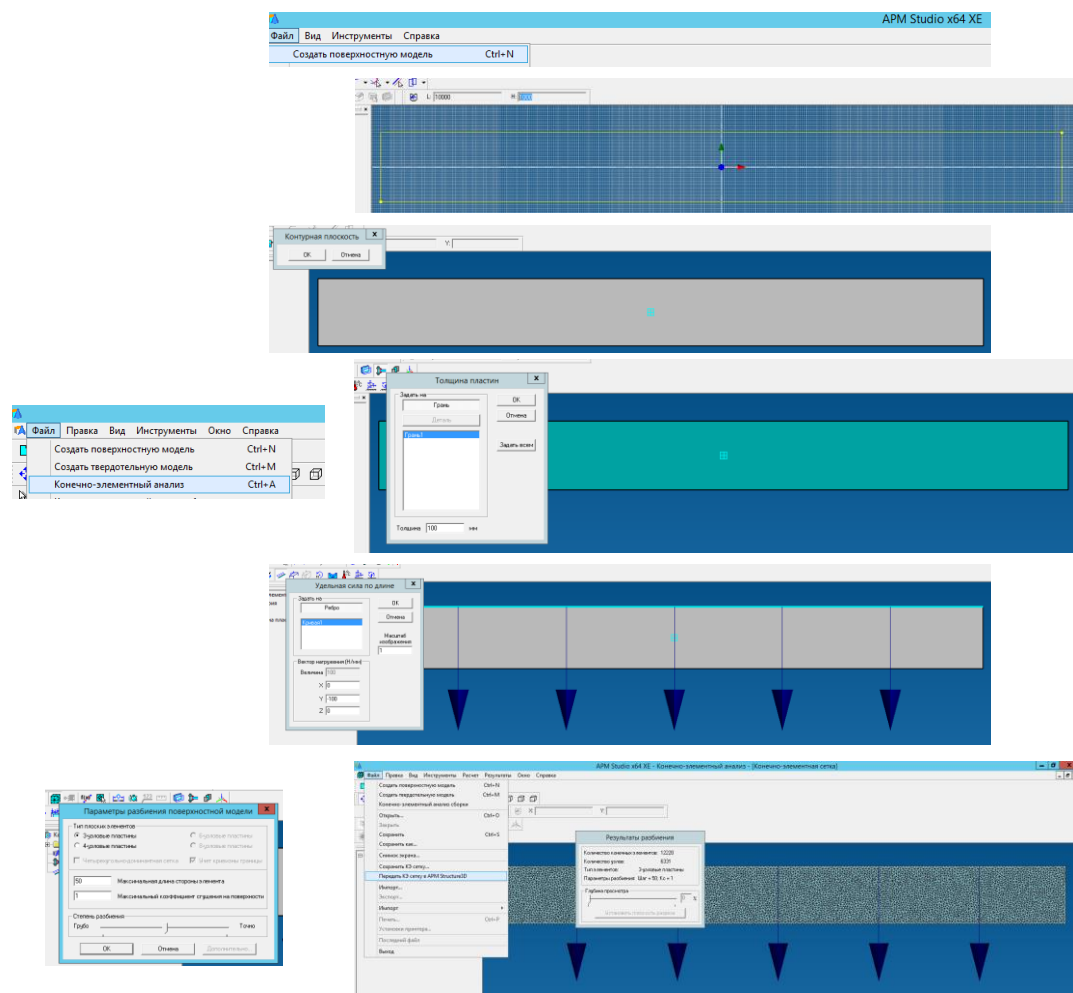
Изготовить стальную (Ст235) ферму габаритами 10000x1000x100*мм минимальной массы, выдерживающую равномерно распределенную нагрузку 100тс на верхний пояс с коэффициентами запаса 1.25 по текучести и 1.3 по устойчивости. Опираение по краям.

* справочно



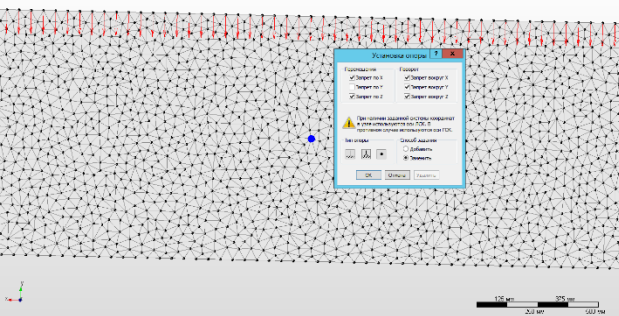
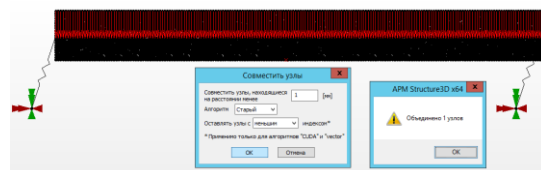
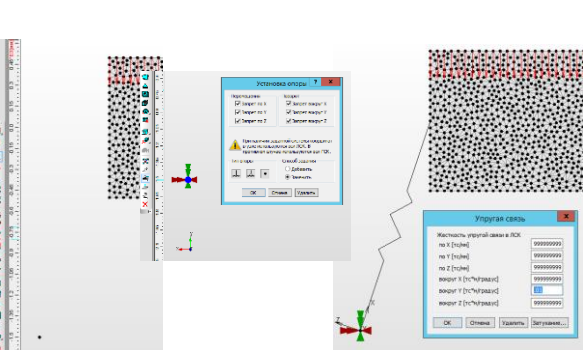
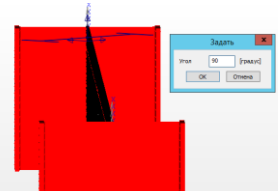
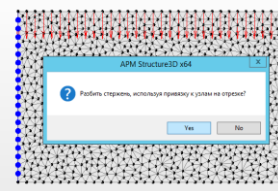
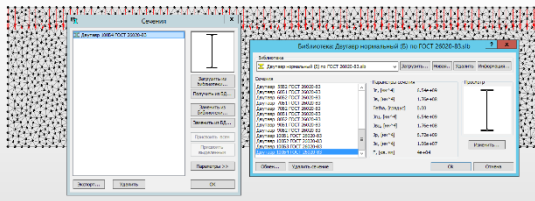
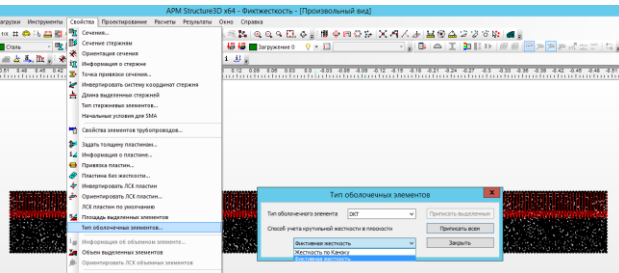
Формирование геометрии заготовки по габаритно-присоединительным размерам. Задание закреплений, соединений и нагрузок. Генерация КЭ сетки.

