

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
Национальный исследовательский Томский Политехнический университет

**Статический анализ в САПР SolidWorks**  
**Лабораторная работа №1**

Томск – 2021

**Цель лабораторной работы:** изучить основные функциональные возможности модуля Simulation на примере статического анализа детали.

## 1 Создание твердотельной модели исследуемого объекта

В качестве исследуемой модели используется кронштейн, изготовленный из легированной стали, зафиксированный в двух отверстиях и к которому приложено равномерно распределённое давление равное 2800 кПа, рисунок 1.

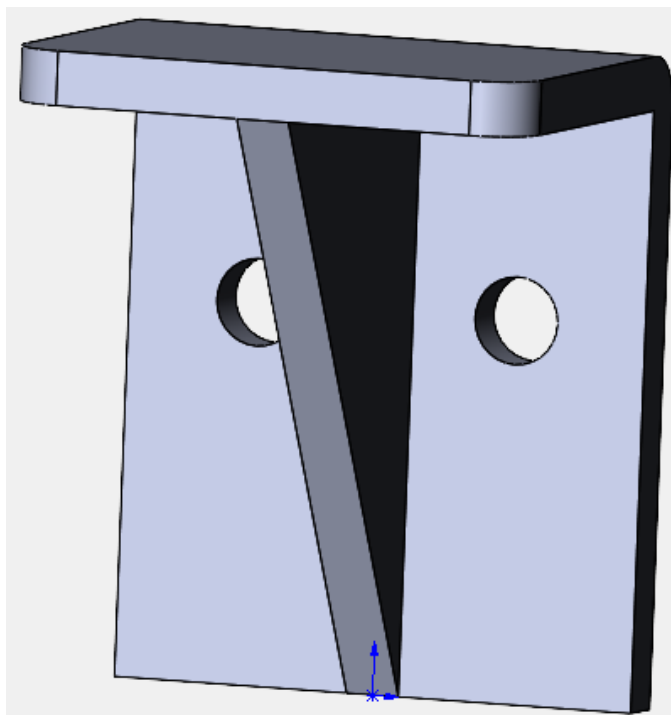
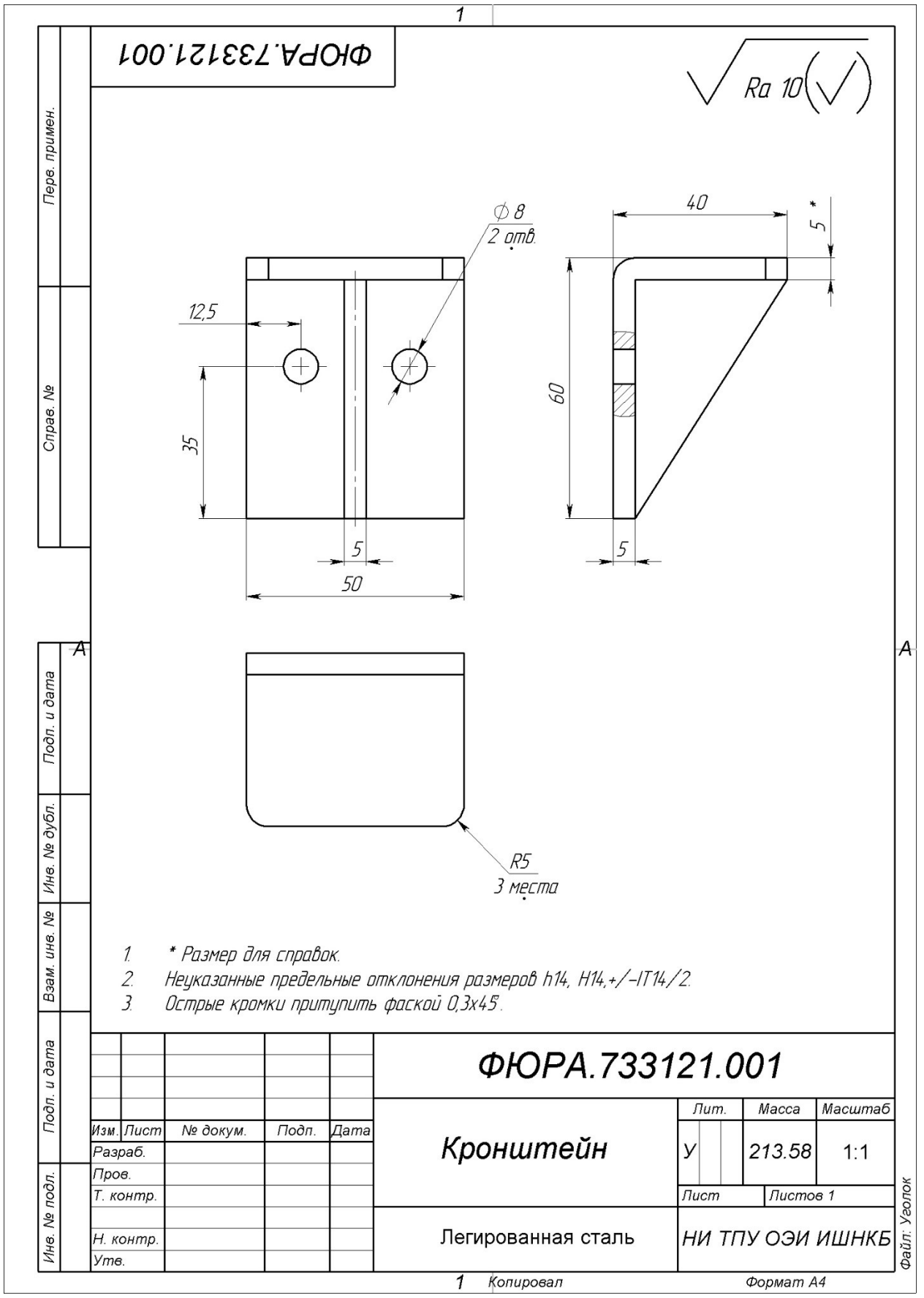


Рисунок 1 – Исследуемая модель кронштейна  
Размеры кронштейна приведены на чертеже, рисунок 2.



## 2 Активация модуля SolidWorks Simulation

Активировать модуль SolidWorks Simulation можно в меню **Инструменты** → **Добавления**, рисунок 3.

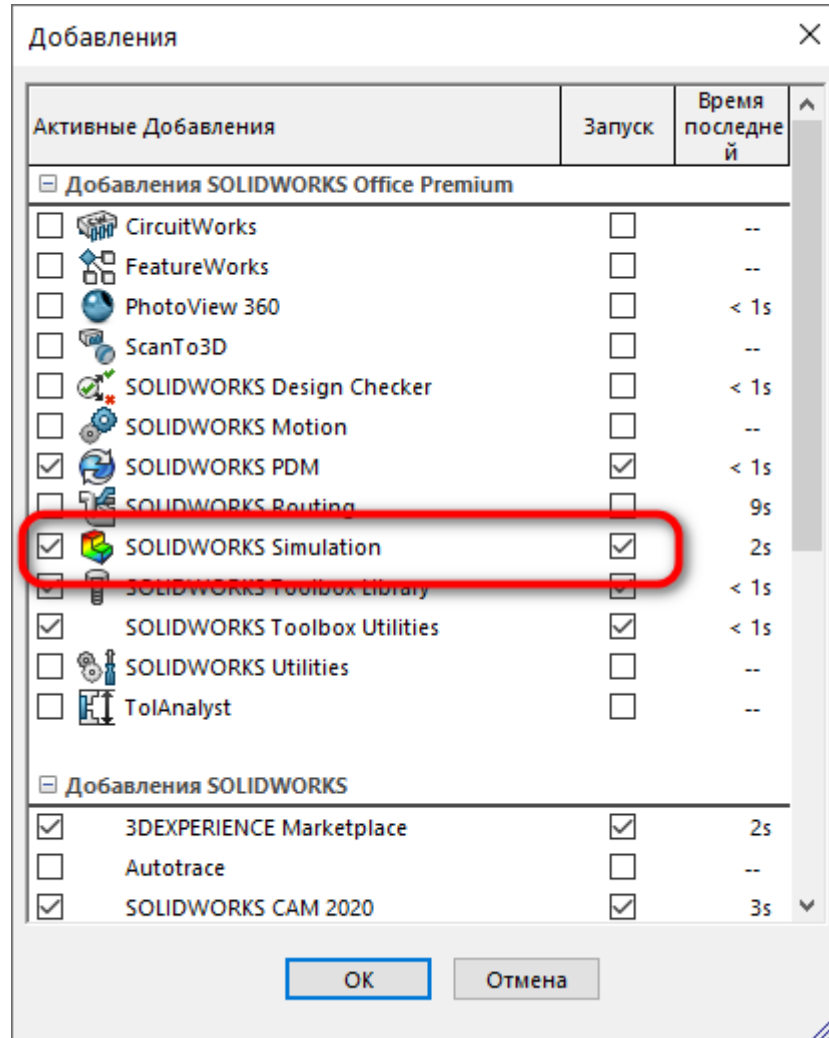


Рисунок 3 – Активация модуля SolidWorks Simulation

После активации модуля:

