



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва»

Кафедра конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Основы топологической оптимизации конструкций
в Ansys WorkBench**

Самара 2026

В настоящее время существует два пути при создании новой конструкции: параметрическая и топологическая оптимизация. В первом случае конструктор полностью контролирует параметр или набор параметров, которые определяют форму модели. То есть, конструктор самостоятельно решает какие параметры, определяющие форму модели необходимо изменять в процессе проектирования, чтобы добиться результатов, удовлетворяющих техническому заданию (рис. 1).



Рисунок 1 – Параметрическая оптимизация конструкции

Во время топологической оптимизации, форма модели полностью передаётся оптимизирующему алгоритму, что позволяет добиться необычных результатов, не похожих на классический дизайн. Другими словами, топологическая оптимизация – нахождение наивыгоднейшего (например, с точки зрения минимума массы) распределения материала в силовых конструкциях (рис. 2).



Рисунок 2 – Топологическая оптимизации конструкции

Задание. Выполните топологическую оптимизацию стальной детали, показанной на рис. 3, уменьшив её массу на 40-45% с сохранением материала и требуемых прочностных характеристик.

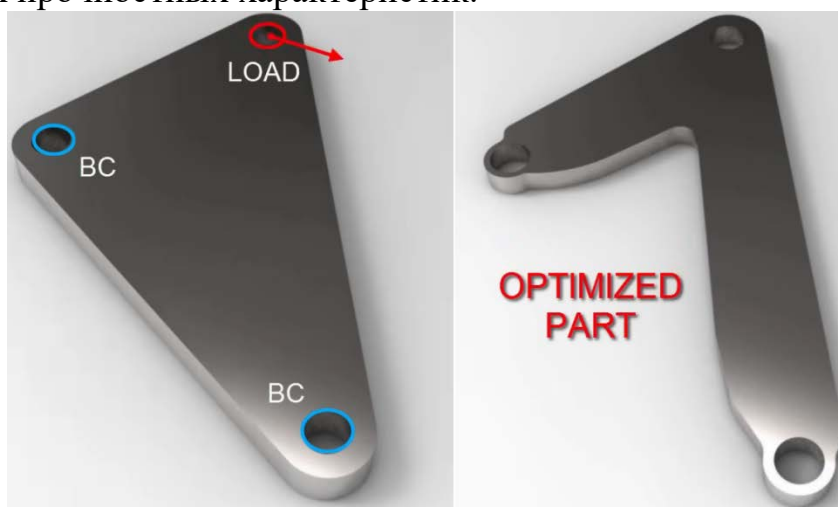


Рисунок 3 – Расчётная схема и вариант топологически оптимизированной детали

В схеме проекта создайте бокс задачи «Static Structural».

Убедитесь, что в библиотеке проекта присутствует материал детали «Structural Steel».

Для создания геометрии детали через ПКМ в боксе задачи запустите модуль «Space Claim».

Здесь на плоскости XY (вид сверху) из начала координат вверх инструментом «Линия» создайте прямую длиной 30 мм. Затем продолжите линию горизонтально вправо, введя 20 мм. Завершите построение контура, соединив с началом координат. Нажмите Esc.

С помощью инструмента «Вытягивание» скруглите по очереди внешние углы детали, щёлкая по их вершинам, и вводя радиус 2 мм. Далее вернитесь в режим Эскиза и с помощью инструмента «Окружность», используя точки привязки сетки, создайте три отверстия радиусом 2 мм (см. рис. 4).