- 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

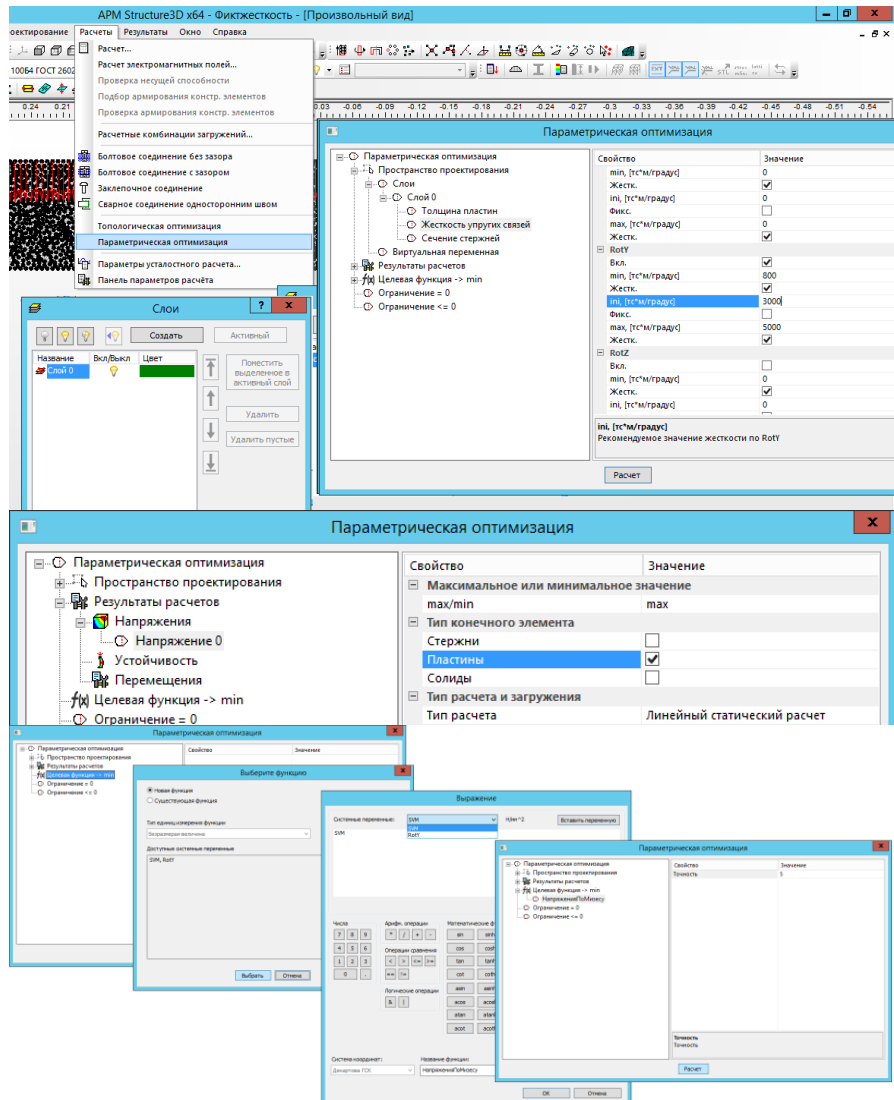


Задание закреплений, соединений.

- задаем оболочечным элементам фиктивную жесткость
- выбираем сечение максимальной изгибной жесткости, «прошиваем» им торцы пластины, правильно ориентируя сечение
- создаем заделанный узел вблизи торца пластины, упругую связь между ним и серединой торца, задавая большими все параметры, кроме торсионной жесткости от прогиба пластины
- копируем упругую связь в другой торец, совмещаем узлы
- закрепляем узел в центре пластины от продольного перемещения



Настройка параметрической оптимизации торсионной жесткости соединений (закреплений).

