

Практическая работа 1. Тема: «Виртуальные испытания простейшей 3D модели». Исследование прочности и жесткости простейшей модели, под действием точечной нагрузки, визуализация результатов.

Цель работы – получить начальные сведения об особенностях конечно-элементного моделировании твердотельных моделей.

Задачи работы: создать трехмерную модель в SolidWorks и провести исследование прочности и жесткости простейшей модели под действием нагрузки в программе ANSYS.

Требования к организации рабочего места обучающегося: персональный компьютер, программный пакет SolidWorks, программный пакет ANSYS. При возникновении трудностей, связанных с установкой ПО обращаться на факультет информационных технологий и робототехники по телефону +375172927153 (деканат ФИТРА). Программный пакет ANSYS находится в свободном доступе в сети-Интернет.

Место: класс в учреждении общего среднего образования, компьютерный класс, учебная лаборатория в университете.

Требования техники безопасности: соответствуют требованиям работы на персональном компьютере в учебном классе учреждения образования, установленными внутренней инструкцией.

План работы:

1. Ознакомление с объектом моделирования
2. Выполнение основных этапов построения двухмерной модели.
3. Представление выполненной модели.

Инструкция по выполнению работы (совокупность заданий, методические указания):

Для расчета изделий сложной формы, со сложными условиями нагружения наиболее часто используют метод конечных элементов (МКЭ или FEM – Finite Element Method). Один из самых распространенных пакетов для расчета МКЭ – ANSYS Workbench. Он пакет позволяет решать следующие задачи:

- статического анализа (расчета напряжений и перемещений в конструкции, вызванных постоянными во времени нагрузками);
- динамического анализа (расчет напряжений и перемещений для произвольно задаваемых изменений нагрузки во времени/пространстве;
- расчета собственных частот и форм колебаний тела любой формы;
- расчета конструкций на устойчивость;
- статического и динамического расчета температур при всех видах теплообмена;
- оптимизация конструкции по заданным критериям и многие другие.

Суть метода конечных элементов в том, что тело сложной формы разбивают на множество маленьких элементов простой формы. Элементы между собой

соединяются только в узлах. Затем, вместо того, чтобы решать задачу для тела сложной формы, решают много простых задач для каждого элемента простой формы. Результаты расчета для каждого элемента особым образом складывают для получения конечного результата. Чем на большее число элементов разбита конструкция, тем более точны результаты расчета МКЭ.

Стандартным для ANSYS Workbench являются 3D (объемные) конечные элементы. Используются, когда нагрузка приложена во всех трех измерениях. Обычно они имеют форму пирамиды (тетраэдра) или призмы.

Основные этапы решения задачи с использованием МКЭ:

- 1) создать или импортировать из другого пакета геометрию тела;
- 2) задать свойства материала тела;
- 3) задать тип конечных элементов;
- 4) разбить тело на сетку конечных элементов;
- 5) задать нагрузки, действующие на тело;
- 6) задать начальные и граничные условия;
- 7) произвести расчет;
- 8) просмотреть результаты расчета.

Рассчитаем на прочность сварной упор в виде уголка, предназначенный для ограничения перемещений мостового крана в цеху. Максимальная сила, развиваемая приводом перемещения крана, равна 1000 Н.

Эскиз упора представлен на рисунке 1. Численные значения размеров (в мм) представлены в таблице 1. Упор сварен из пластин толщиной δ мм, материал – сталь 45, и закреплен четырьмя болтами за основание.

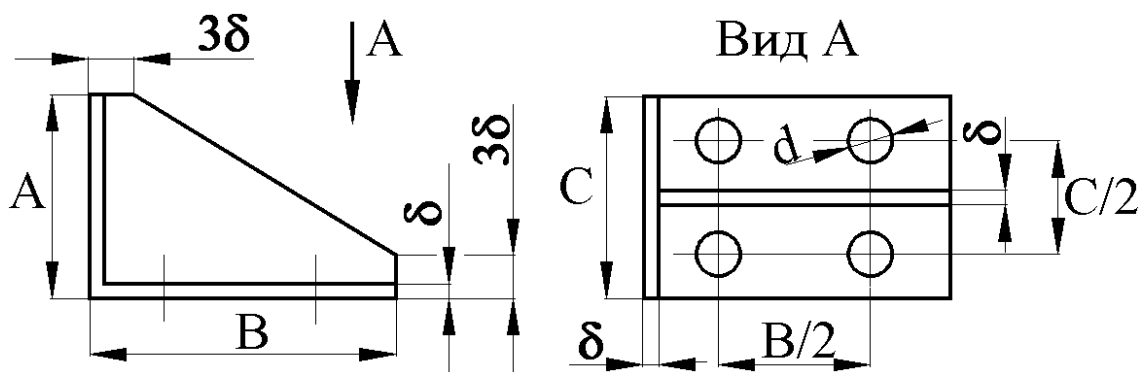


Рисунок 1 – Эскиз упора

Таблица 1 – Размеры упора

| № вар. | A | B | C | d | δ |
|--------|-----|-----|-----|----|----------|
| 1 | 200 | 120 | 120 | 12 | 10 |
| 2 | 100 | 150 | 80 | 8 | 6 |
| 3 | 250 | 150 | 150 | 12 | 12 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|-----|----|----|
| 4 | 125 | 150 | 125 | 12 | 10 |
| 5 | 150 | 150 | 200 | 10 | 8 |
| 6 | 175 | 150 | 120 | 12 | 12 |
| 7 | 100 | 80 | 70 | 8 | 6 |
| 8 | 150 | 150 | 150 | 10 | 8 |
| 9 | 125 | 100 | 150 | 8 | 6 |
| 10 | 150 | 120 | 80 | 8 | 8 |
| 11 | 100 | 100 | 100 | 8 | 6 |
| 12 | 200 | 175 | 125 | 10 | 10 |
| 13 | 200 | 100 | 120 | 12 | 10 |
| 14 | 100 | 150 | 100 | 8 | 6 |
| 15 | 150 | 200 | 80 | 10 | 8 |
| 16 | 200 | 150 | 200 | 12 | 10 |
| 17 | 200 | 100 | 150 | 10 | 12 |
| 18 | 150 | 100 | 100 | 10 | 8 |
| 19 | 200 | 200 | 150 | 12 | 10 |
| 20 | 100 | 150 | 150 | 8 | 6 |
| 21 | 125 | 125 | 150 | 12 | 8 |
| 22 | 150 | 80 | 70 | 10 | 8 |
| 23 | 175 | 175 | 175 | 8 | 8 |
| 24 | 250 | 175 | 200 | 12 | 12 |
| 25 | 200 | 80 | 100 | 12 | 10 |
| 26 | 125 | 175 | 175 | 8 | 10 |
| 27 | 175 | 100 | 125 | 6 | 12 |
| 28 | 200 | 125 | 150 | 10 | 10 |
| 29 | 100 | 125 | 150 | 8 | 10 |
| 30 | 125 | 175 | 150 | 6 | 8 |

Необходимо определить напряженно-деформированное состояние упора, максимальные напряжения и места их возникновения при следующих условиях нагружения:

- приложенная нагрузка равномерно распределена по передней грани упора, все крепежные болты зажаты (рисунок 2);

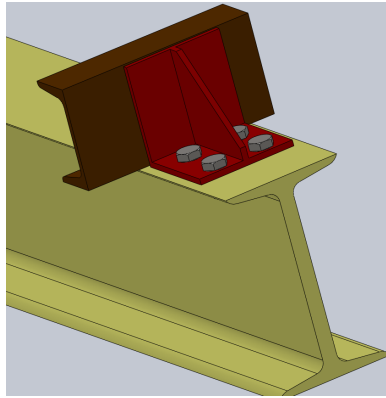


Рисунок 2 – Базовое нагружение упора

– приложенная нагрузка равномерно распределена по передней грани упора, но один из крепежных болтов отсутствует или не зажат (рисунок 3);

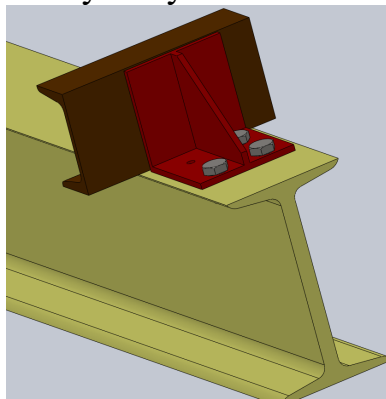


Рисунок 3 – Дефектное закрепление упора

– из-за перекоса упора нагрузка действует неравномерно и прикладывается к боковому ребру передней грани упора, при этом все крепежные болты зажаты (рисунок 4).

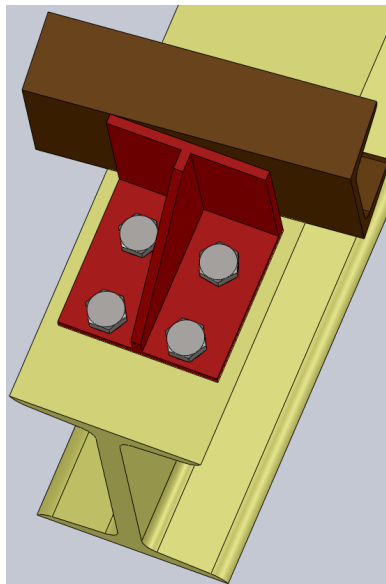




Рисунок 4 – Реалистичное нагружение упора

Закрепления болтами условно принимаем как абсолютно жесткое.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Создать новый файл в MS Word («Файл» – «Создать...» – «Обычный»). Записать его под узнаваемым именем в папке D:/<№ группы>/<Ваша фамилия>.
2. Создать твердотельную модель упора в SolidWorks. Записать модель в папке D:/<№ группы>/<Ваша фамилия>. Выполнить копии экрана с проставленными размерами упора по варианту. Вставить рисунки в файл отчета и подписать, например, «Рисунок 1 – Эскиз упора». Копии экрана удобнее всего снимать программой HyperSnap. Для ее запуска следует нажать на иконку  на рабочем столе. На экране появится перекрестье. Щёлкнув левой клавишей мыши, задаем, например, верхний левый угол будущего рисунка. Перемещая курсор, выбираем противоположный угол, опять щелкаем левой клавишей мыши. После этого происходит автоматический переход в программу HyperSnap, где уже находится изображение выбранного участка экрана. Далее следует сохранить рисунок под значащим именем, например, «Упор_размеры_1» или «Упор_размеры_2».
3. Экспортировать файл геометрической модели из SolidWorks в промежуточный формат Parasolid не выше 9-ой версии в папку D:/<№ группы>/<Ваша фамилия>. Для этого войти в меню «Файл» – «Сохранить как...», задать имя файла, например, «Упор», в поле «Тип файла» выбрать «Parasolid Files (*.x_t)», а в поле «Параметры» выбрать версию 9.0; папка – D:/<№ группы>/<Ваша фамилия>; «Сохранить».
4. Запустить ANSYS Workbench, нажав на иконку  на рабочем столе.
5. Заказать расчет «Static Structure».
6. Загрузить файл модели («Geometry» – «Import Geometry...» – «Browse...» из своей директории (**именно в формате Parasolid – *.x_t !**).
7. Начать новый расчет (правой клавишей мыши «Model» – «Edit...»).
8. Создать сетку конечных элементов. Нажать правой клавишей мыши по пункту «Mesh», выбрать «Insert» – «Sizing», выбрать «Body», «Apply». В поле «Element Size» нижнего меню задать размер 5 мм; далее – «Mesh», «Generate Mesh».
9. Улучшить форму КЭ: «Mesh» – «Method»; в нижнем меню раскрыть пункт «Method» и выбрать опцию «Hex Dominant»; далее – «Mesh», «Generate Mesh».
10. Сгустить сетку по внутренним углам и кромкам отверстий: «Mesh» – «Insert» – «Sizing». Выбрать кромку, далее, зажав кнопку <Ctrl>, выбрать нужные кромки, «Apply», и в нижнем меню в поле «Element Size» задать размер 2 мм; далее – «Mesh», «Generate Mesh».