- в меню добавляется пункт Simulation;
- на панели инструментов появляется вкладка Simulation;
- в менеджере проекта SolidWorks появляется вкладка с пиктограммой продукта.

### 3 Создание нового исследования

Новое исследование можно создать либо, щелкнув по стрелке пиктограммы **Консультант исследования** на панели инструментов и выбрав пункт **Новое исследование**, либо выбрав этот пункт в меню **Simulation**, рисунок 4.

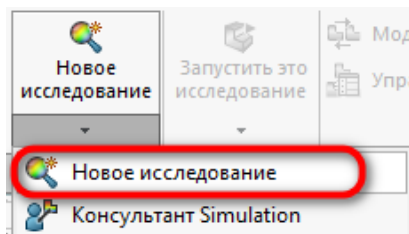


Рисунок 4 – Создание нового исследования

После этого появляется панель для выбора типа исследования. Выберите новое исследование **Статический** и нажмите кнопку подтверждения, рисунок 5.

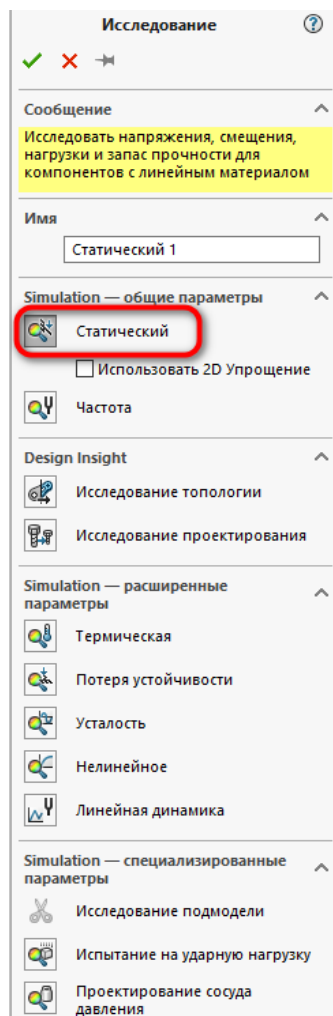


Рисунок 5 – Выбор типа исследования

После создания исследований в нижней части окна SolidWorks появится вкладка с названием исследования, рисунок 6.

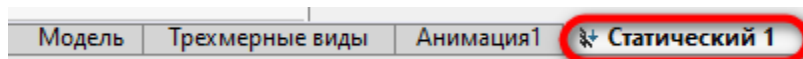


Рисунок 6 – Вкладка с названием исследования

#### 4 Интерфейс SolidWorks Simulation

Simulation использует стандартный Windows-интерфейс и состоит из:

- 1 – менеджер исследования;
- 2 – меню;
- 3 – панели инструментов, рисунок 7.

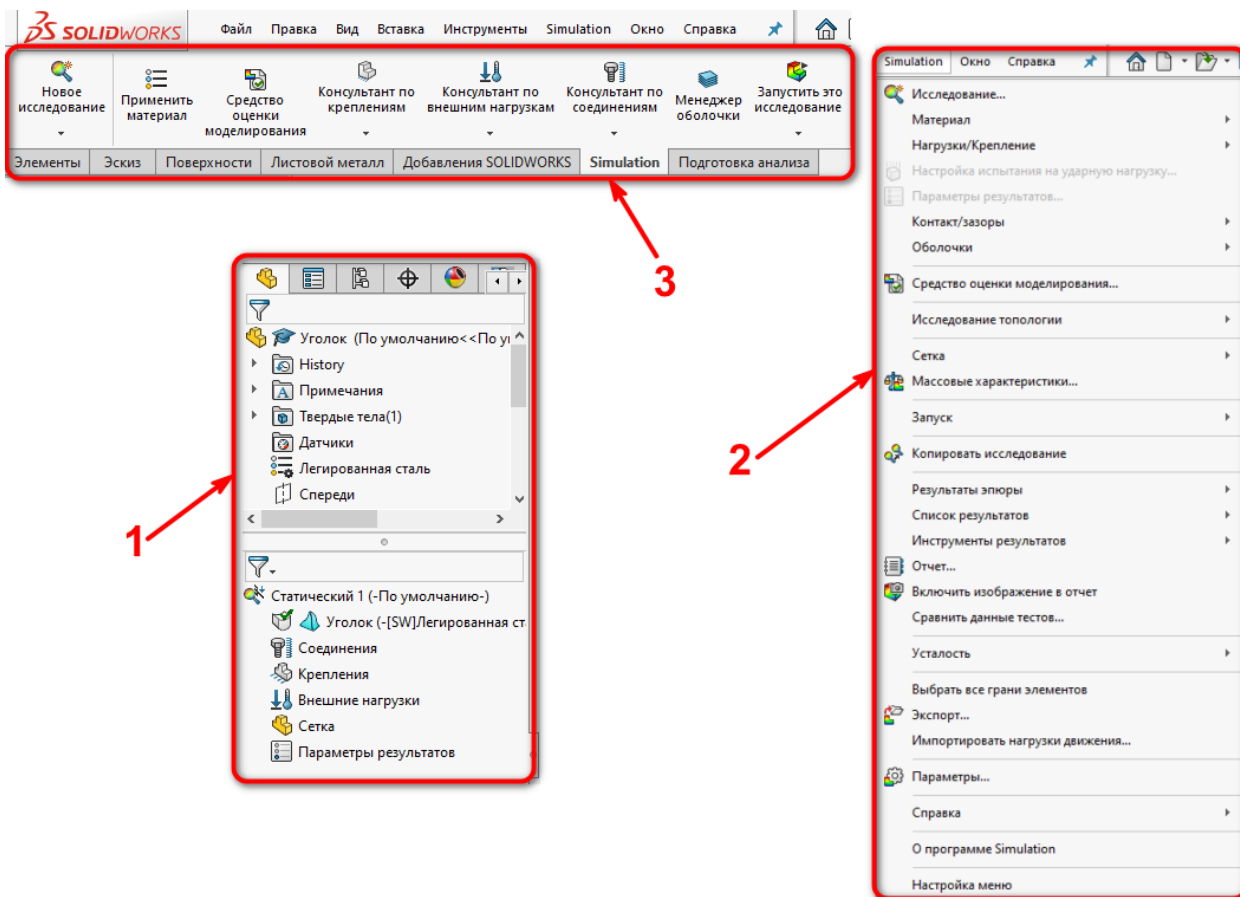


Рисунок 7 – Интерфейс Simulation

## 5 Системы координат и справочная геометрия

В Simulation функциональностью обладают все элементы SolidWorks. Это элементы моделей, такие как вершины, кромки, грани, а также справочная геометрия: оси, плоскости, системы координат. К первым прикладываются граничные условия, относительно вторых ориентируются силы и перемещения.