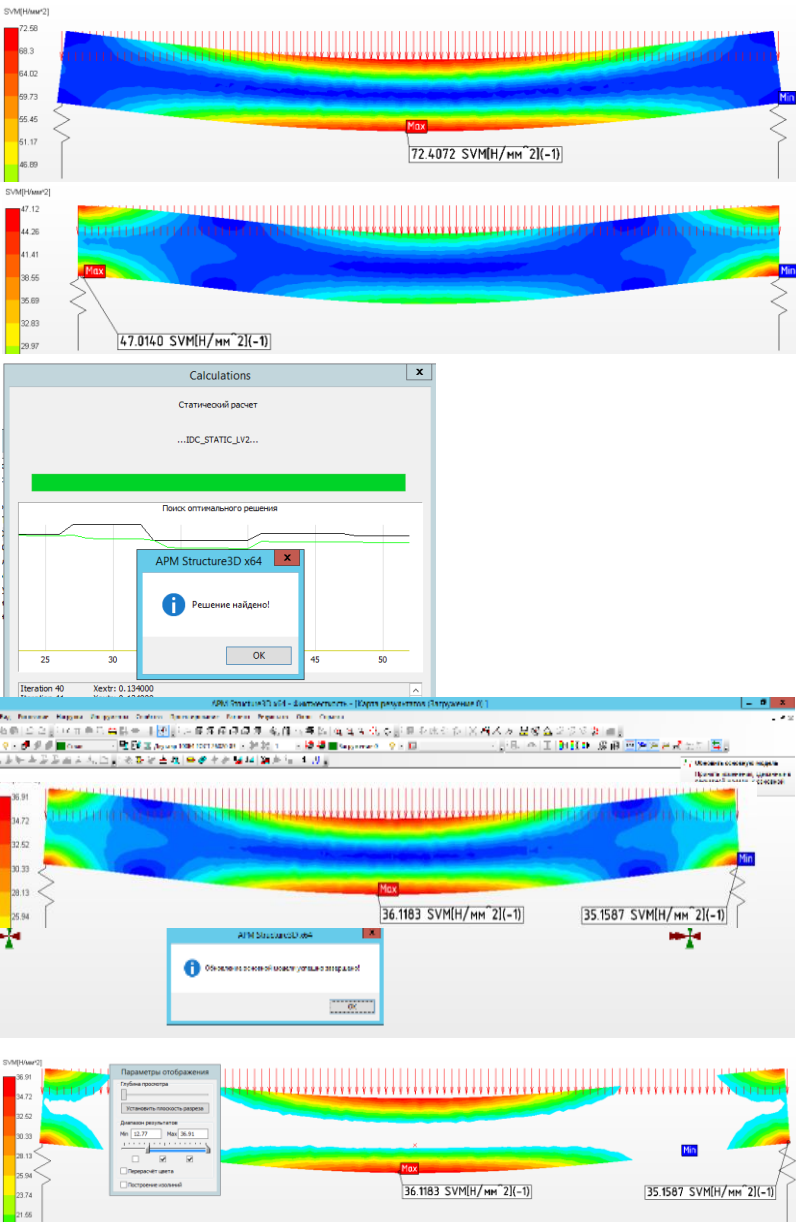


- открываем окно настроек
- в качестве пространства проектирования выбираем слой, содержащий упругие связи, варьируемым параметром – торсионную жесткость упругой связи(в ЛСК), препятствующую повороту торцов при прогибе фермы
- результатами расчета – эквивалентное напряжение по Мизесу (SVM) в пластинах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



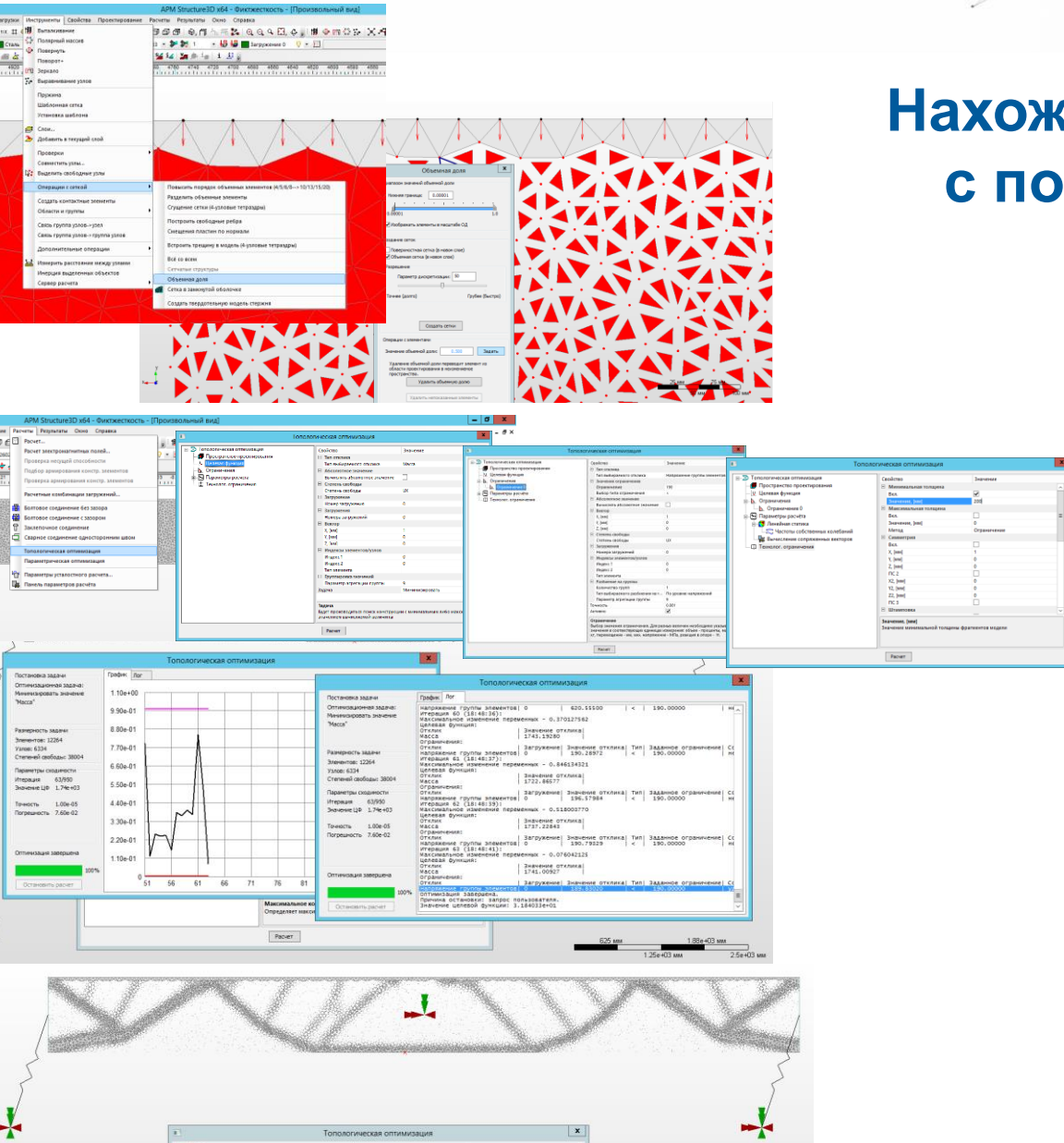
Влияние жесткости закреплений и ее оптимизация.