11. Нагрузить переднюю грань упора давлением от силы 1000 Н. Для этого силу 1000 Н следует разделить на площадь передней грани упора в мм². Далее: нажать правой клавишей мыши по пункту «Analysis Settings», «Insert» – «Pressure», выбрать поверхность, «Apply», в поле «Magnitude» нижнего меню ввести значение давления (МПа).
12. Жестко закрепить внутреннюю поверхность отверстий: «Analysis Settings» – «Insert» – «Fixed Support», выбрав с нажатой клавишей <Ctrl> внутреннюю поверхность всех отверстий, «Apply».
13. Задать параметры для просмотра будущих результатов – общей деформации и эквивалентных напряжений по Мизесу. Нажать правой клавишей мыши по «Solution», далее «Insert» – «Deformation» – «Total» (суммарные деформации) и «Insert» – «Stress» – «Equivalent (von-Mises)» (эквивалентные напряжения по Мизесу).
14. Запустить расчет; нажать правой клавишей мыши по «Static Structural», «Solve».
15. Визуализировать результаты расчета, щелкнув по имени параметра. Выполнить копии экрана с заданными нагрузками.
16. Закрыть ANSYS, сохранив все файлы модели (например, Model-1) в своей директории.
17. Оценить распределение напряжений в упоре для случая, когда упор закреплен только на трех болтах с нагрузкой, равномерно действующую на переднюю поверхность упора. Для этого повторить пункты 4...16, но оставить одно переднее отверстие незакрепленным, а в качестве нагрузки задать силу («Force», Vector → Component), равную 1000 Н.
18. Оценить распределение напряжений в упоре для случая, когда упор закреплен на четырех болтах, но нагрузка приложена с перекосом. Для этого повторить пункты 4...16, но в качестве нагрузки задать силу, распределенную по длине кромки («Line Pressure», Vector → Component), равную 1000 Н/<длину кромки, мм>, и закрепить все отверстия.
19. Записать вывод: какой способ нагружения упора наиболее опасен с точки зрения прочности (напряжений).

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет о лабораторной работе в форме файла MS Word должен включать:

Введение, в котором вкратце описаны цели и задачи работы.

Постановка задачи и исходные данные по Вашему варианту.

Чертеж упора с проставленными размерами.



Результаты исследования:

- 1) краткое описание методики проведения расчета для каждой расчетной модели, включающее:


- источник геометрической модели;
 - материал;
 - тип и размеры конечных элементов;
 - тип нагрузки, расчет ее численного значения, место приложения;
 - условия и место приложения закреплений;
 - вид расчета;
- 2) изображения характерных распределений напряжений в деформированных моделях;
 - 3) значения и место расположения максимальных напряжений;
 - 4) сравнение распределение напряжений в упоре при различных вида закрепления и моделях расчета;
 - 5) выводы.

3. СОЗДАНИЕ ГЕОМЕТРИИ УПОРА



Описать геометрию исследуемого тела можно либо средствами САЕ-пакета, либо импортируя ранее созданную геометрию из САД-пакета. Последний вариант, как правило, удобней и проще, поскольку САЕ-пакеты ориентирован на расчет, а не на черчение.

Откроем SolidWorks, нажав на иконку  на рабочем столе. Начнем новый проект. Для этого выберем пункт меню «Файл», «Новый...», или нажмем кнопку «Создать»  на панели инструментов «Стандартная». В появившемся окне «Новый документ SolidWorks» щелкнем левой клавишей мышки по иконке «Деталь» и нажмем кнопку «ОК». Появится пустое окно для создания новой детали (рисунок 5).

Экран поделен на несколько логических частей. Слева, в отдельном окошке, расположено дерево построения. В нем будут отображаться все элементы детали в порядке их создания. Вверху расположены главное меню, пиктограммы меню управления видами и т.д.

Если изображение модели не помещается на экран, то можно, например, нажать кнопку «Изменить в размер экрана»  на панели инструментов. В этом случае модель полностью отображается и размещается в центре экрана. Еще проще изменить масштаб изображения, вращая колесико мыши.

Для разворота изображения следует двигать мышь, нажимая при этом на колесико.

Если в середине экрана не видно точки начала координат () , в головном меню включить ее отображение («Вид»,  | Исходные точки).

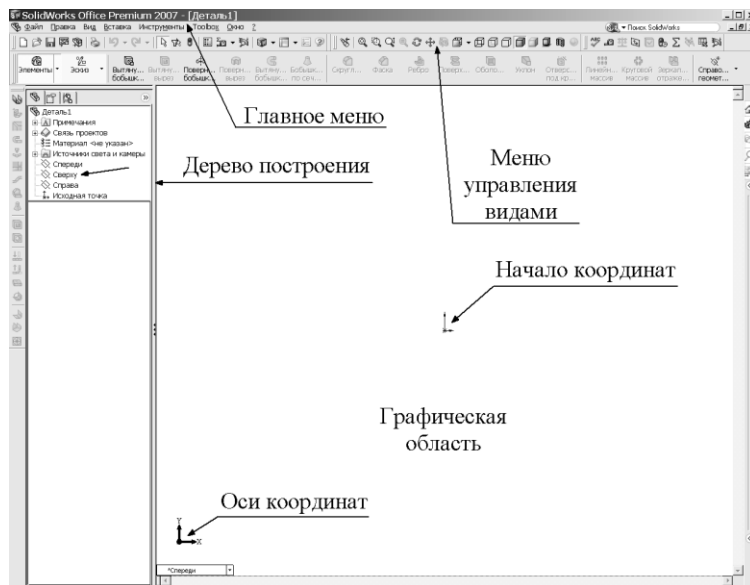


Рисунок 5 – Новое окно для создания детали

Чаще всего создания твердого тела включает в себя следующие шаг:

- 1) выбрать плоскость или плоскую грань уже существующего тела;
- 2) войти в режим эскиза;
- 3) нарисовать на выбранной плоскости замкнутый контур;
- 4) выйти из режима эскиза;
- 5) вызвать одну из команд твердотельного моделирования, которая перемещает созданный контур. При перемещении контур может создавать новый объем («вытянуть») или удалять материал из уже существующей детали («вырезать»).

Модель упора состоит из трех 3D-элементов: уголок; ребро жесткости; крепежные отверстия. Общий порядок создания твердотельной модели упора:

1. Вытягиваем на $H/2$ (H – ширина упора) в обе стороны профиль уголка, с вершиной в начале координат, размещенный на плоскости «Сверху». В примере размеры упора – $100 \times 100 \times 100$ мм, толщина полок – 10 мм.

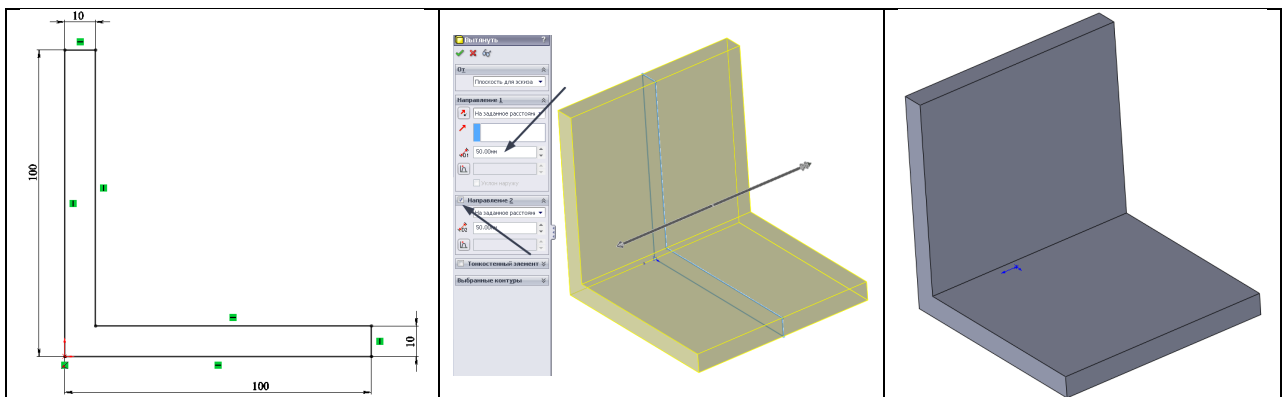


Рисунок 6 – Построение уголка

2. Создаем ребро жесткости по центру уголка, его толщина равна толщине полок. Замкнутый эскиз ребра выполняем на той же самой плоскости.

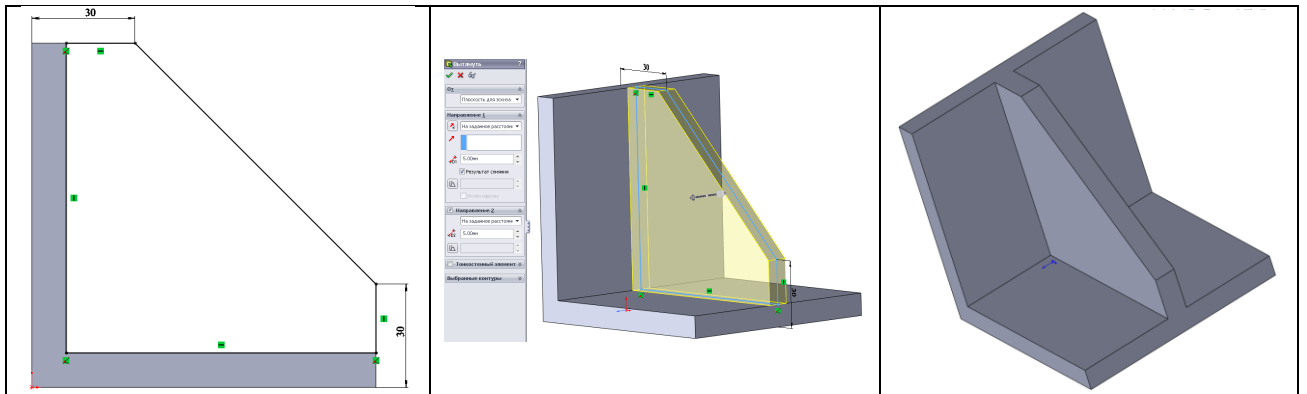


Рисунок 7 – Построение ребра жесткости

3. Создаем крепежные отверстия на нижней полке упора. В примере диаметр отверстия 10 мм, расстояние между ними – 60×60 мм, расстояние от передней стенки до оси отверстия – 20 мм.