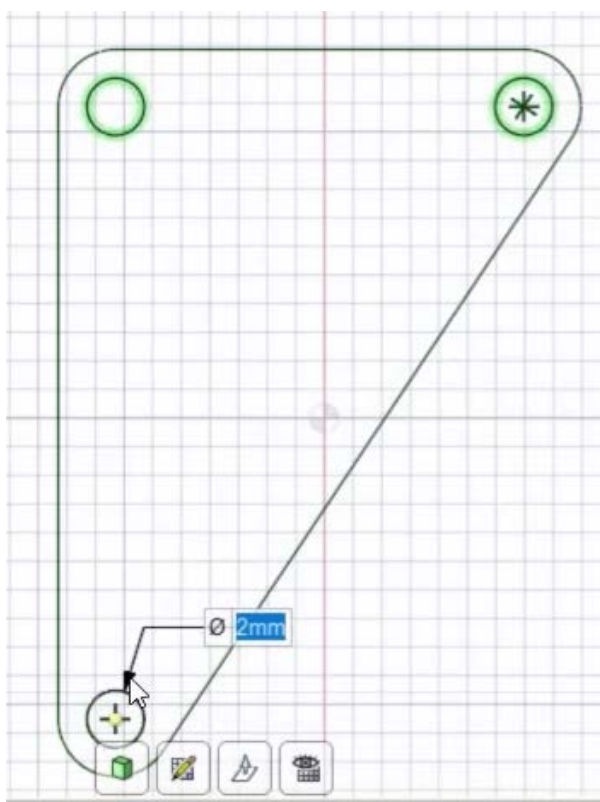


Рисунок 4 – Разметка отверстий на детали

Инструментом «Вытягивание» придайте детали толщину 2 мм.

В дереве модели через ПКМ командой «Suppress for Physics» погасите исходную плоскость детали, оставив активным только твёрдое тело. Закройте модуль «Space Claim», перейдите в схему проекта и откройте модуль «Mechanical».

Здесь убедитесь, что импортировалась только твердотельная геометрия детали. Далее сгенерируйте произвольную сетку. Убедившись в недостаточной точности сетки в областях приложения ГУ, в разделе *Mesh > Sizing > Size Function* измените тип сетки с «Adaptive» на «Proximity and Curvature». Повторно сгенерируйте сетку.

Согласно расчётной схеме (рис. 3) приложите к отверстиям детали ГУ типа «Cylindrical Support», обеспечив в их свойствах возможность тангенциального перемещения. Далее добавьте нагрузку в виде «Bearing Load» в соотношении $X=50\text{ Н}$, $Z=100\text{ Н}$.

Выберите для анализа эквивалентные напряжения и коэффициент запаса прочности. Запустите расчёт.

Проанализируйте поля максимальных и минимальных напряжений на поверхности детали. Области, закрашенные синим цветом, почти не подвержены напряжениям, поэтому их можно безопасно удалить, тем самым снизив массу детали без потери запаса прочности. Закройте модуль «Mechanical» и перейдите в схему проекта.

Здесь в меню задач найдите «Topology Optimization» и перетащите её на ячейку A6 бокса «Static Structural». Это позволит использовать для задачи оптимизации только что проведённый расчёт на статическую прочность. С помощью ячейки B5 запустите модуль «Mechanical».

Здесь в разделе B5 дерева проекта проверьте свойства топологического анализа: максимальное число шагов итерации = 500, точность сходимости = 0,1%. Далее в разделе «Optimization Region» убедитесь, что для оптимизации выбрано всё тело детали, а исключёнными областями являются зоны ГУ. В разделе задания целевой функции «Objective» оставьте значения по умолчанию. В разделе «Response Constraint» вы можете выбрать, по какому именно критерию проводить топологическую оптимизацию. В данном случае, необходимо выбрать «Mass». Настройте процент сохранения исходной массы детали «Percent to Retain» на уровне 55-60%.

В разделе B6 дерева проекта убедитесь в наличии опции экспорта топологии в виде STL-файла. Запустите расчёт. В процессе расчёта в разделе «Topology Density Tracker» возможно отслеживать изменения псевдоплотности детали в итерациях, а также посмотреть кривые сходимости.

Итогом расчёта является новый вариант геометрии детали (рис. 5).