- 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

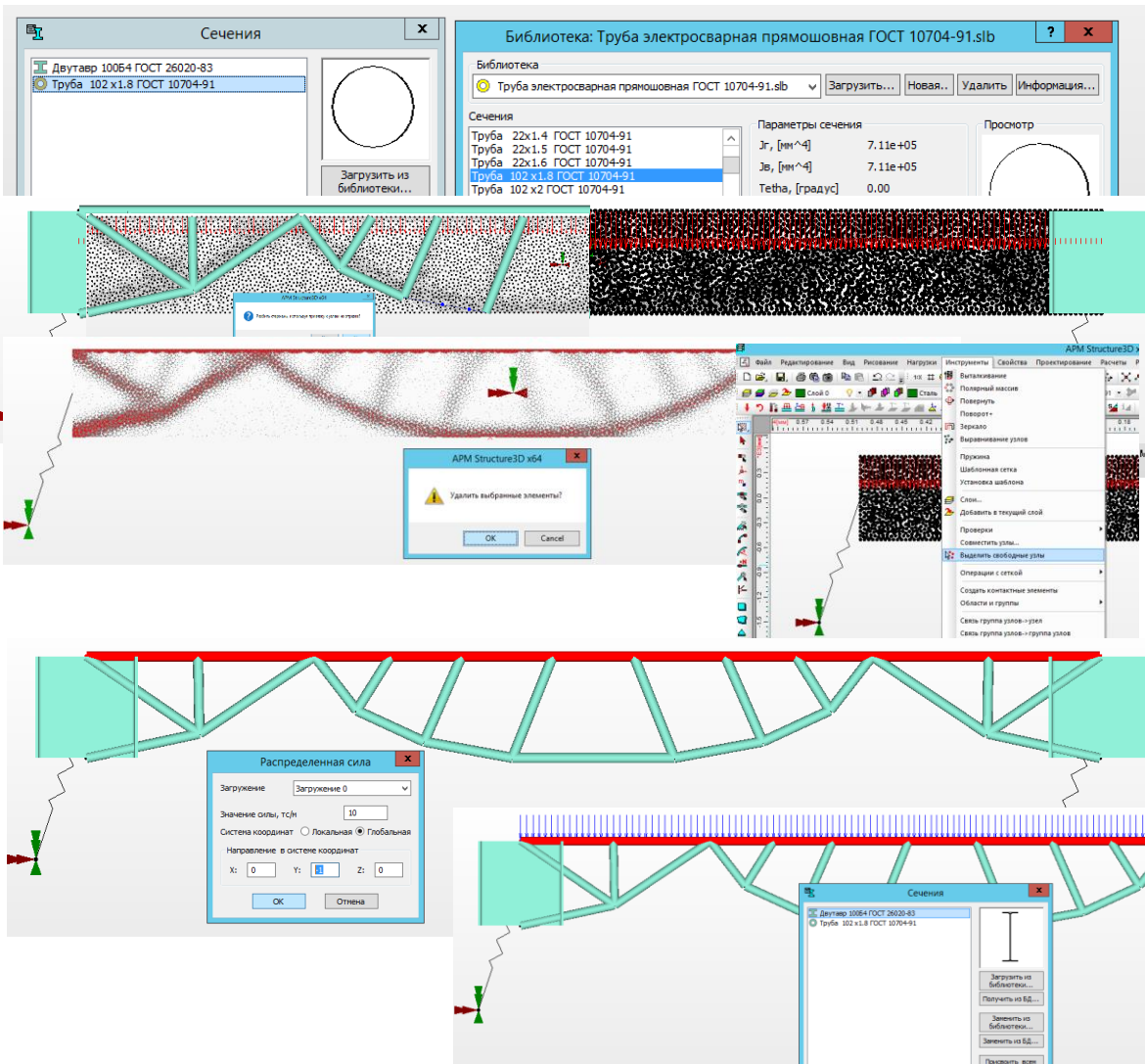


Нахождение оптимальной геометрии изделия с помощью Топологической Оптимизации.