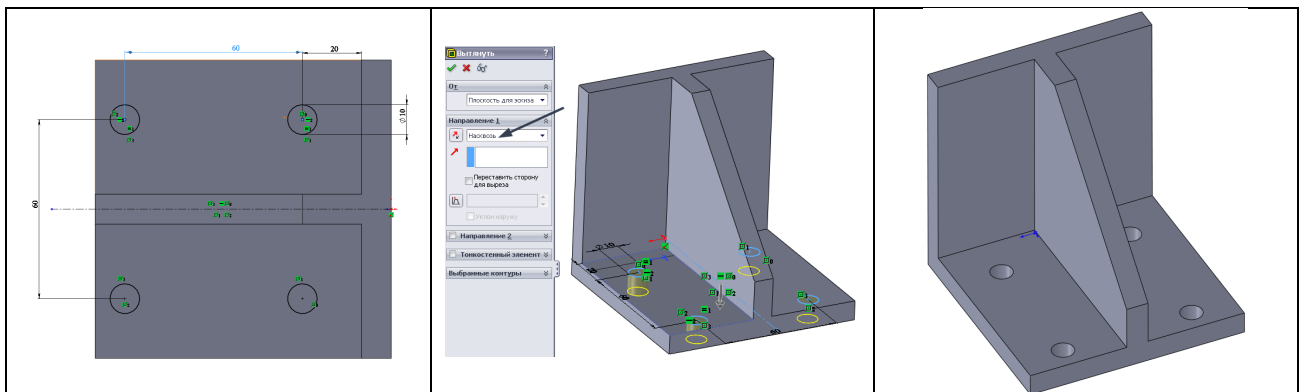






Рисунок 8 – Построение крепежных отверстий




Рассмотрим подробнее каждый этап.

1. Создадим «тело» упора в виде уголка 100×100 мм, с толщиной полок 10 мм (рисунок 6). Для создания уголка надо выбрать плоскость, нарисовать на ней эскиз – замкнутый контур уголка, а затем вытянуть его по нормали (т.е. перпендикулярно к плоскости) на половину ширины в обе стороны от плоскости построения эскиза.

Пока в модели есть только три predetermined плоскости: «Спереди» (Front), «Сверху» (Top), «Справа» (Right). Разместим уголок на плоскости «Сверху». Для выбора плоскости достаточно щелкнуть мышью на значок этой плоскости в дереве построения (показана стрелкой на рисунке 5 в области дерева построения). В графической области экрана появится изображение плоскости «на

ребре». Далее нажимаем на кнопку меню  «Эскиз». Выбранная плоскость автоматически поворачивается параллельно экрану, а в дереве построения появляется новый элемент – «Эскиз 1».

Нарисуем уголок с вершиной в начале координат (на рисунке 5 начало координат разместилось в центре экрана). Проведем горизонтальную линию. Для этого нажмем на кнопку «Линия» в главном меню эскиза. Курсор примет вид карандаша с линией рядом – . Переместим его в точку начала координат. Когда курсор окажется возле выбранной точки, рядом с ним появится значок автоматической привязки . Если в этот момент нажать на левую кнопку мыши, то начало будущей линии будет располагаться точно в начале координат. Щелкнем один раз по точке начала координат и начнем двигать мышку. От начала будущей линии начнет тянуться «резиновая» линия, показывающая, как пройдет линия, если щелкнуть в точке нахождения курсора. Заметим, что при положении курсора на одном уровне с началом линии рядом с ним появляется новый значок в виде горизонтальной черточки . В этот момент щелкнем мышью, тогда созданная линия будет строго горизонтальна.

Проведем остальные линии контура уголка, не стараясь пока точно угадать размеры. Все линии должны быть либо горизонтальны (в этот момент около курсора появится символ , либо вертикальны – символ ). При построении линий следует ориентироваться на изменение курсора при приближении к концу линии: . Если в этот момент щелкнуть мышью, то новая линия начнется (или закончится) точно на конце линии-мишени.




Теперь точно зададим размеры уголка. Для этого нажмем кнопку  «Автоматическое нанесение размеров» в меню эскиза. Курсор примет вид стрелки со стилизованным изображением размера – . Щелкнем им по линии. Появится изображение размера. Перемещая мышью, можно выбрать место расположения размера или даже его форму (диаметр или линейный размер для дуг или окружностей). Еще раз щелкнем мышью там, где хочется разместить размер. Появляется окошко «Изменить» с текущим значением размера. Это значение следует изменить на нужный, набрав значение на клавиатуре. Далее необходимо нажать на значок сохранения (рисунок 10) или просто на клавишу <Enter> на клавиатуре.




Рисунок 10 – Окно изменения размера

Эскиз полностью оформлен. Выходим из режима эскиза, нажав на иконку  возврата из эскиза в правом верхнем углу экрана.

Теперь вытянем получившийся контур на 50 мм в обе стороны от плоскости построения эскиза. Для этого щелкнем на «Эскиз1» в дереве построения, а затем раскроем список доступных компонентов кнопки «Элементы» главного меню. В выпадающем списке выберем пункт «Вытянутая бобышка/основание» (рисунок 11).

Дерево построений свернулось и переместилось в верхнюю левую часть графической области, а вместо него появилось меню «Вытянуть». По умолчанию предлагается вытянуть выбранный контур на заданное расстояние ($D1=10$) от плоскости эскиза. Предполагаемый результат показывается полупрозрачным образом будущего элемента. Исправляем расстояние, на которое необходимо вытянуть – 50 мм (показано верхней стрелкой на рисунке 11) и ставим «птичку» на переключателе «Направление 2» (показано нижней стрелкой на рисунке 11). В появившемся поле вводим расстояние, на которое необходимо вытянуть в противоположном направлении – тоже 50 мм.

Нажимаем значок сохранения  или просто на клавишу <Enter>. Уголок построен.

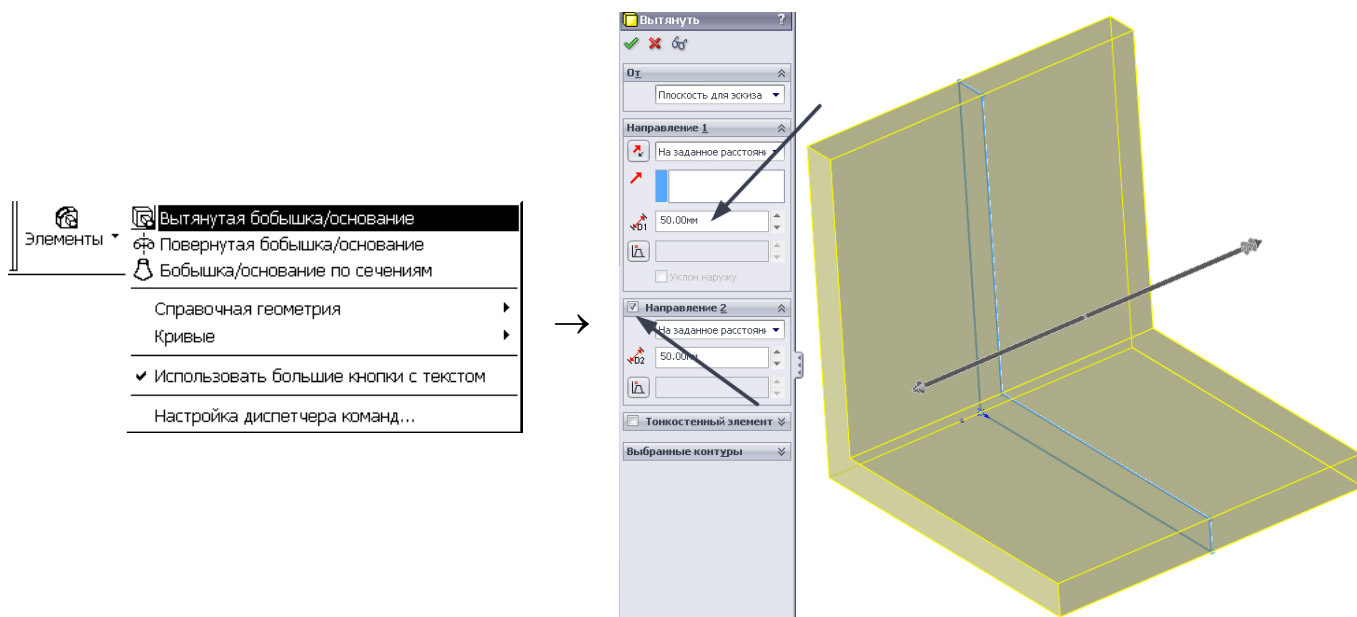













Рисунок 11 – Меню «Вытянуть»



В дереве построения появился новый объект – Вытянуть1. Для удобства дальнейшей работы целесообразно дать ему более говорящее имя, например, «Уголок». Для этого достаточно выбрать объект в дереве построения и нажать правую клавишу мыши. В появившемся меню щелкнем на пункт «Свойства элемента ...», и в поле «Имя:» исправим название элемента



Используя дерево построения, очень легко редактировать элементы модели на любой стадии проектирования. Для этого достаточно щелкнуть на имени элемента правой кнопкой мыши. Появится т.н. контекстное меню, в котором, помимо прочих, есть две «волшебных» иконки:  – «Редактировать эскиз» и  – «Редактировать определение». Щелкнув по одному из них, попадаем либо в режим рисования, в который загружен именно выбранный эскиз, либо в меню создания элемента. И в том, и в другом случае можно изменить любой параметр эскиза (размер или форму элементов) или твердотельной операции (например, глубину вытягивания).

На экране объемные элементы могут иметь различные представления. Например, при каркасном (wireframe) представлении все кромки отображаются так, как будто модель сделана из проволоки. Включает такой вид кнопка  в меню управления видами. Другая форма представления модели, традиционная для плоского черчения, отображение невидимых линий, когда кромки, которые нельзя увидеть под выбранным углом зрения, отображаются штриховыми линиями. Включает такой вид кнопка .