## 6 Задание материала

Задать материал можно следующими способами:

- вызовом функции **Применить материал** на панели инструментов Simulation;
- в менеджере исследования вызвав на пиктограмме материала ПКМ контекстное меню и выбрав пункт **Редактировать материал**.

В результате откроется окно **Материалы**, рисунок 8

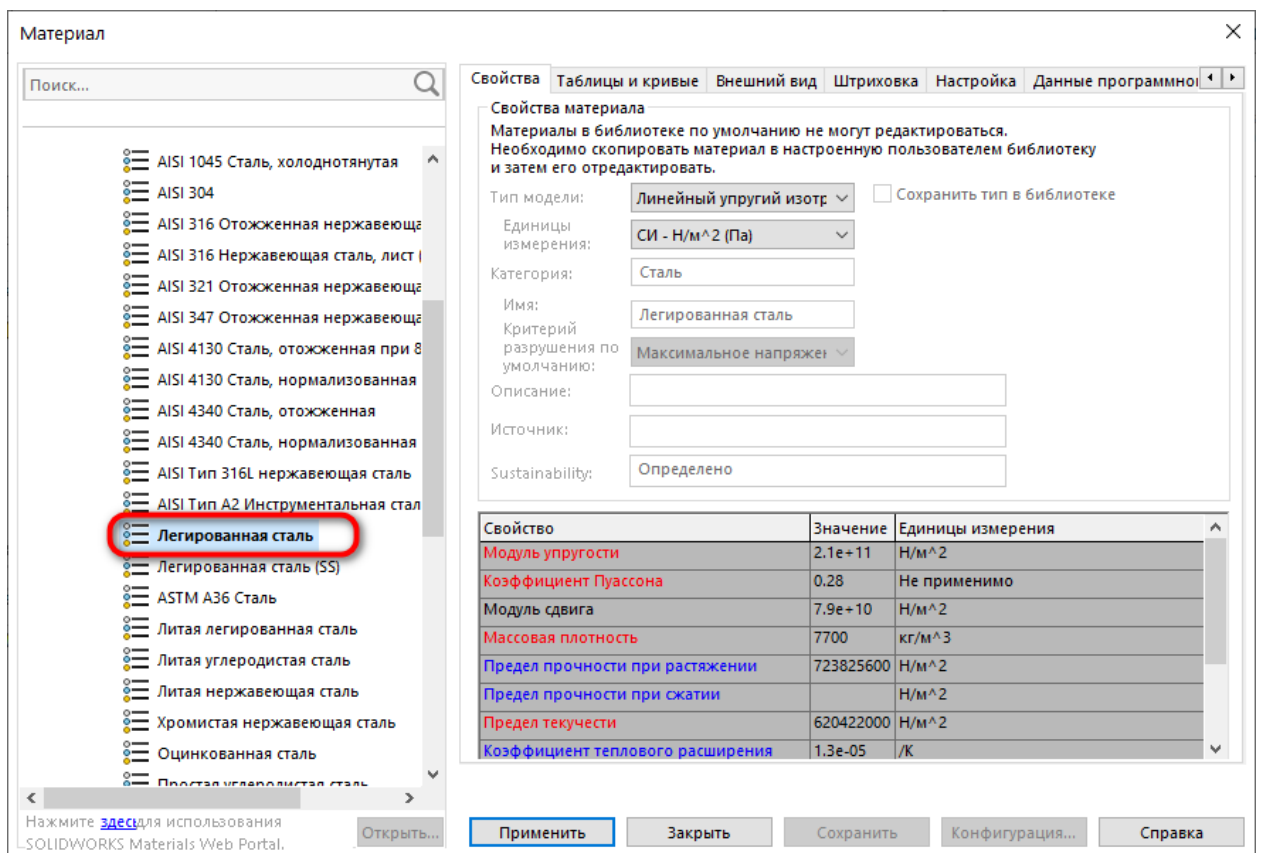


Рисунок 8 – Окно задания материала

В левой части окна представлен необходимый минимум материалов, входящих в библиотеку Simulation.

При нажатии ЛКМ на названии материала в правой части окна отображаются его свойства.

В левой части окна выбираем **Материал** → **SolidWorks materials** → **Сталь** → **Легированная сталь**.

## 7 Задание граничных условий

В Simulation граничные условия прилагаются к элементам геометрии (плоскости, кромки, вершины) и не могут быть отдельно приложены к узлам или граням конечных элементов.

При создании исследования, программа создает папки Крепления и Внешние нагрузки в дереве исследования Simulation и добавляет в них элементы для каждого ограничения или нагрузки определенной к одному или нескольким объектам.

Доступные типы нагрузок и ограничений зависят от типа исследования. Получить доступ к менеджеру свойств задания креплений и нагрузок можно несколькими способами:

- в меню **Simulation** → **Нагрузки/Крепления**;
- в дереве исследования щелчком ПКМ на папку **Крепления** или **Внешние нагрузки**;
- в панели инструментов выбором по стрелке **Консультант по креплениям** или **Консультант по внешним нагрузкам**.



## 8 Закрепление детали

В Дереве исследования Simulation нажимаем ПКМ на **Крепления** и в контекстном меню выбираем пункт **Зафиксированная геометрия**. В результате появится Менеджер свойств **Крепление**.

В графической области выбираем поверхности двух отверстий. После этого в Менеджере свойств **Крепление** в поле **Грани, Кромки, Вершины для крепления** отобразятся выбранные **Грань <1>** и **Грань <2>**.

Нажимаем ОК, рисунок 9.