- 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.

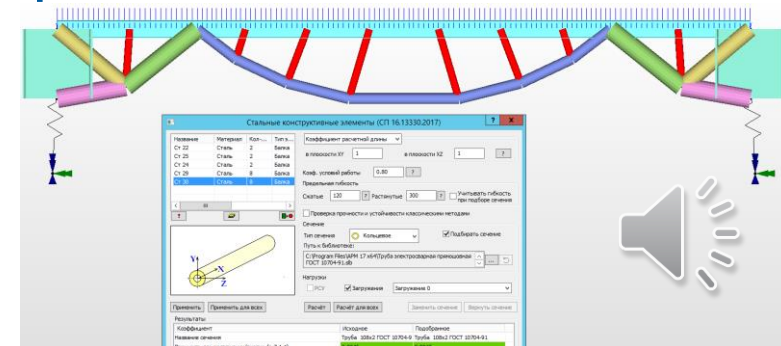
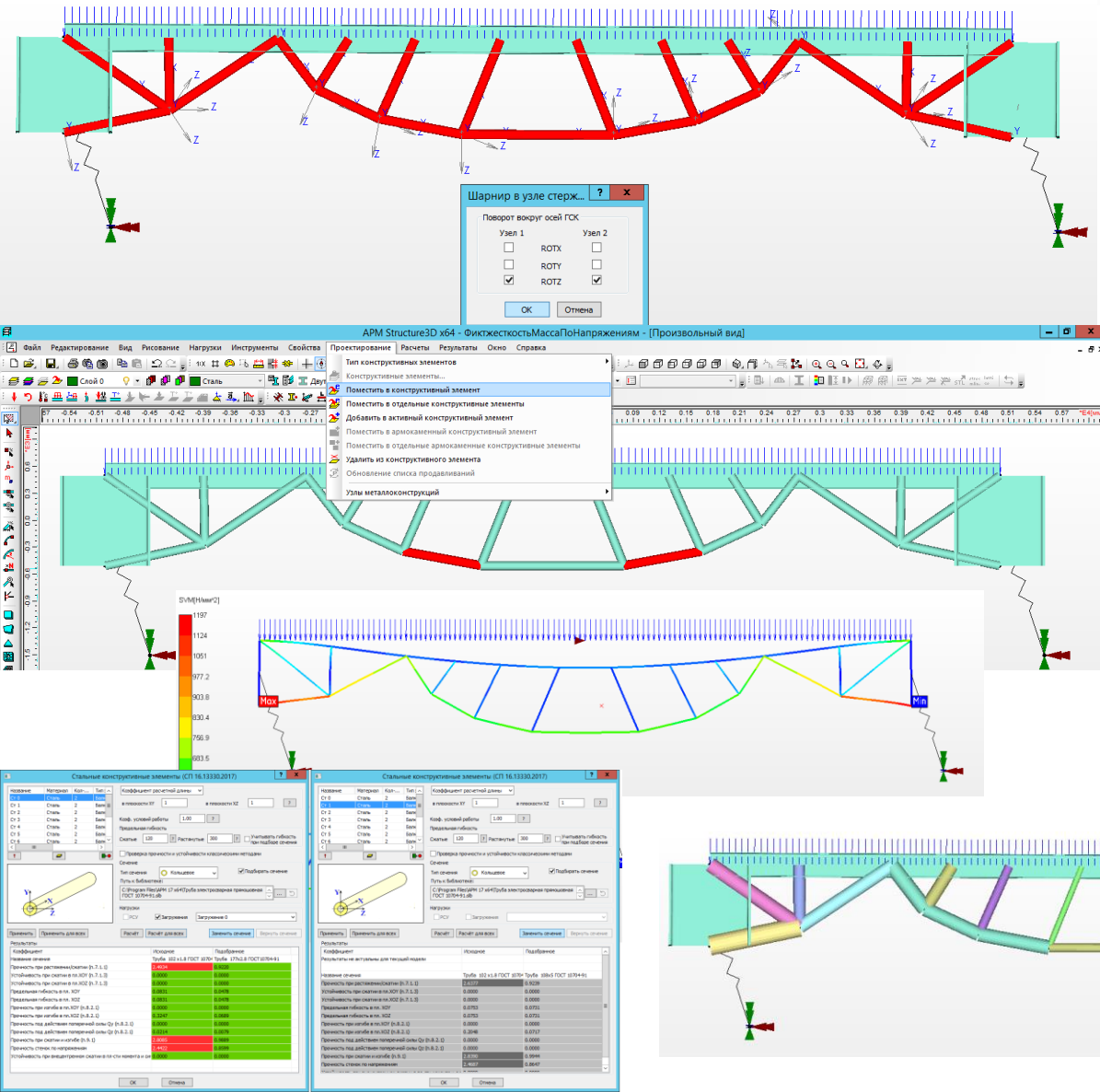