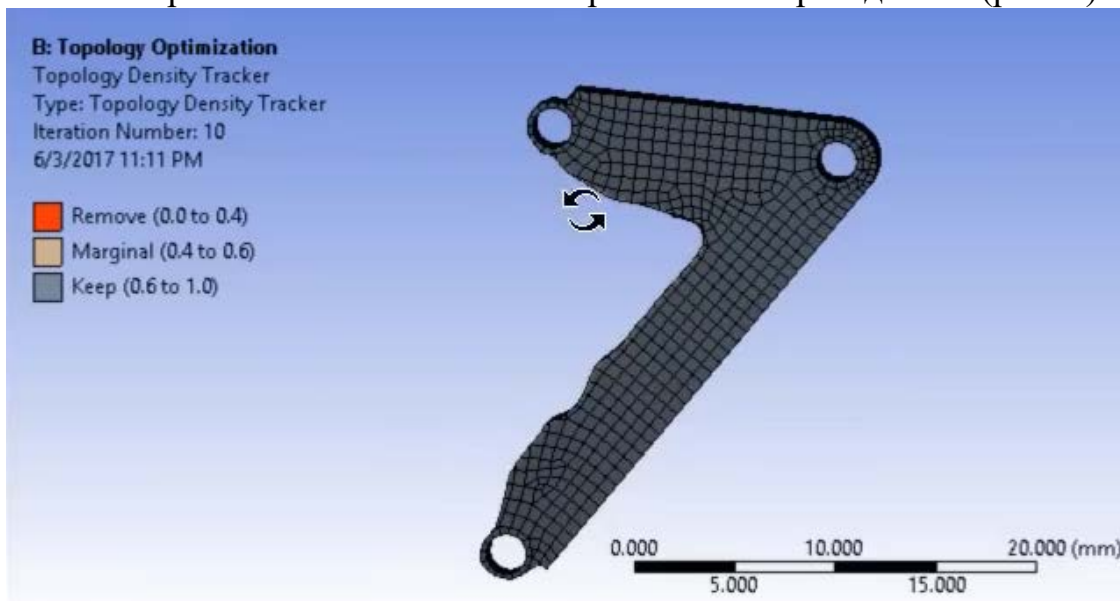


Рисунок 5 – Результат топологической оптимизации

Области со значением псевдоплотности от 0 до 0,4 подлежат безусловному удалению; от 0,4 до 0,6 – на усмотрение проектировщика; от 0,6 до 1 необходимо сохранить. Теперь модуль «Mechanical» можно закрыть и перейти в схему проекта.

Здесь, нажав ПКМ на ячейке B7 выберите «Transfer to Design Validation System...». Это перенесёт результаты топологической оптимизации в бокс нового расчёта на статическую прочность, где они будут являться входными данными для геометрии детали. Нажмите ПКМ на ячейке B7 и выберите «Update». После обновления проведите аналогичные действия с ячейкой C3. После обновления с помощью ячейки C3 откройте модуль «Space Claim».

Вы видите, что теперь импортировались обе части детали: исходная и оптимизированная. Погасите исходную геометрию, оставив только оптимизированную. Несмотря на то, что данную геометрию с помощью *ПКМ > Convert to solid > Merge faces* можно сразу преобразовать в твёрдое тело и использовать в новом статическом анализе, необходимо, по возможности, устранить погрешности кромок детали, т.к. в дальнейшем это может усложнить её изготовление.

Для этого создайте Эскиз, щёлкнув на передней грани детали. ЛКМ рамкой выделите всю область детали. Затем в ленте инструментов нажмите «Копировать» > «Вставить». В результате вы скопируете все кривые детали на поверхность эскиза. При этом в дереве конструирования появится раздел «Кривые». Теперь скройте твердотельную геометрию, убрав соответствующую галочку в дереве конструирования, оставив только «Кривые». Далее необходимо упростить все эти кривые.

Для этого необходимо ЛКМ рамкой выделить всю область детали и в ленте инструментов в разделе «Repair» выбрать «Fit Curves», чтобы попытаться программно подогнать кривые по более оптимальным линиям. Т.к. необходимо исправить касания, то в свойствах операции нужно установить флажок «Correct tangency», оставив параметр «Maximum distance» = 0,1 мм. После этого геометрия кривых на детали упростится. Однако она всё ещё нуждается в доработке.

В ленте инструментов перейдите в раздел «Design» и создайте вспомогательную «Окружность» в области одного из крепёжных отверстий детали. Затем, воспользовавшись инструментом «Trim Away», обрежьте лишние линии (см. рис. 6). Выполните аналогичные действия для второго отверстия (см. рис. 7).