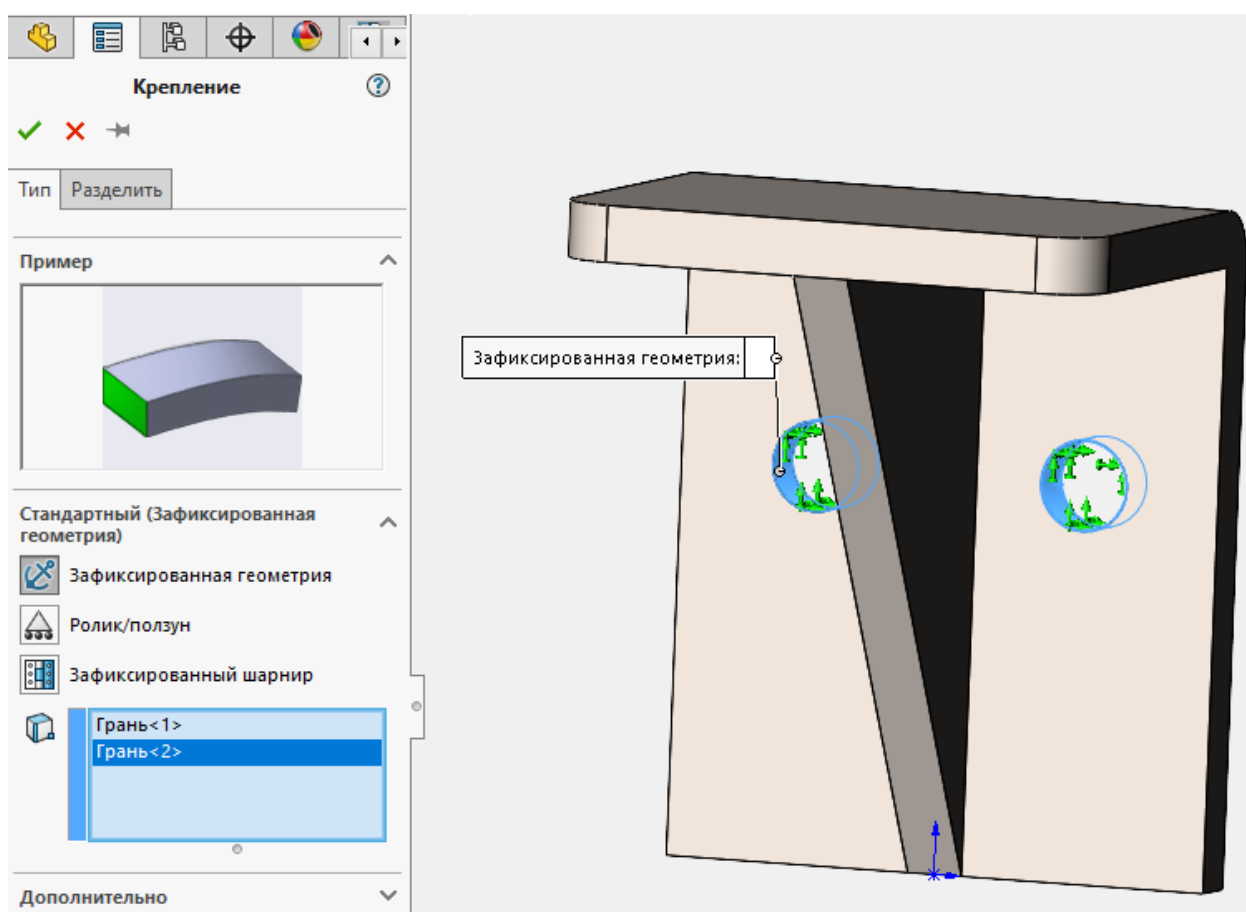


Рисунок 9 – Закрепление детали

## 9 Приложение нагрузки к детали

В Дереве исследования Simulation нажимаем ПКМ на **Внешние нагрузки** и в контекстном меню выбираем пункт **Давление**. В результате появится Менеджер свойств **Давление**.

На вкладке **Тип** в разделе **Тип** выбираем **Перпендикулярно выбранной грани**.

В разделе **Значение давления** выбираем  $\text{N/m}^2$  в меню **Единица измерения** и вводим значение давления **2800000** в поле **Значение давления**.

В графической области выбираем поверхность параллельную осям двух отверстий. После этого в Менеджере свойств **Давление** в поле **Грани для давления** отобразится выбранная грань.

Нажимаем ОК, рисунок 10.

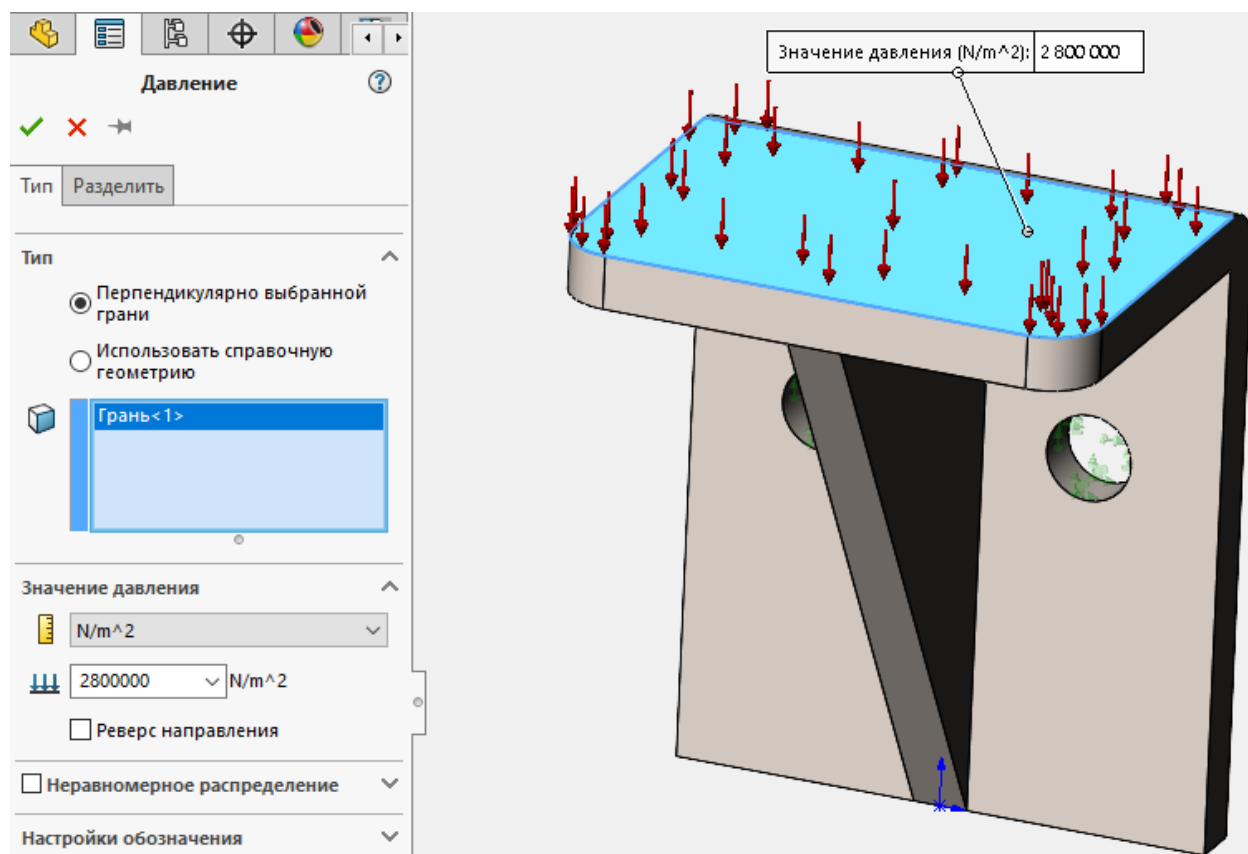


Рисунок 10 – Приложение нагрузки к детали

## 10 Создание конечно элементной сетки

Сетка создается с помощью менеджера свойств **Сетка**, который запускается несколькими способами:

- в Дереве исследования щелчком ПКМ на надписи **Сетка** и выбором в контекстном меню пункта **Создать сетку**;
- в меню **Simulation** → **Сетка** → **Создать**;
- в панели инструментов выбором **Запуск** → **Создание сетки**.

В разделе **Параметры сетки** выбрать **Стандартная сетка**, **Глобальный размер** и **Допуск** будут вычислены программой;

В разделе **Дополнительно** для проверки Якобиана установить **4 точки**, выбрать **Автоматические попытки для твердых тел** и задать **Число проб** равным **3**.

Нажимаем ОК, рисунки 11, 12.