При твердотельных построениях удобнее использовать режим со скрытыми невидимыми линиями (включается кнопкой ) или одной из разновидностей закрашенной модели – с кромками, без кромок, с тенями. Эти режимы отображения включаются кнопками, соответственно, , ,  в меню управления видами.

2. Строим ребро. Щелкаем мышью на значок в дереве построения той же самой плоскости, на которой строили уголок («Сверху»). Для разнообразия теперь щелкаем по иконке 3D-построения, которое собираемся использовать  – «Вытянутая бобышка/основание». Сразу оказываемся в режиме рисования эскиза (в правом верхнем углу экрана – значок ). Для надежности нажмем на иконку  «Перпендикулярно (взгляду)». После этого эскиз гарантированно будет лежать в плоскости экрана.

Обведем *замкнутый* контур ребра (рисунок 12). Начинаем линию () с ребра уже существующего уголка. Момент касания легко определить, поскольку в этот момент курсор принимает вид . Если в этот момент щелкнуть мышью, то линия начнется или закончится точно на ребре. Обратите внимание на пунктирные линии, появляющиеся на эскизе в момент пересечения курсором какой-либо линии. Эти линии показывают горизонтальное и вертикальное направление от начальной точки, облегчая «прицеливание».

Обведем линиями, в том числе, и уже существующие ребра уголка. Проставим размер () между точками существующей геометрии и эскиза. Выйдем из эскиза (.

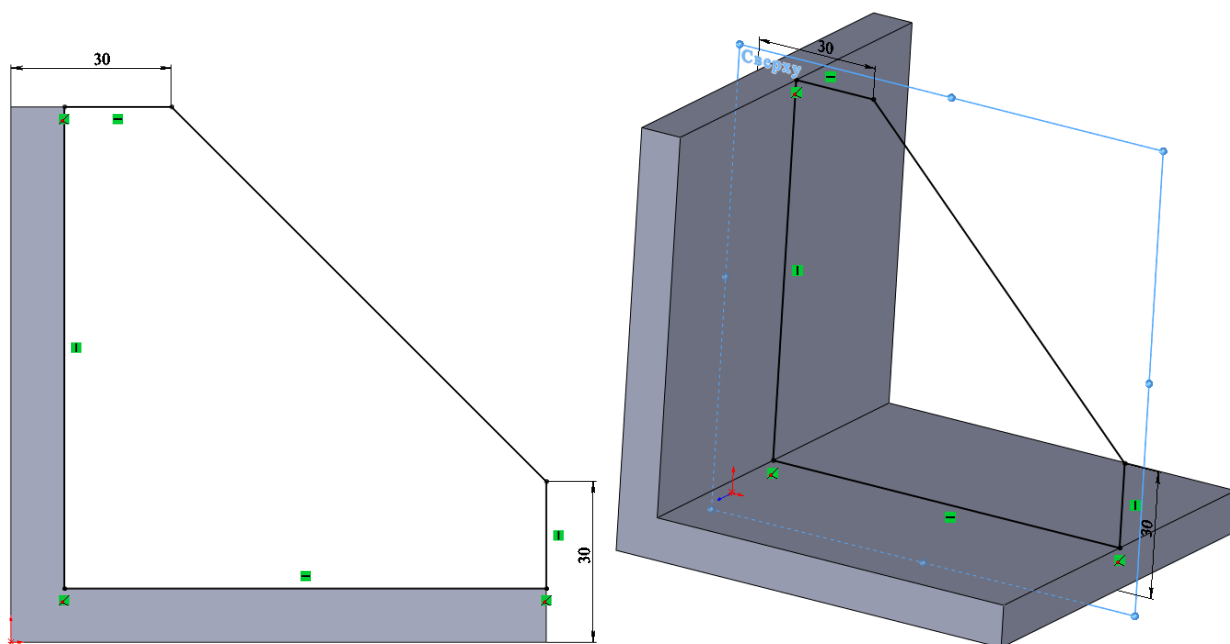


Рисунок 12 – Построение эскиза ребра

По аналогии с построением уголка, выдавливаем эскиз в обе стороны на половину толщины ребра – 5 мм (рисунок 13). Для этого активируем опцию «Направление 2» и задаем значение 5 мм и в «Направление 1», и в «Направление 2». Нажимаем значок сохранения ☑ или просто на клавишу <Enter>. Ребро встроено в уголок.

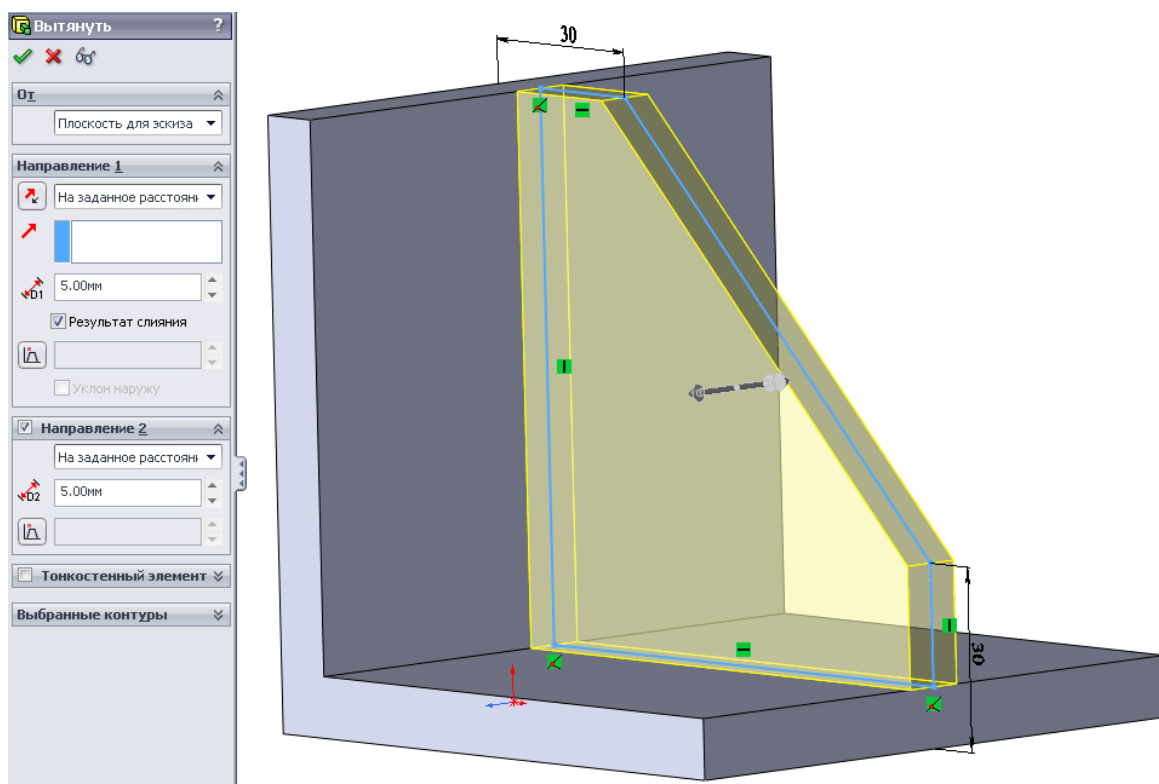










Рисунок 13 – Построение ребра


3. «Сверлим» отверстия. Выбираем плоскость построения – грань уже существующего уголка. При наведении курсора на грань его вид меняется:  □ (рисунок 14, а). Для того чтобы выделить грань, в этот момент необходимо щелкнуть по ней мышью. Выделенная грань изменяет свой цвет.

Выбираем операцию  «Вырез-Вытянуть». Автоматически оказываемся в режиме эскиза (в правом верхнем углу экрана – значок ). Нажмем на иконку  «Перпендикулярно (взгляду)».





Нарисуем окружность, для этого нажмем на кнопку «Окружность» () в меню эскиза. Курсор примет вид карандаша с кружочком рядом – . Щелкнем один раз в любом месте основания уголка и начнем двигать мышку. По мере движения курсора на экране будет отрисовываться окружность. Текущий радиус окружности (например, $R=10.45$) показывается рядом с курсором, соединенном с центром пунктирной линией. Еще раз щелкнем мышью в любом месте экрана. Окружность создана.

Скопируем отверстие. Для этого нажмем на него и, зажав клавишу <Ctrl>, потянем в сторону. Щелкнем мышью примерно там, где хочется видеть новую окружность. Появится новая окружность. Пока эти две окружности, к сожалению, независимы друг от друга. Зададим их идентичность. Для этого, удерживая нажатой клавишу <Ctrl>, щелкнем по очереди на одной и второй окружности. В появившемся окошке «Свойства» щелкнем на общем свойстве всех выбранных дуг – их равенстве между собой (на рисунке 14, б указывает курсор). Нажмем на  («ОК»).

Теперь достаточно проставить размеры только на одно отверстие; второе отверстие автоматически изменит свои размеры. Зададим диаметр окружности. Для этого нажмем кнопку «Автоматическое нанесение размеров» в меню эскиза. Курсор примет вид стрелки со стилизованным изображением размера – . Щелкнем им по окружности. Появится изображение размера. Перемещая мышь, можно выбрать место расположения размера или даже его форму (диаметр или линейный размер). Еще раз щелкнем мышью там, где хочется разместить размер. Появляется окошко «Изменить» с текущим значением размера. Это значение следует изменить на 10 (диаметр окружности), набрав значение на клавиатуре.

Зададим условие, что отверстия размещены ровно относительно сторон уголка. Иными словами, центры обеих отверстий лежат на одной горизонтальной линии. Для этого достаточно, зажав клавишу <Ctrl>, щелкнуть по **центрам** отверстий и в появившемся окошке «Свойства» выбрать свойство «Горизонтальный», нажать на  («ОК»).

Теперь зададим условие, что отверстия размещены симметрично. Для этого предварительно проведем осевую линию по центру уголка. Выберем команду «Осевая линия» (верхняя часть рисунка 14, в) и проведем ее строго горизонтально от точки начала координат (рисунок 14, г). Теперь нажмем на

кнопку  «Зеркально отразить объекты» в меню эскиза. Щелкнем по обоим окружностям (их имена, «Дуга1» и «Дуга2» появятся в поле  «Объекты для зеркального отражения:»). Затем активируем (щелкнем мышью по) поле  «Зеркально относительно:» и укажем на осевую линию (нижняя часть рисунка 14, в),  («ОК»).

Проставим размеры между центрами отверстий по горизонтали и вертикали, а также между центрами и передней стенкой (рисунок 14, г). Расстояние от передней стенки до центра отверстия задаем произвольно, из условия удобства завинчивания болта.