Далее можно удалить лишние радиусные линии, заменив их на прямые (см. рис. 8).

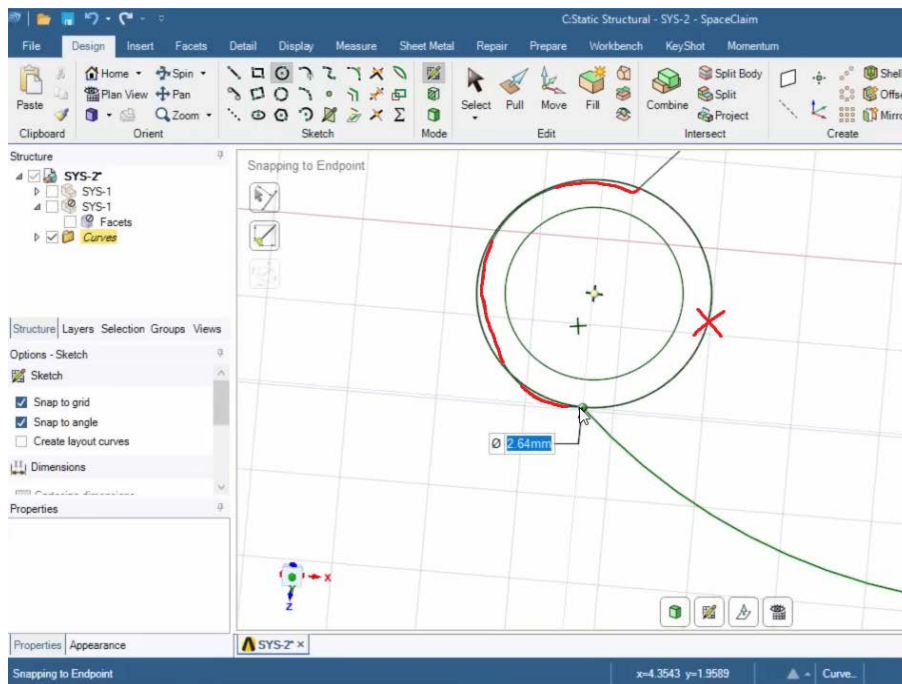


Рисунок 6 – Схема удаления линий в области первого отверстия

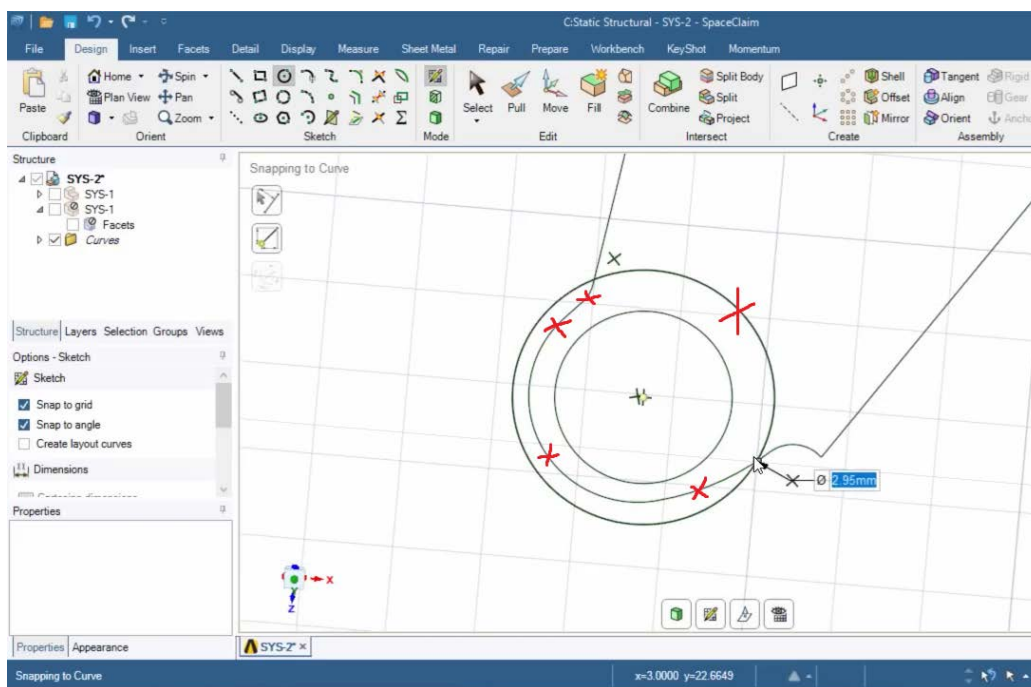


Рисунок 7 – Схема удаления линий в области второго отверстия

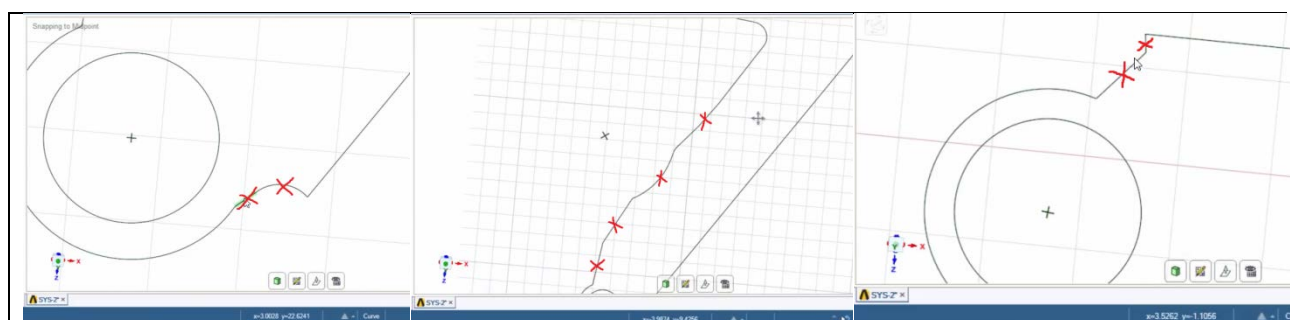


Рисунок 8 – Схема упрощения геометрии детали

Для обеспечения сопряжений между прямыми и снижения концентрации местных напряжений, инструментом "Вытягивание" можно скруглить внешние вершины углов по месту радиусом 0,2...0,5 мм.

Теперь с помощью инструмента "Вытягивание" задайте толщину, равную 2 мм для получившейся детали.

Для обеспечения качественной сетки следует объединить сопряжённые мелкие поверхности на кромках детали (см. рис. 9). Воспользуйтесь инструментом «Merge Faces» из раздела «Repair» ленты инструментов.