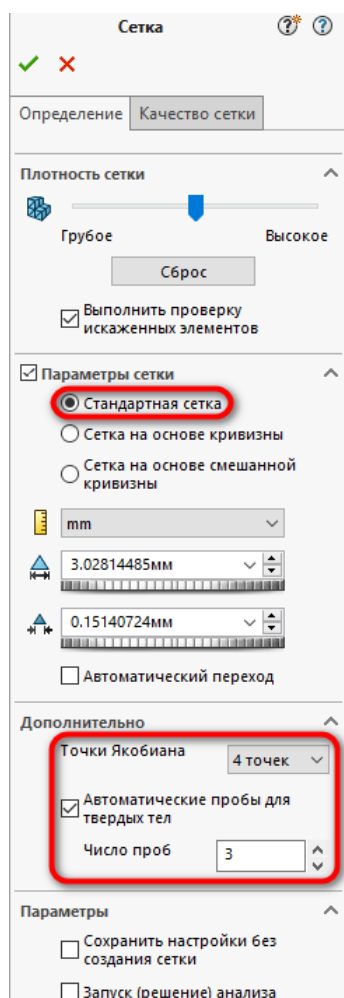


Рисунок 11 – Задание параметров сетки

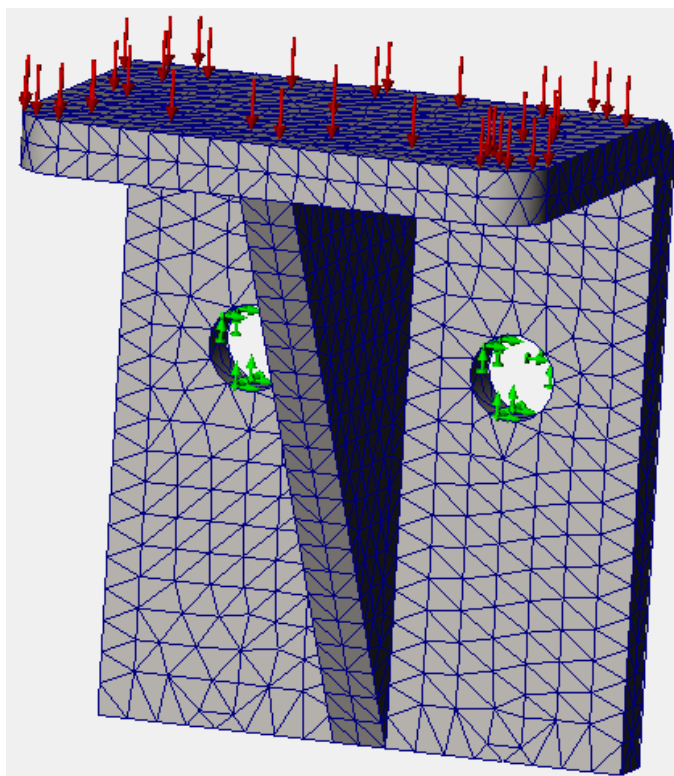


Рисунок 12 – 3D-модель с наложенной конечно элементной сеткой

## 11 Управление конечно элементной сеткой

Следствием неправильной формы конечных может стать расходимость решения. В этом случае применяют локальное уплотнение сетки в автоматическом или ручном режиме.

Наибольшую эффективность обеспечивает ручной метод уплотнения сетки с помощью менеджера свойств **Управление сеткой**.

Чтобы открыть менеджер свойств **Управление сеткой** нужно щёлкнуть ПКМ в дереве исследования Simulation на значок **Сетка** и выбрать в контекстном меню пункт **Применить элемент управления сеткой**, рисунок 13.

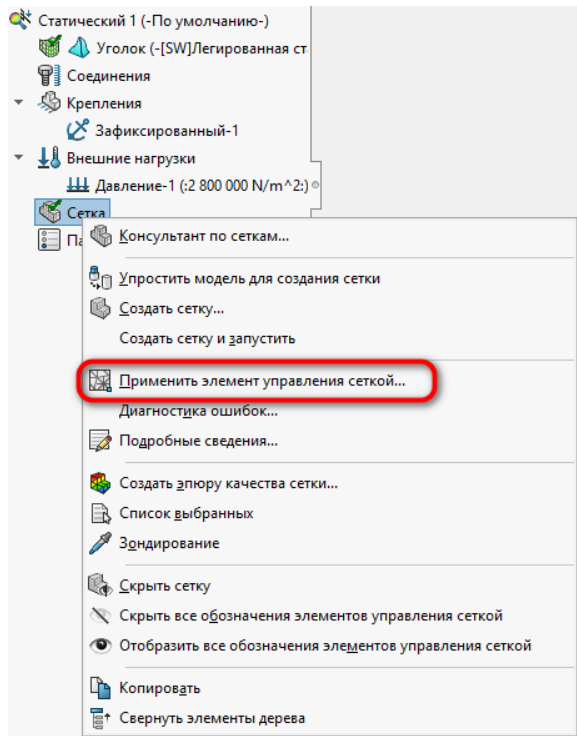


Рисунок 13 – Вызов элемента управления сеткой

В разделе **Выбранные объекты** добавьте две грани отверстий.

В разделе **Параметры сетки** установите **Размер элемента** равным **0,5 мм**, параметр **Соотношение** задайте равным **1,5**.

Нажмите кнопку ОК, рисунок 14.

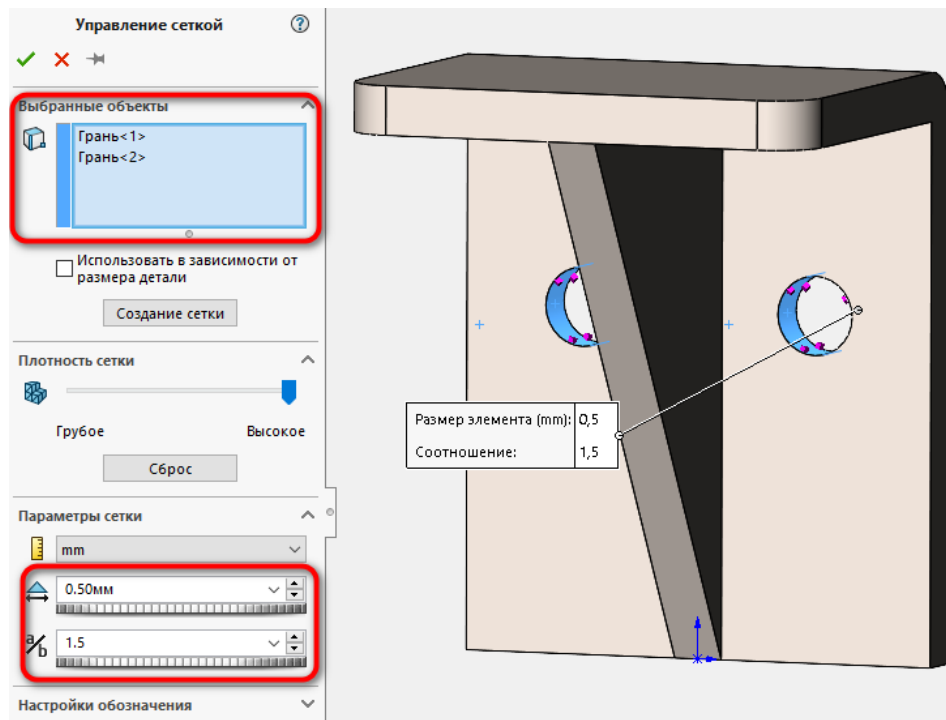


Рисунок 14 – Задание размера сетки для граней отверстий

В результате выполнения данной операции, сетка вокруг отверстий будет уплотнена, рисунок 15.

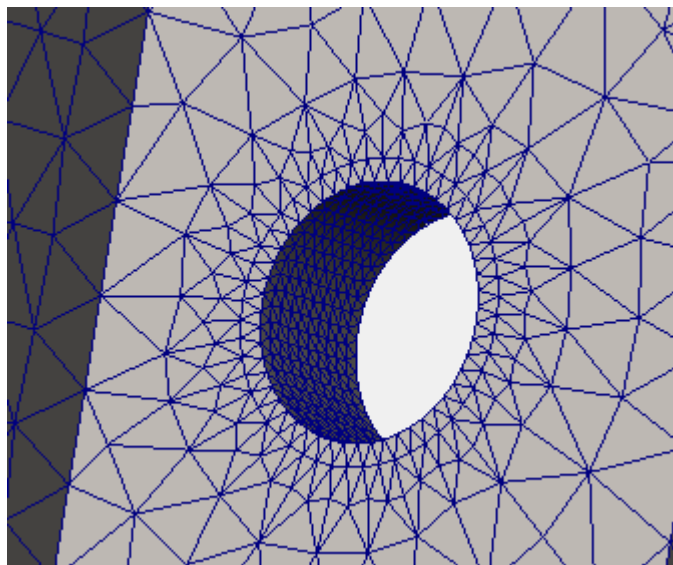


Рисунок 15 – Уплотнение сетки вокруг отверстий

## 12 Процедуры решения

В анализе конечных элементов задача представлена набором алгебраических уравнений, которые должны быть решены совместно. Существует два класса методов решения: прямой и итерационный.

Прямые методы решают уравнения, используя точные числовые методы. Итерационные методы решения уравнений используют способы аппроксимации, где в каждой итерации предполагается решение, а связанные с ним погрешности подсчитаны. Повторы продолжаются до тех пор, пока погрешности не становятся приемлемы.

Прямой метод для разрежённых матриц (**Direct sparse**).

Итерационный компактный метод (**FFEPlus**).

Автоматическая решающая программа (**Автоматическая**).

Для запуска исследования необходимо нажать кнопку **Запуск** на Панели инструментов Simulation. После чего начинается процесс расчета, по окончании которого в Дереве исследования Simulation появляется папка **Результаты**.