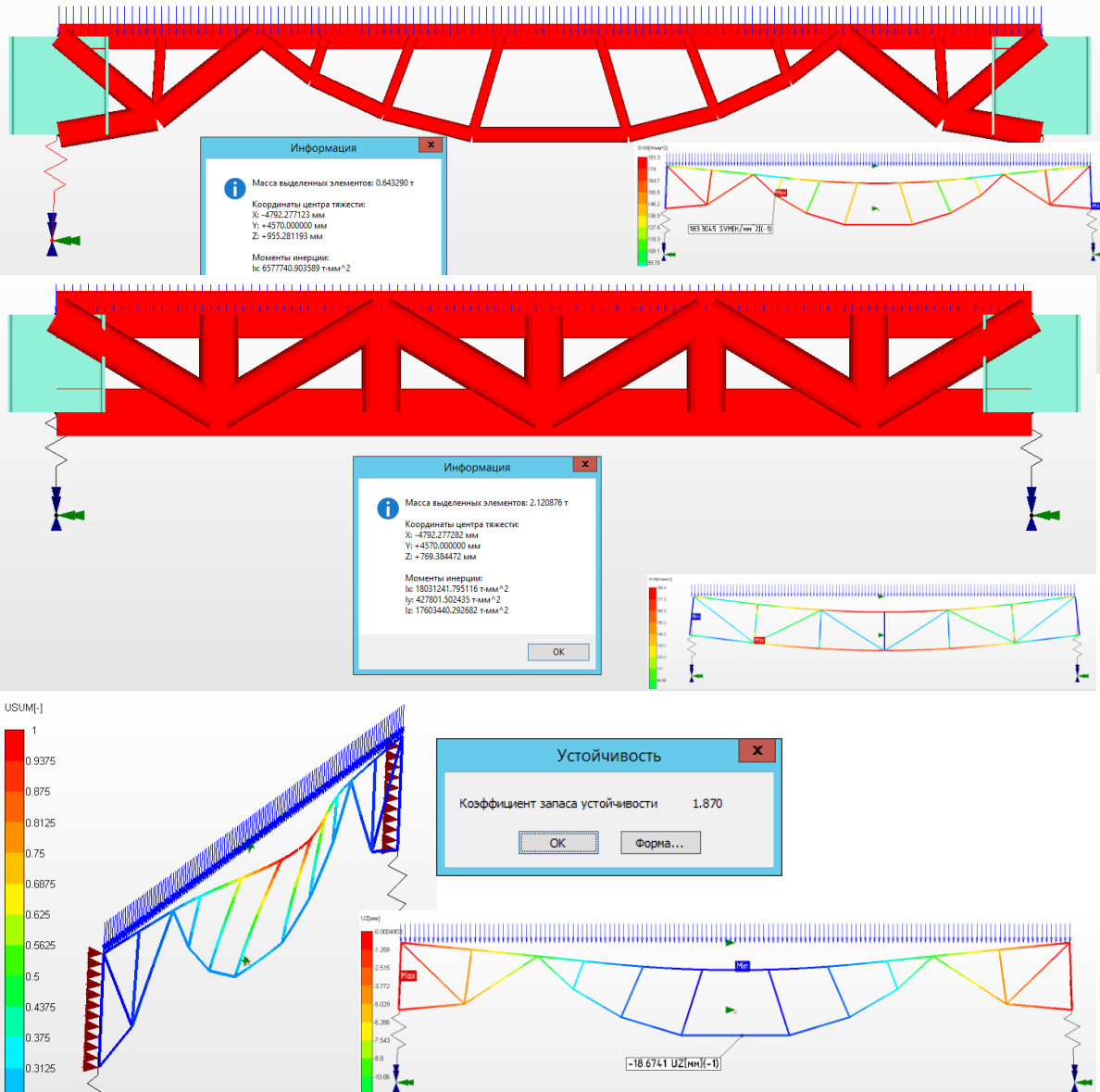
- выбираем базовое сечение (труба электросварная прямошовная 100x2)
- обрисовываем эскиз стержневыми КЭ, не привязываясь к промежуточным узлам
- если конструкция предполагается симметричной – отзеркаливаем отрисованную половину, совмещаем узлы
- перезадаем распределенную нагрузку



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





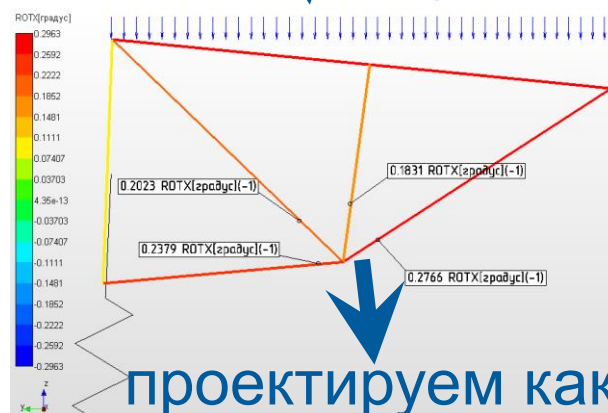
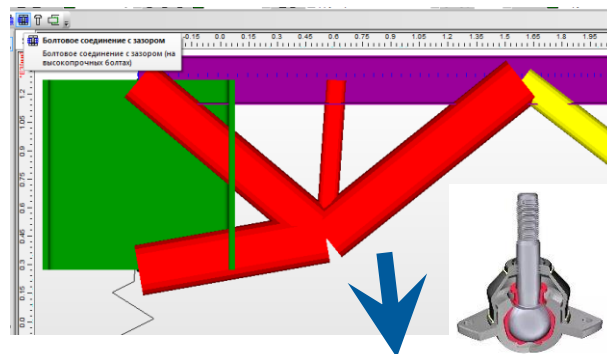
Оценка результатов проектирования