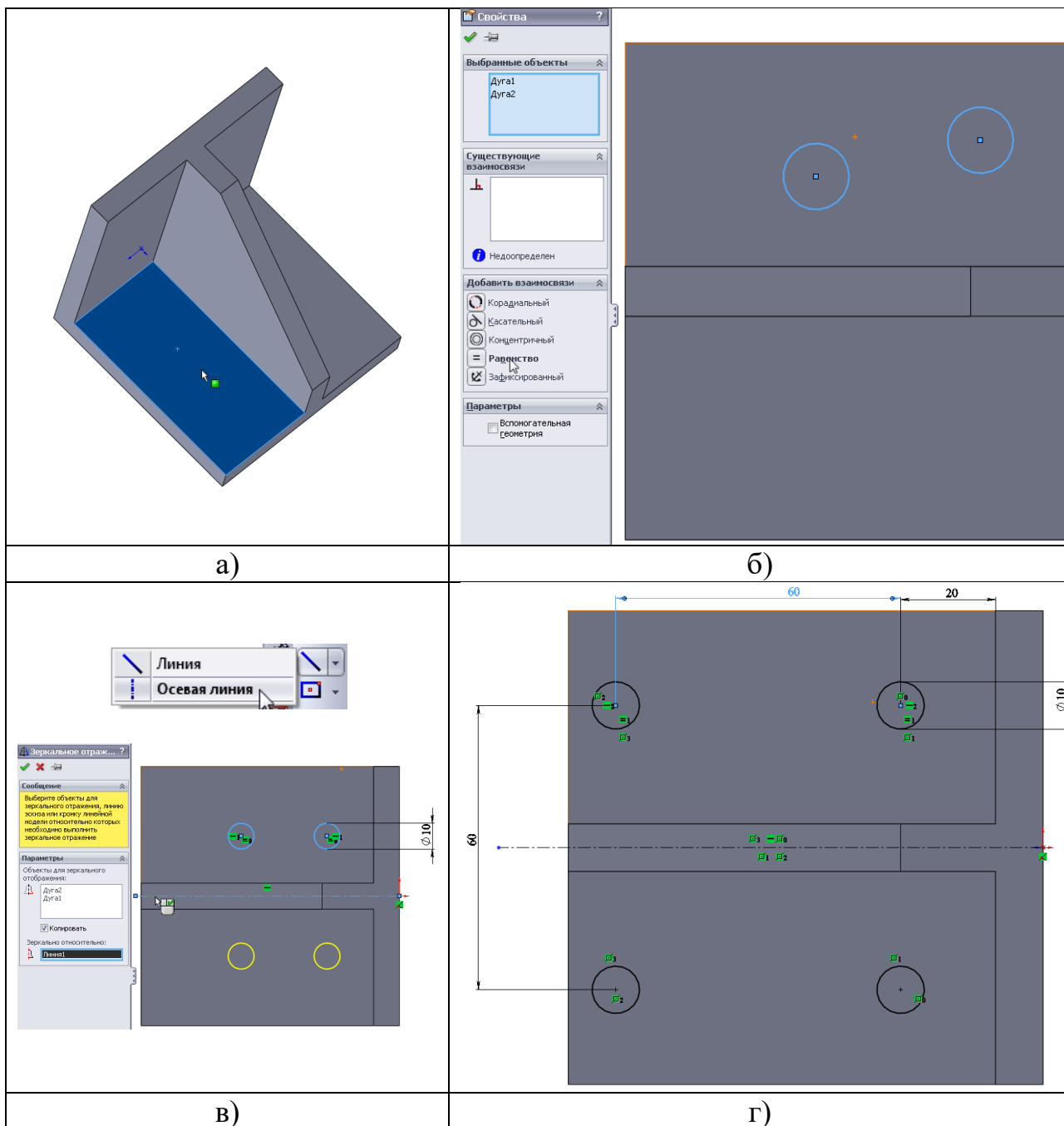


Рисунок 14 – Построение эскиза отверстий

Выйдем из эскиза (). В окне «Вырез-Вытянуть» изменяем граничное условие с «На заданное расстояние» на «Насквозь» (показано стрелкой на рисунке 15). При этом условии будет вырезан весь существующий материал по направлению выреза. Для завершения построения нажмем на значок сохранения («OK»).

Модель упора построена. Сохраним ее в своей рабочей директории («Файл» – «Сохранить как...»).

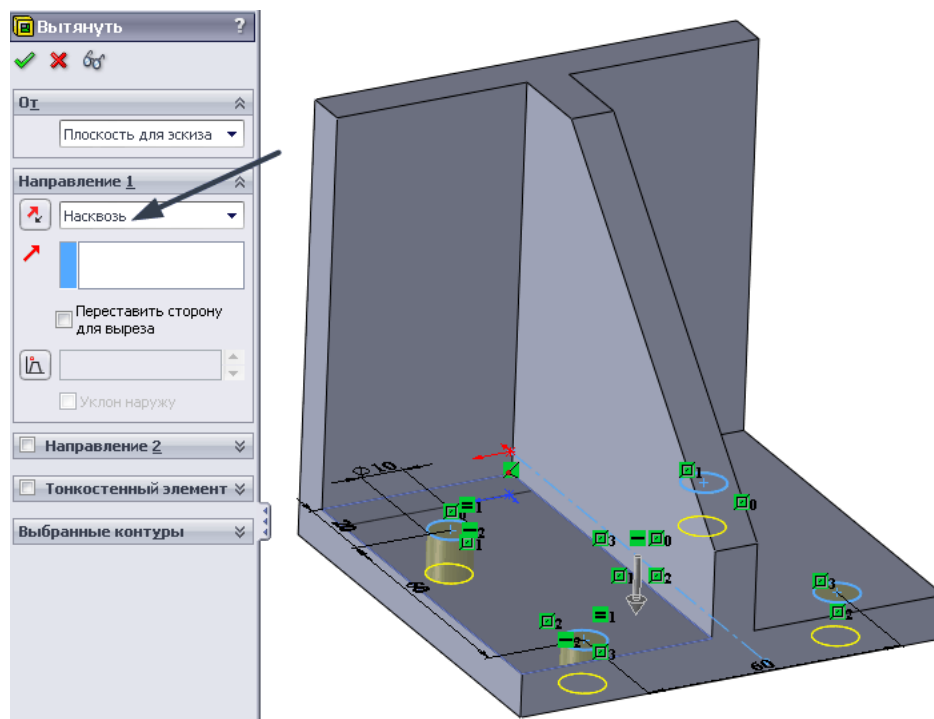


Рисунок 15 – Вырез отверстий

4. ЭКСПОРТ ГЕОМЕТРИИ ИЗ SolidWorks

В общем случае, САЕ-пакеты могут не работать напрямую с файлами, созданными в САД-пакетах. Поэтому геометрию, созданную в САД-пакете, часто приходится преобразовывать в промежуточный формат, который воспринимает САЕ-пакет. Для импорта твердотельной геометрии удобней всего использовать промежуточные файлы в формате ACIS (файлы с расширением *.sat) или Parasolid (файлы с расширением *.x_t).

Для преобразования твердотельной модели в формат Parasolid («родной» формат SolidWorks) необходимо:

– запустить SolidWorks, открыть файл модели. Далее выбрать пункты меню «Файл» – «Сохранить как...». В поле «Имя файла:» окна «Сохранить как»

набрать имя экспортируемого файла (upor), в поле «Тип файла:» выбрать пункт «Parasolid Files (*.x_t)»;

– нажав на ставшую активной кнопку «Параметры» окна «Сохранить как...», выбрать версию Parasolid, по крайней мере, на один-два номера ниже, чем поддерживается САЕ-пакетом; например, 9.0 (рисунок 16), «ОК»;

– нажать «Сохранить». Закрыть SolidWorks.

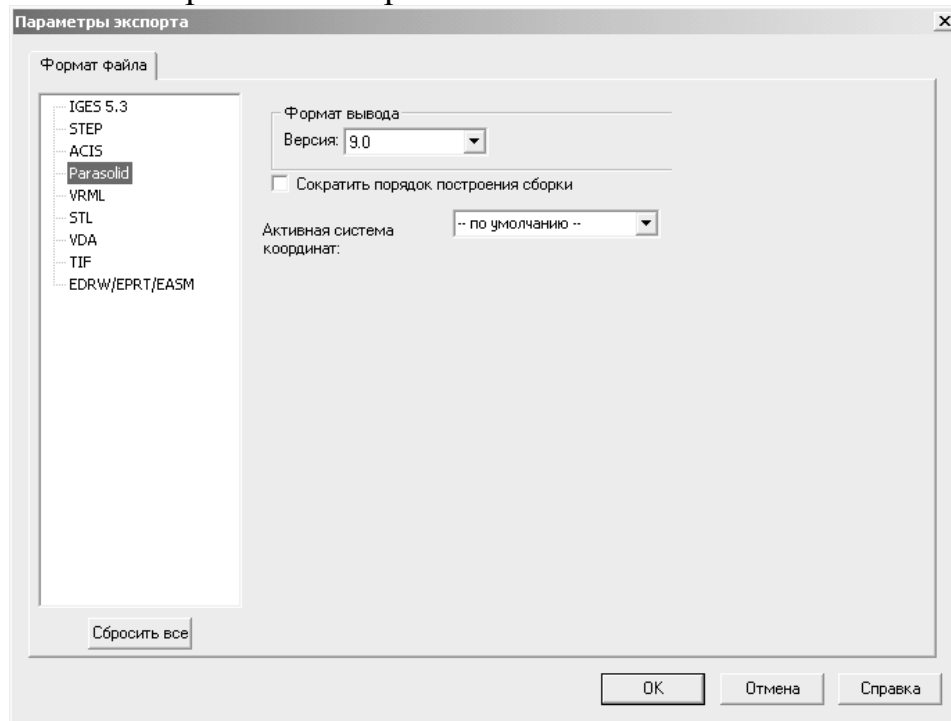



Рисунок 16 – Окно настройки параметров экспорта из SolidWorks

5. РАСЧЕТ в ANSYS Workbench 15

- 1) Запустить ANSYS Workbench 15, нажав на иконку  на рабочем столе. В появившемся окне «Unsaved Project – Workbench» выбрать пункт «Static Structure» (показан стрелкой на рисунке 5.1, а) и, не отпуская мышку, перетащить его на белое поле «Project Schematic» в появившейся при этом красный квадрат (рисунок 5.1, б).