### 13 Представление результатов

После успешного выполнения исследования программа создает папку **Результаты** в дереве исследования Simulation с эпюрами вид которых зависит от настроек по умолчанию.

Можно определить дополнительные эпюры, щёлкнув ПКМ на папку **Результаты** в Дереве исследования Simulation и выбрав в контекстном меню **Определить <тип эпюры>**, рисунок 16.

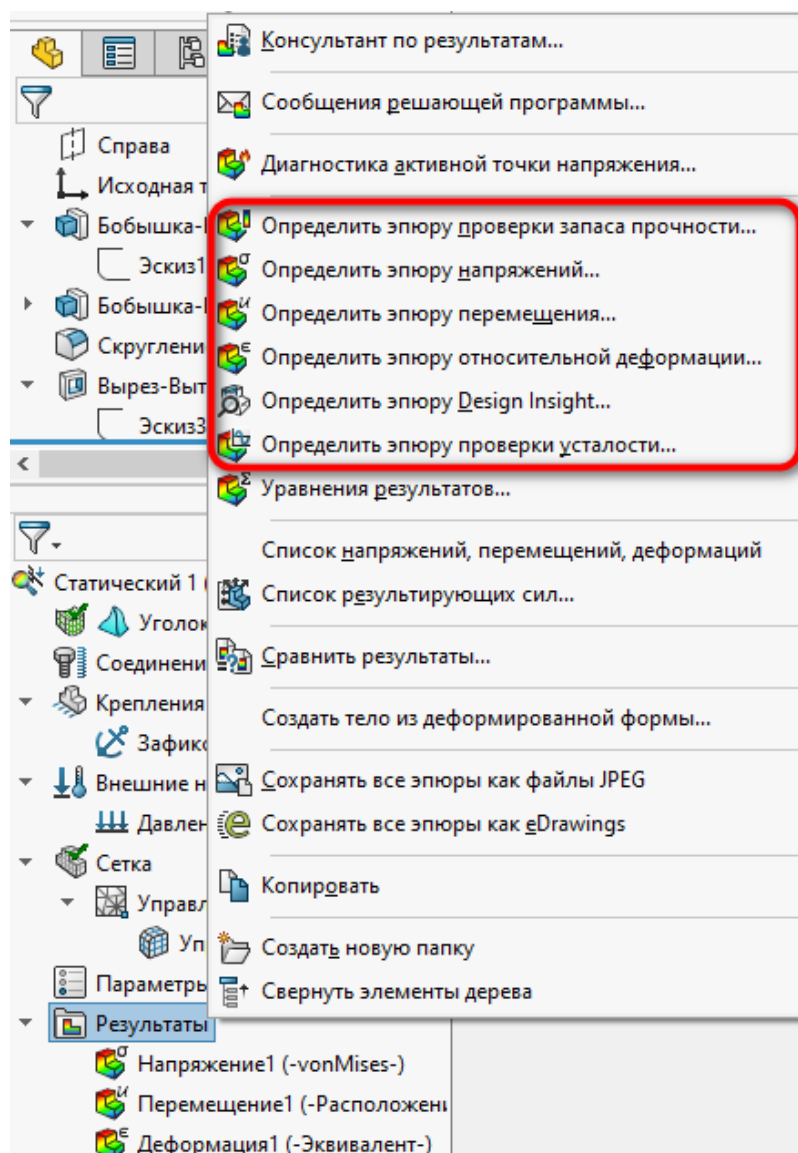


Рисунок 16 – Определение дополнительных эпюр

## 14 Результаты исследования твердотельной детали

На рисунке 17 представлены эквивалентные напряжения по Вон Мизесу при приложении к верхней части давления равного 2800 кПа.

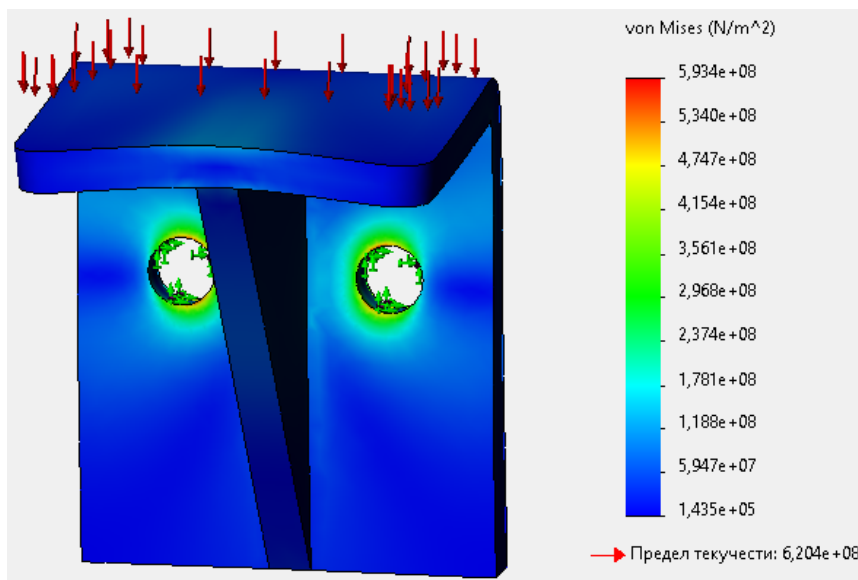


Рисунок 17 – Эпюра эквивалентных напряжений

Чтобы просмотреть эпюры напряжений в различных системах единиц измерения, нужно нажать ПКМ по значку эпюры или ее шкале в графической области и в контекстном меню выбрать пункт **Редактировать определение**. В появившемся Менеджере свойств **Эпюра напряжений** в разделе **Отображение** в меню **Единицы** можно задать нужные единицы измерения, рисунок 18.

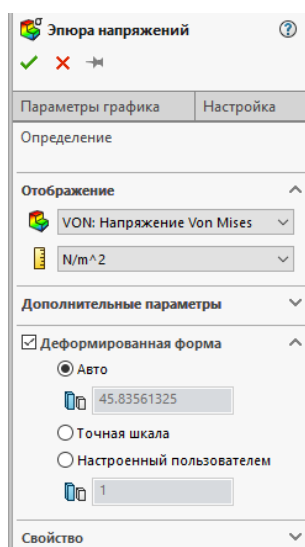


Рисунок 18 – Выбор единиц измерения для отображения результата



На рисунке 19, представлена эпюра результирующих перемещений.