- 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

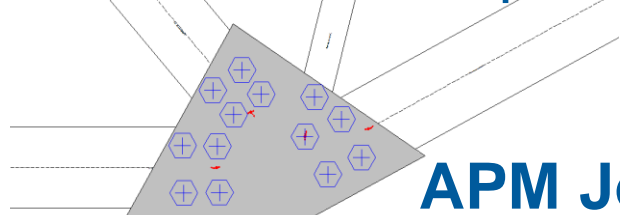


Упругие и шарнирные соединения

Деталь



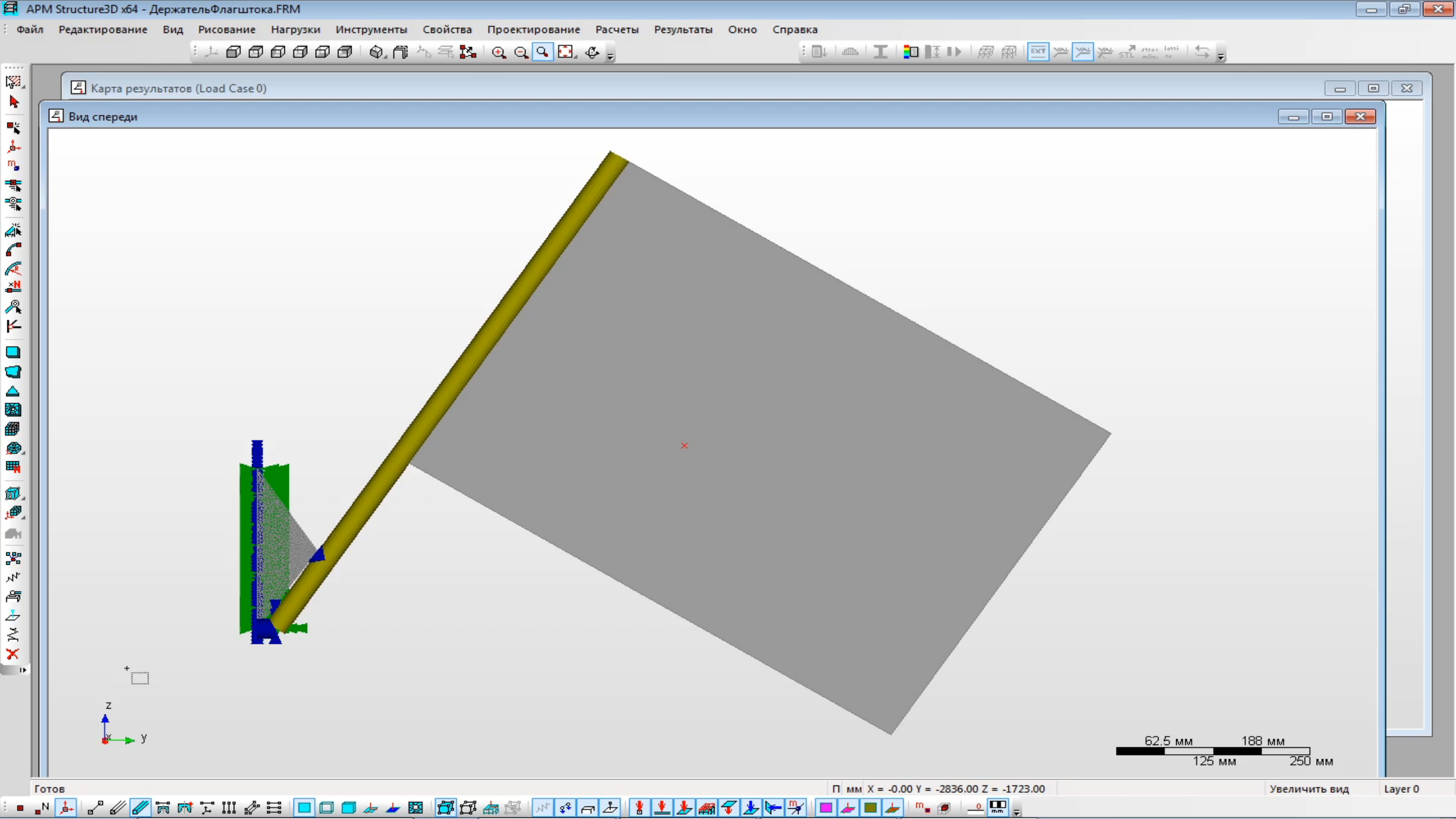
проектируем как
болтовые с зазором



APM Joint

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

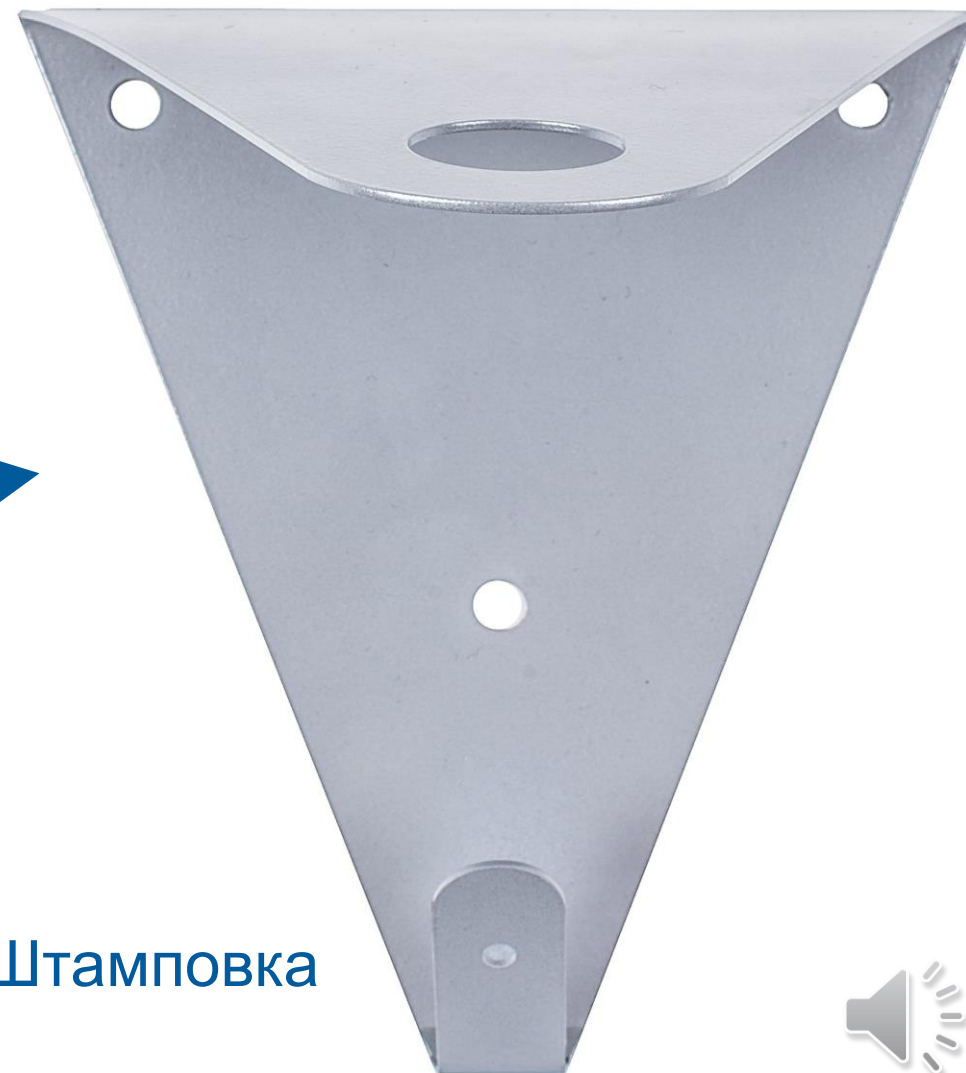




Оптимальное проектирование



Литьё, экструзия
или резка\сварка

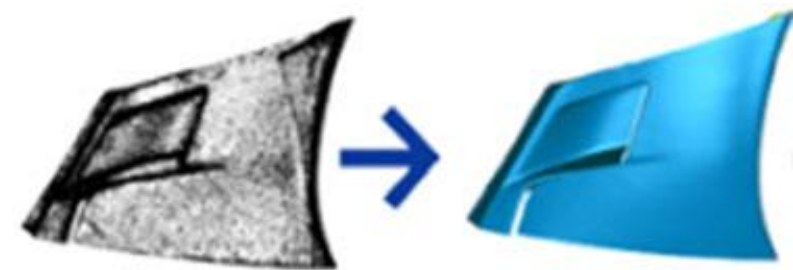


Штамповка





Топологическая оптимизация
Реверс-инжиниринг