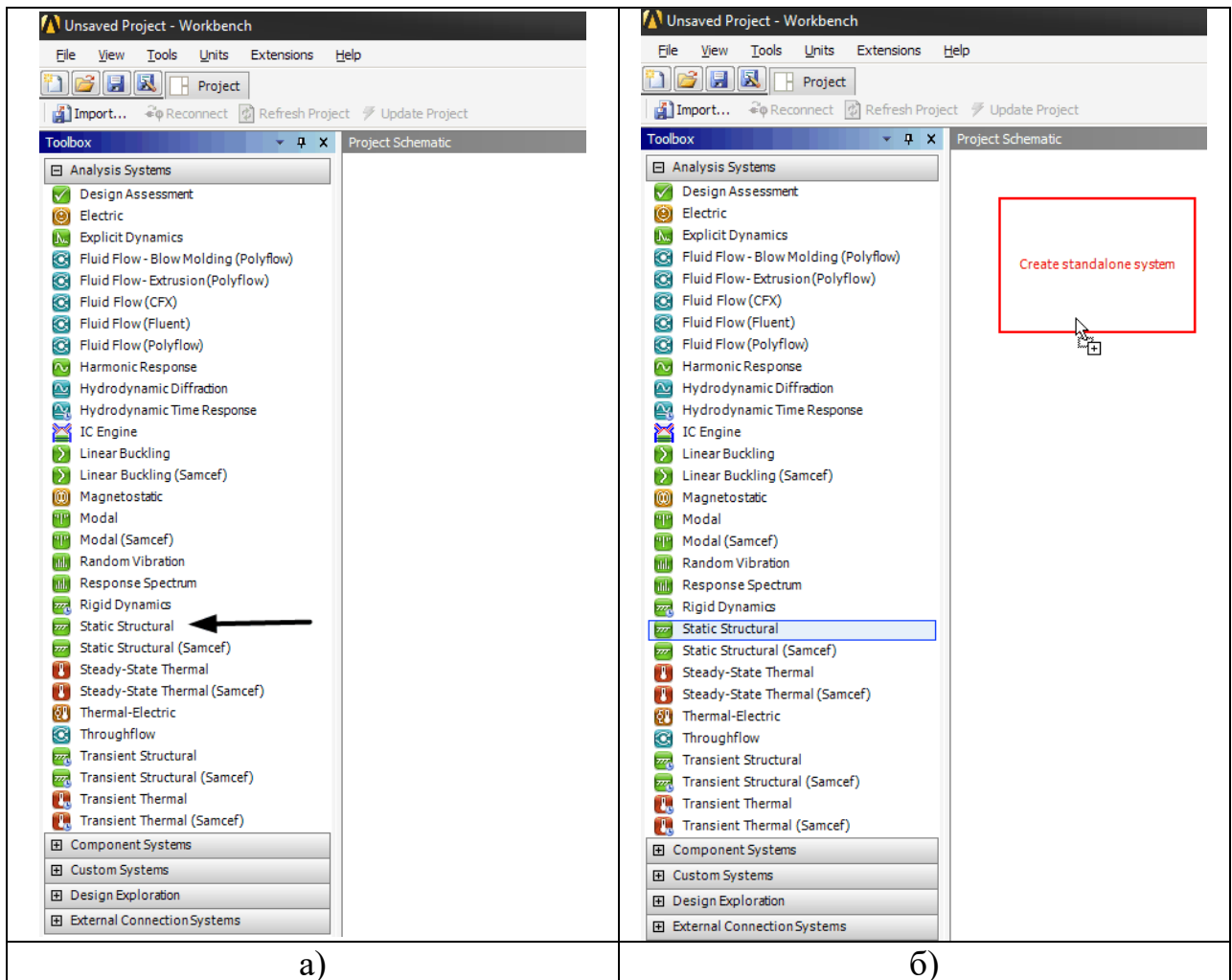




Рисунок 5.1 – Выбор вида расчета в ANSYS Workbench 15

- 2) В появившемся меню (рисунок 5.2) нажать **правой** кнопкой мыши на пункт «Geometry» («Геометрия (загрузить)»), выбрать пункт «Import Geometry...» и далее выбрать пункт «Browse...» («Найти...»). Зайти на диск D: в свою директорию, и щелкнуть по файлу, в который был импортирован упор, **именно в формате Parasolid – *.x_t!**

Обратите внимание, значок  («чего-то не хватает») сменился на  («все хорошо»).

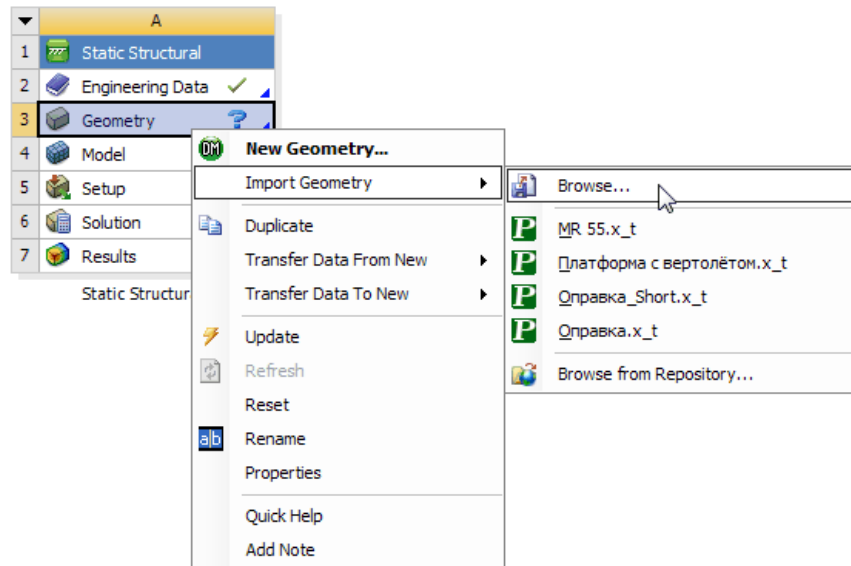


Рисунок 5.2 – Загрузка геометрии

- 3) Далее (рисунок 5.3) нажать **правой** кнопкой мыши на пункт меню «Model» и выбрать опцию «Edit...» («редактировать»). Немного подождать, появится экран расчетов **M** «Mechanical». В верхней левой части экрана расположено дерево построений. При выборе какой-либо команды можно задать необходимые параметры в меню задания опций (в нижней левой части экрана).

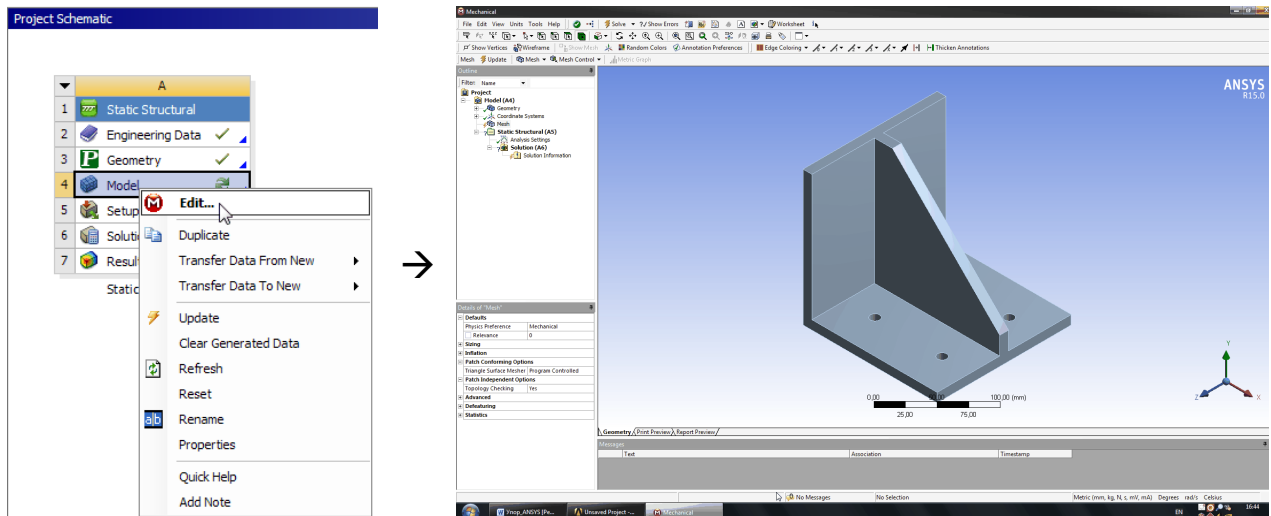
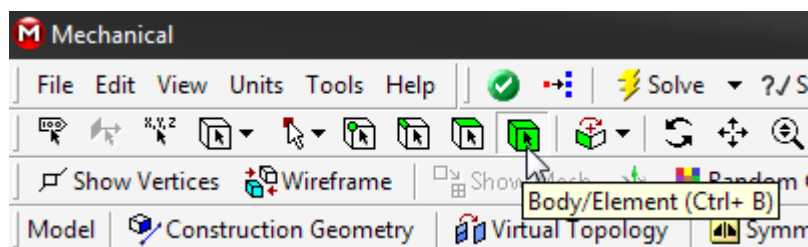


Рисунок 5.3 – Начало расчета

- 4) Проверить, чтобы был указан вид объекта «Body/Element» («Тело»), при необходимости щелкнув по иконке в верхнем меню экрана:



Далее нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Mesh» («сетка») в дереве построения, выбрать цепочку команд (рисунок 5.4) «Insert» – «Sizing» («Вставить» – «Разметить»):

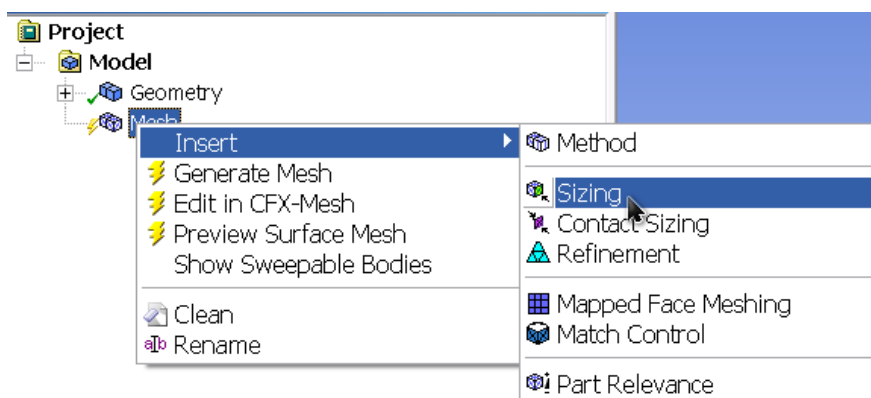


Рисунок 5.4 – Задание размеров конечных элементов

5) В нижней левой части экрана, в меню задания опций «Details of “Sizing - Sizing»», в разделе «Geometry» («Геометрия») предлагается выбрать объект на экране (рисунок 5.5):

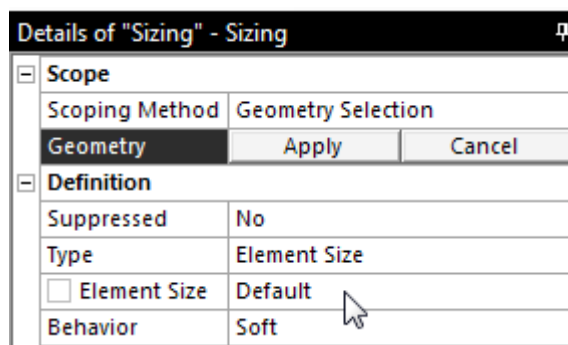


Рисунок 5.5 – Выбор объекта

Щелкнуть по детали, и далее по кнопке «Apply» («Применить»).