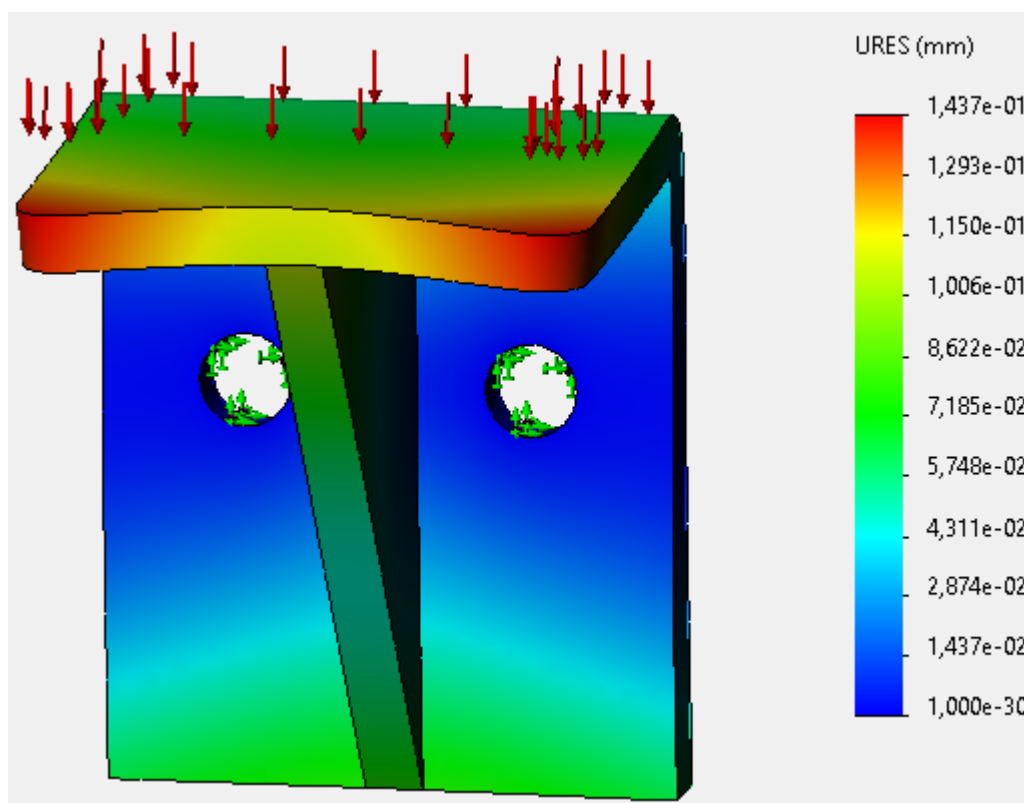


Рисунок 19 – Эпюра результирующих перемещений

Для того, чтобы посмотреть анимацию эпюры результирующих перемещений. Для этого на Панели инструментов Simulation нажимаем кнопку **Инструменты эпюры** и выбираем пункт **Анимировать**, рисунок 20.

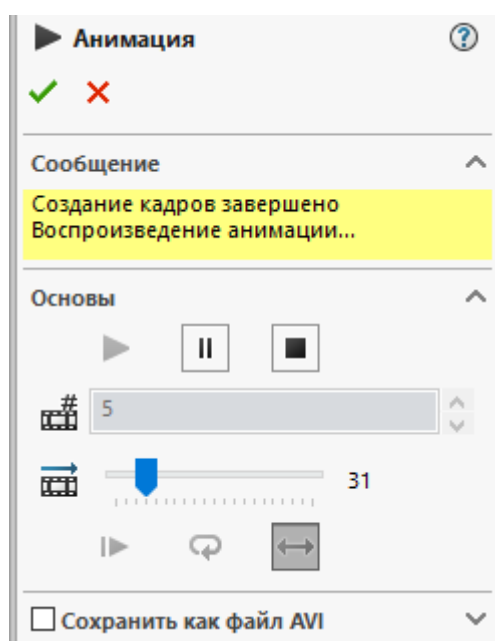


Рисунок 20 – Настройка анимации результатов

На рисунке 21, представлена эпюра эквивалентной деформации.

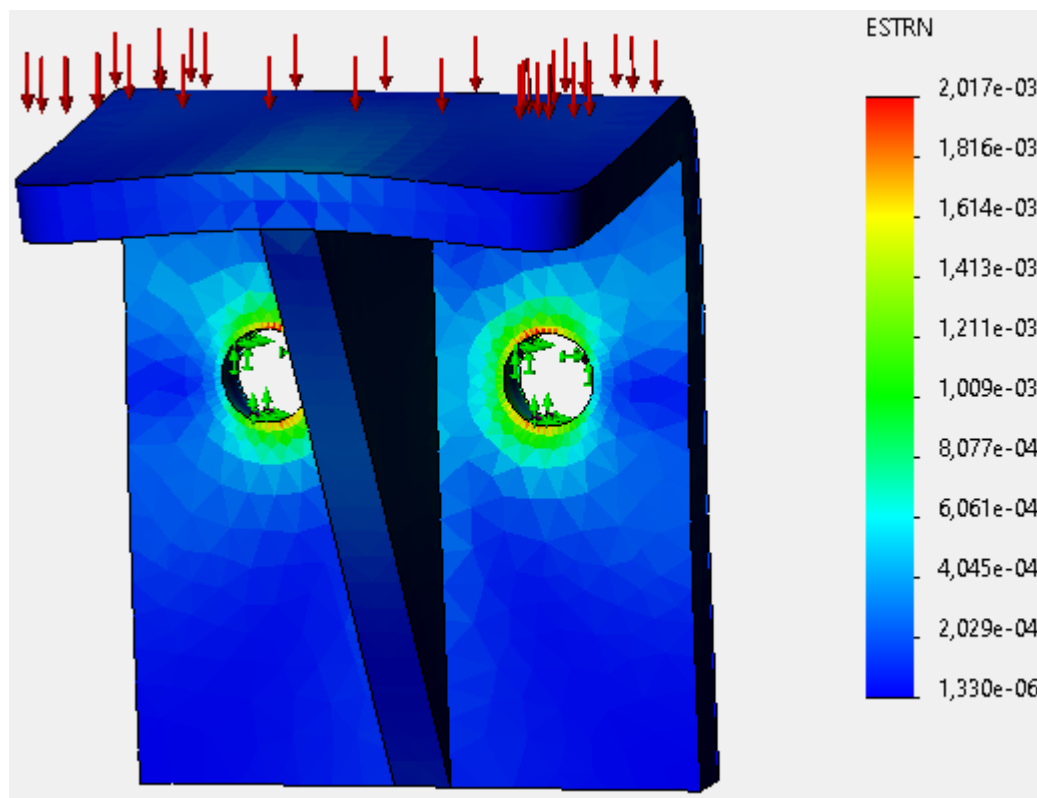


Рисунок 21 – Эпюра эквивалентной деформации

## 15 Критерии прочности. Эпюра распределения запаса прочности

Эпюра распределения запаса прочности Программа позволяет оценивать прочность материалов с использованием четырёх критериев прочности:

- эквивалентных максимальных напряжений по Мизесу;
- максимальных касательных напряжений;
- Мора Кулона;
- максимальных нормальных напряжений.

Нажимаем ПКМ на **Результаты** и выбираем **Определить эпюру проверки запаса прочности**. Открывается менеджер свойств **Запас прочности**.

Для построения эпюры распределения запаса прочности будем использовать **максимальное напряжение по Мизесу** и установим предел напряжений как для **предела текучести**, рисунки 22, 23.