Локализация производства



Scan Part

Convert to Polygons

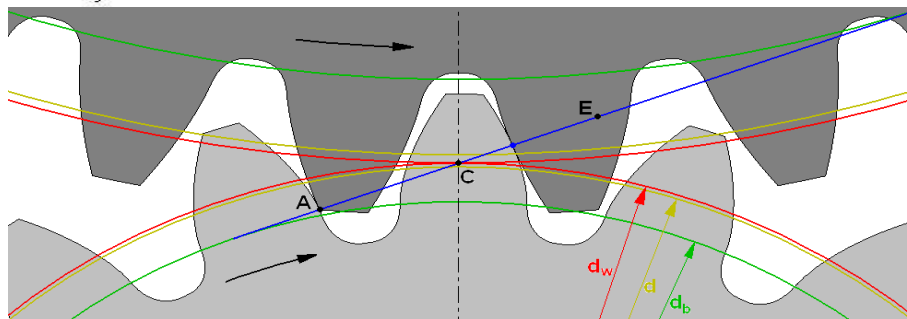


«Хорошо летать
могут только
красивые самолеты»
А.Н. Туполев

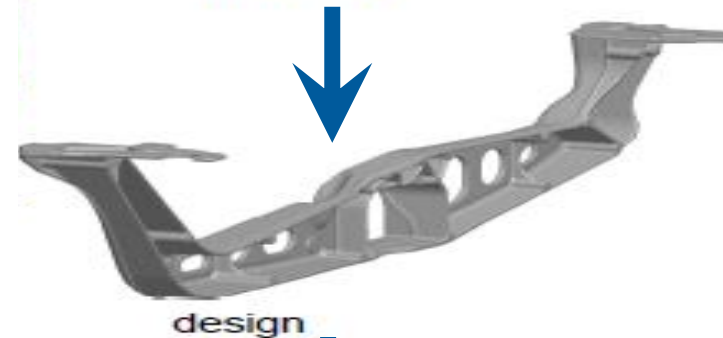
Робастность
- сохранение
функциональности при
погрешностях изготовления,
износе, повреждениях.



при выпуске предкрылка энергия пограничного
слоя увеличилась и обтекание восстановилось



Финишная оптимизация
(в разработке)



???

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