Далее щелкнуть мышью в поле данных раздела «Element Size» («размер элемента», указан стрелкой) и задать размер 5 (мм). Нажать <Enter>. В примере на рисунке 5.5 в этом поле написано слово «Default» («размер по умолчанию»).

Если вместо кнопки «Apply» появилось желтое поле, в котором написано «No Selection», то надо просто щелкнуть по этой надписи (см. рисунок). Если что-

то перед этим было выбрано, то появится кнопка «Apply», по которой надо щелкнуть.

| Details of "Sizing" - Sizing | |
|------------------------------|---------------------------|
| Scope | |
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Geometry | No Selection |
| Definition | |
| Suppressed | No |
| Type | Element Size |
| Element Size | Default |
| Edge Behavior | Curv/Proximity Refinement |

- 6) Нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Mesh» («сетка») и выбрать команду «Generate Mesh» («Создать сетку»), рисунок 5.6:

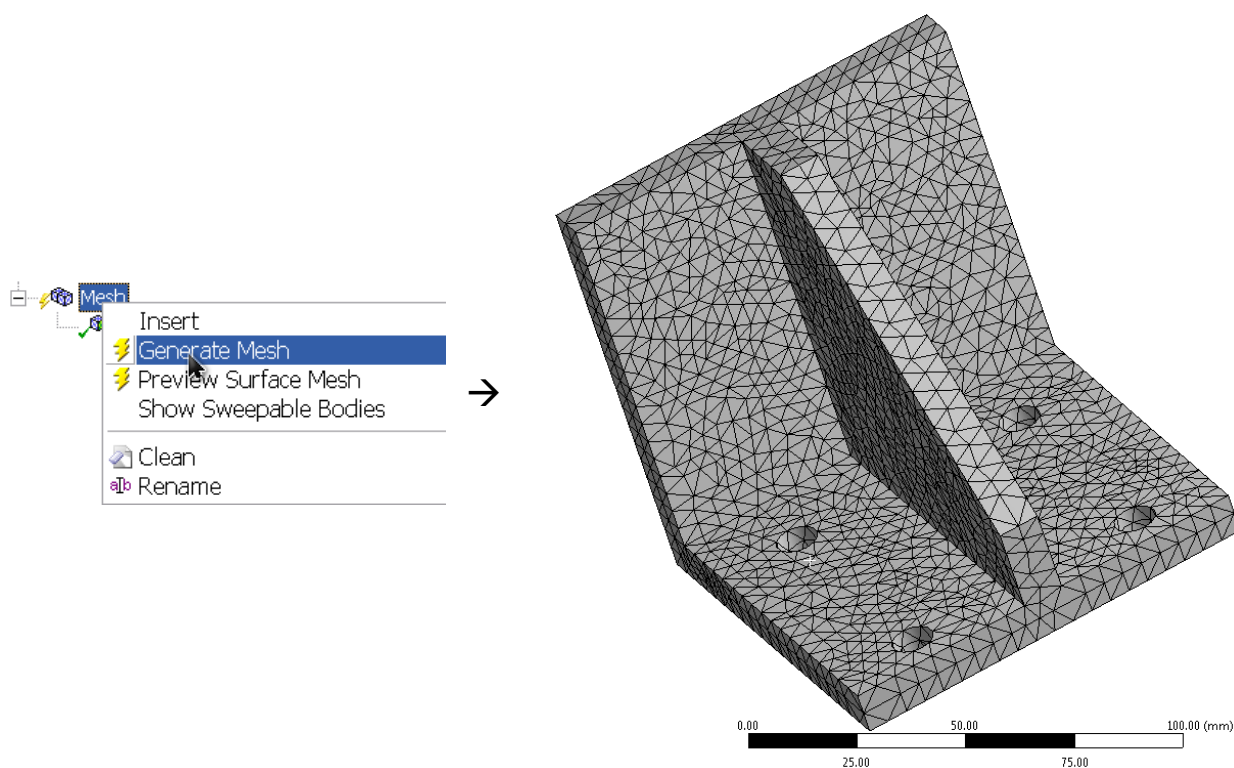


Рисунок 5.6 – Создание нерегулярной сетки КЭ

- 7) Сетка конечных элементов (КЭ) создана, но желательно приблизить форму конечного элемента к кубу и сгустить (сделать более мелкую сетку) во **внутренних** углах и на кромках отверстий (будущих областях закрепления). Зададим условие «кубичности» КЭ. Для этого следует нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Mesh» («сетка») и выбрать цепочку команд «Insert» – «Method» («Способ создания сетки»), рисунок 5.7, *a*. Щелкнуть по детали, и далее по кнопке «Apply» («Применить») в нижнем меню «Details of “Automatic Method” – Method».

Далее раскрыть пункт нижнего меню «Method» и вместо «Automatic» выбрать опцию «Hex Dominant» («Предпочтительно кубические»), рисунок 5.7, б).

Нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Mesh» («сетка») и выбрать команду «Generate Mesh» (результат – на рисунке 5.7, в).

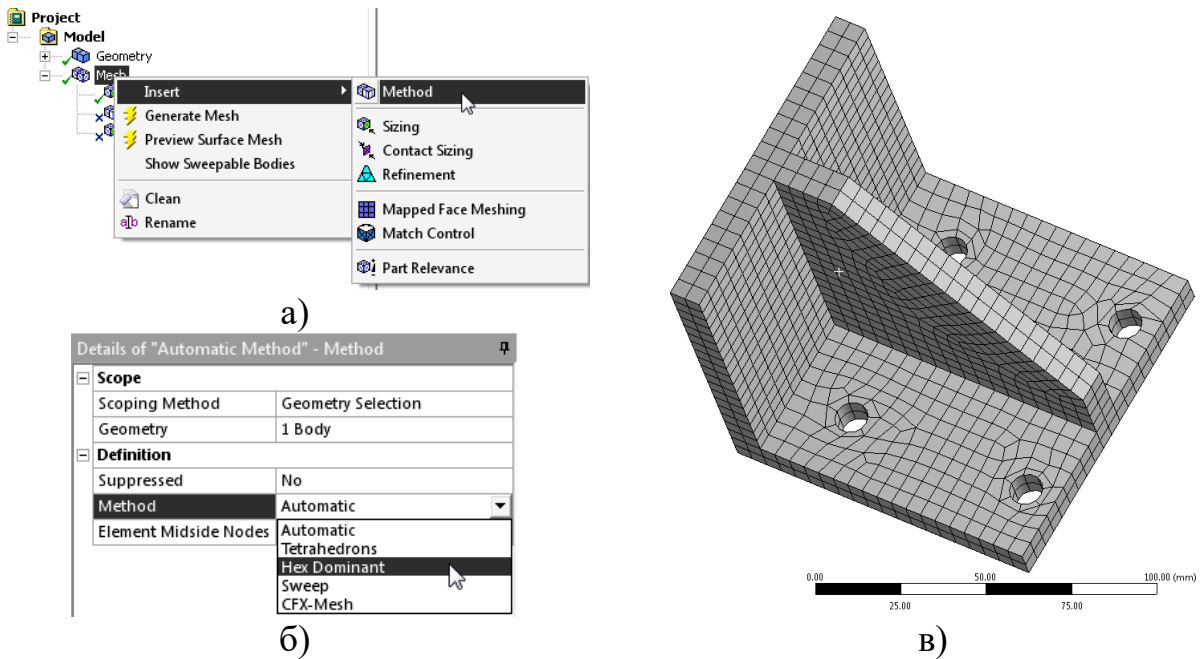


Рисунок 5.7 – Создание кубической сетки КЭ

- 8) Теперь сгустим сетку в углах и на кромках отверстий. Предварительно следует выбрать вид объекта «Edge» («Ребро»), при необходимости щелкнув по иконке в верхнем меню:



Далее нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Mesh» («сетка») и выбрать команду «Insert» – «Sizing».

Зажав кнопку <Ctrl>, щелкнуть по всем **внутренним** углам и кромкам отверстий (снизу и сверху) упора (рисунок 5.8, а). Далее щелкнуть по кнопке «Apply» («Применить») в нижнем меню «Details of “Sizing - Sizing» («Вставить» – «Разметить»).

В поле данных раздела «Element Size» («размер элемента») задать размер 2 мм.

Нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Mesh» («сетка») и выбрать команду «Generate Mesh» (результат – на рисунке 5.8, **б**).