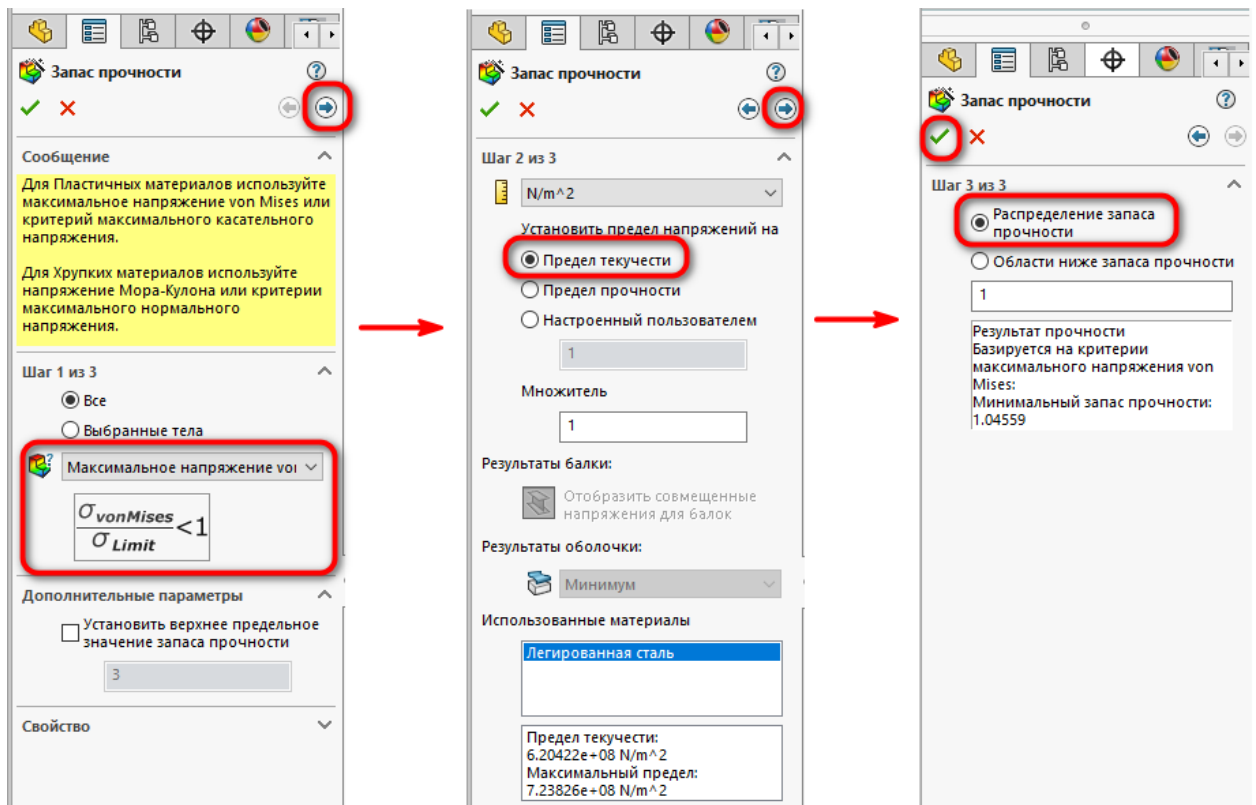


Рисунок 22 – Настройка эпюры распределения запаса прочности

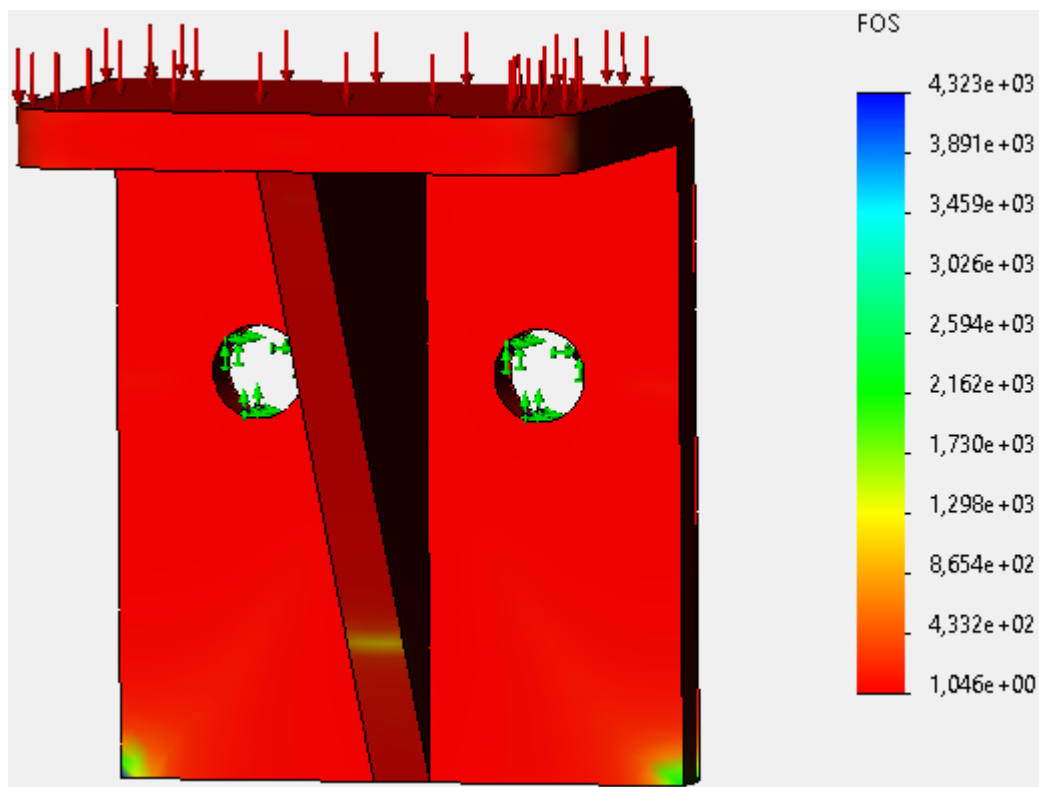


Рисунок 23 – Эпюра распределения коэффициента запаса прочности

Для определения опасных зон конструкции, где предел прочности может оказаться ниже необходимого значения на **3 шаге** в менеджере свойств **Запас**

**прочности** нужно выбрать пункт **Области ниже запаса прочности** и ввести требуемое значение. Определим области с запасом прочности **ниже 1,3**, рисунки 24, 25.

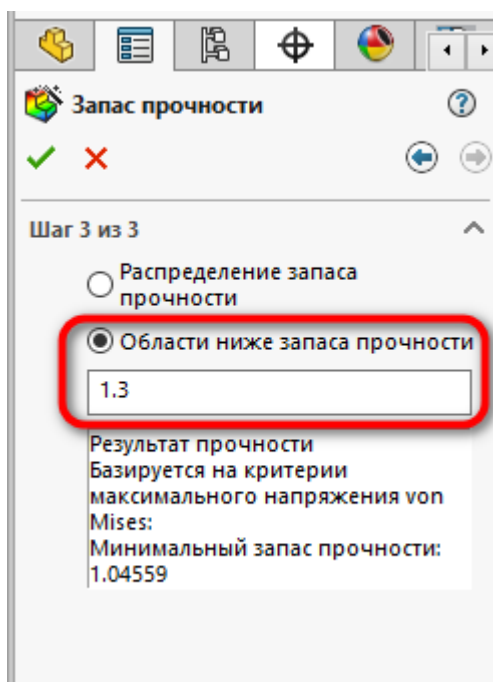


Рисунок 24 – Определение опасных зон конструкции

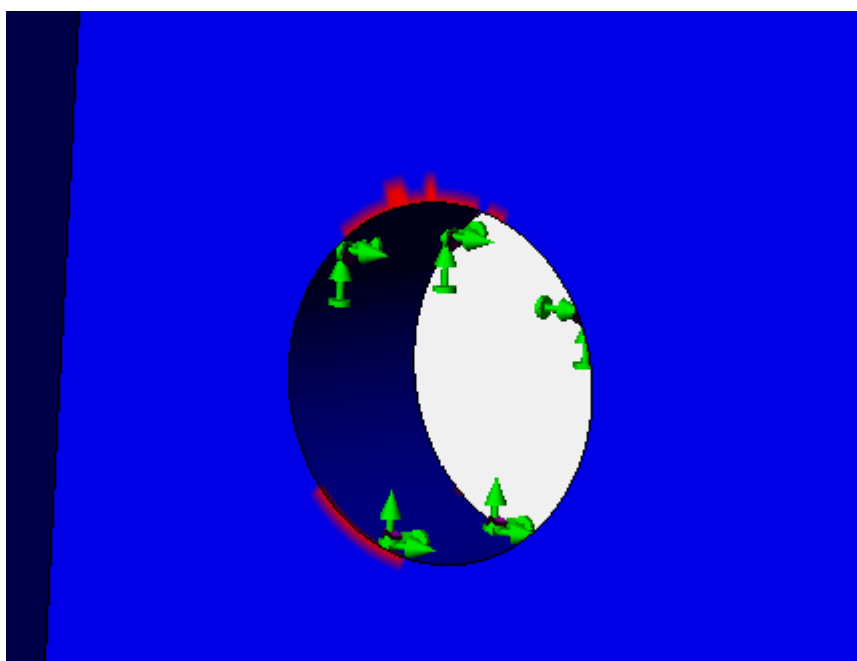


Рисунок 25 – Эюра распределения запаса прочности относительно заданного (критические области красного цвета)

## **16 Задание**

Уменьшите толщину стенки и ребра жёсткости кронштейна с 5 мм до 3 мм и проведите расчёт.

## **17 Содержание отчёта**

1. Цель работы.
2. Чертёж детали Кронштейн, выполненный в соответствии с ГОСТ ЕСКД.
3. Сравнение результатов статического анализа при разной толщине стенки и ребра жёсткости кронштейна.
4. Выводы.