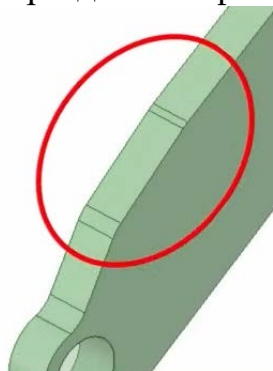


Рисунок 9 – Объединение мелких граней детали

Далее для импорта твердотельной геометрии оптимизированной детали в дерево конструирования необходимо погасить все лишние элементы с помощью ПКМ > «*Suppress for Physics*» (см. рис. 10).

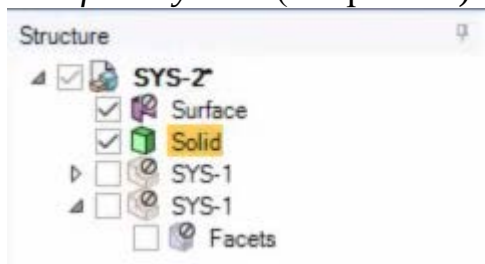


Рисунок 10 – Вид дерева конструирования перед процессом импорта

Теперь закройте модуль «Space Claim» и перейдите в схему проекта.

Здесь в ячейке C4 согласитесь на обновление данных. Затем визуально проверьте качество сетки. Обновите поверхности приложения ГУ и нагрузки. Запустите расчёт.

Проанализируйте результаты по эквивалентным напряжениям и коэффициенту запаса. Оцените, сколько составила итоговая и насколько уменьшилась исходная массы детали. Сделайте выводы.