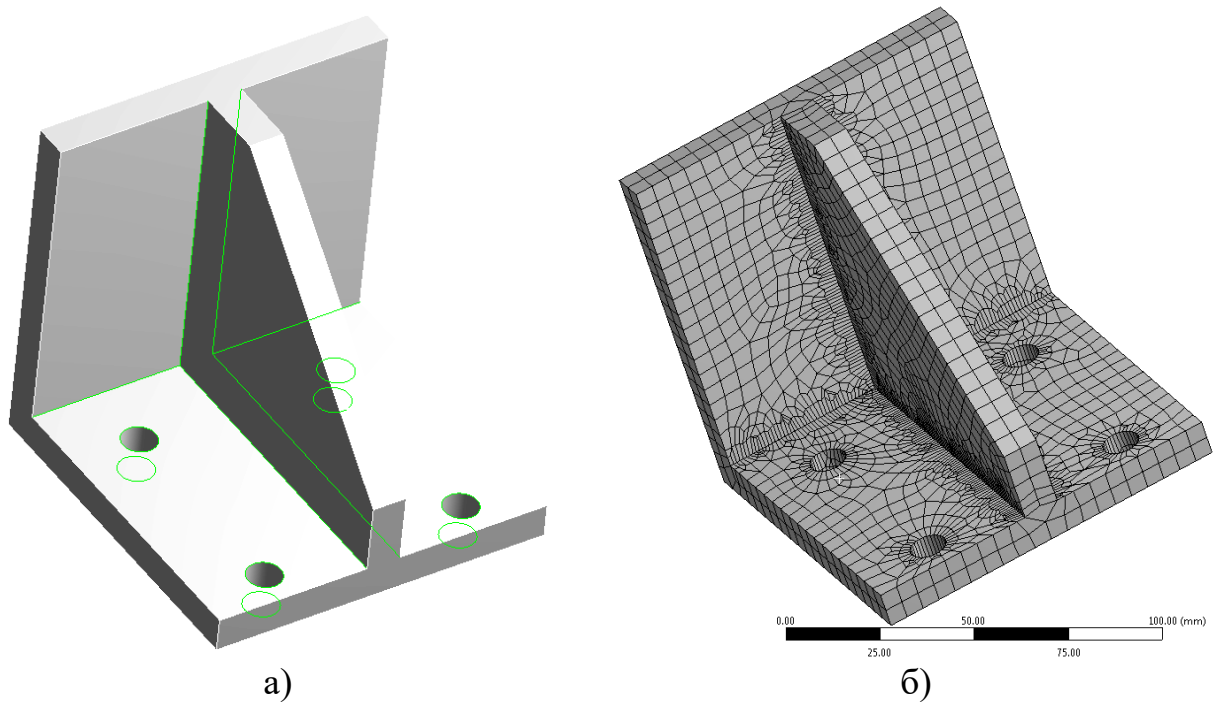


Рисунок 5.8 – Сгущение сетки КЭ по углам

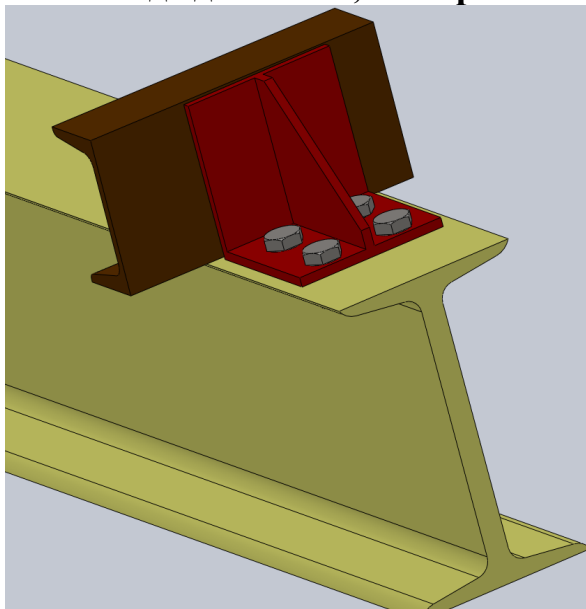
Далее следует провести ТРИ разных варианта расчета упора, нагруженного одной и той же силой 1000 Н, но по-разному приложенной:

- 1) приложенная нагрузка равномерно распределена по передней грани упора, все крепежные болты зажаты (рисунок 2);
- 2) приложенная нагрузка равномерно распределена по передней грани упора, но один из крепежных болтов отсутствует или не зажат (рисунок 3);
- 3) из-за перекоса упора нагрузка прикладывается к боковому ребру передней грани упора, при этом все крепежные болты зажаты (рисунок 4).

Для тренировки все три расчета следует делать **отдельно**, с начала до конца, от импорта геометрии до визуализации.

Вариант 1

нагрузка приложена в виде давления, все крепежные болты зажаты



- 9) Нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Analysis Settings» («настройки анализа») и выбрать цепочку команд «Insert» – «Pressure» («Вставить» – «Давление»), рисунок 5.9. Щелкнуть по наружной грани упора, рисунок 5.9, б. Нажать на клавишу «Apply» («Применить») в нижнем меню «Details of “Pressure”».

В поле «Magnitude» («значение») ввести **расчетное** значение давления в МПа. Поле показано стрелкой на рисунке 5.9, а. Для примера: давление P от силы 1000 Н, действующей на переднюю поверхность упора с размерами 140×100 мм, равно:

$$P = \frac{1000}{140 \times 100} = 0,071428 \text{ (МПа)}.$$

Каждому варианту соответствует свое значение давления!

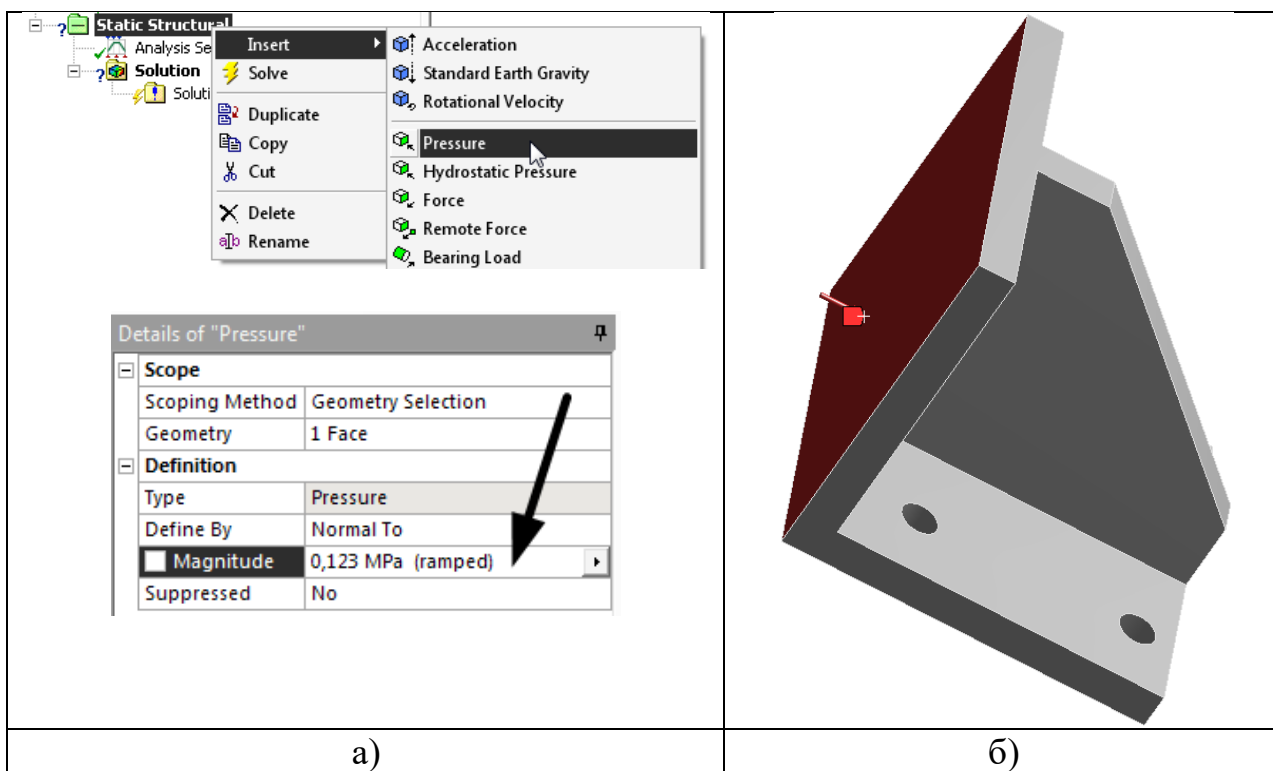


Рисунок 5.9 – Задание давления на переднюю грань упора

10) Жестко закрепить внутреннюю поверхность отверстий. Для этого нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Analysis Settings» («настройки анализа») и выбрать цепочку команд «Insert» – «Fixed Support» («Вставить» – «Жесткое закрепление»), рисунок 5.10.

Выбрать с **нажатой клавишей** <Ctrl> внутреннюю поверхность всех отверстий, далее по кнопке «Apply» («Применить») в нижнем меню «Details of "Fixed Support"».

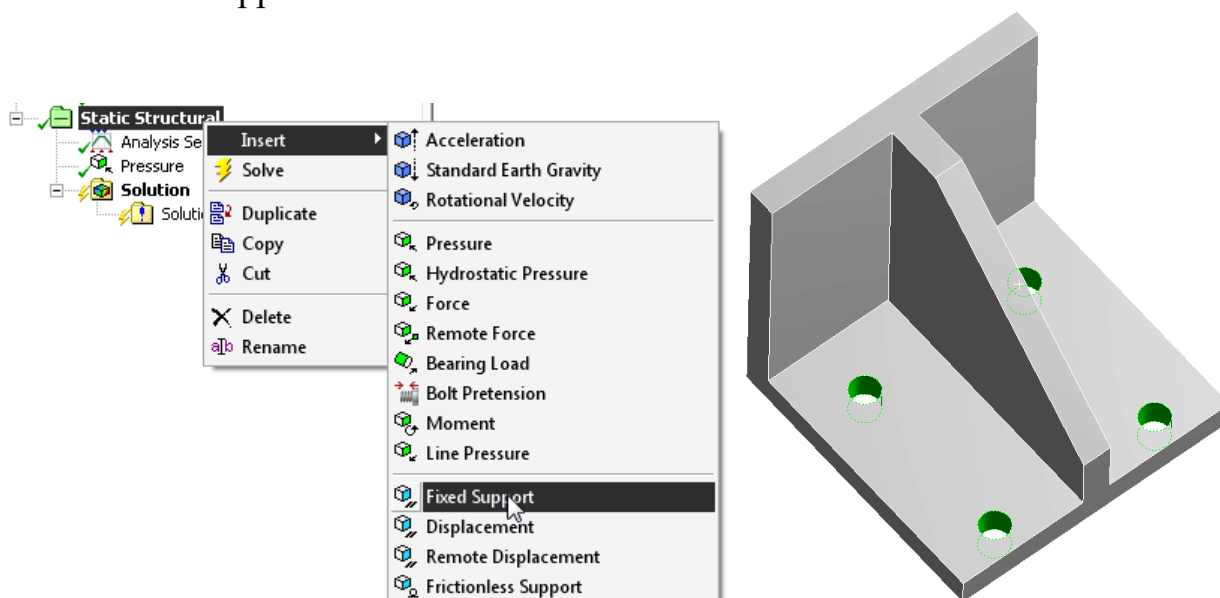
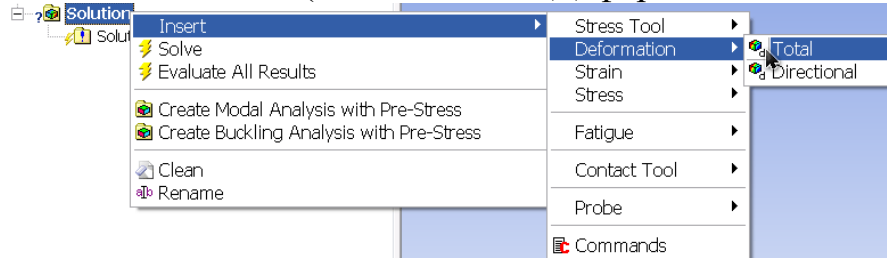
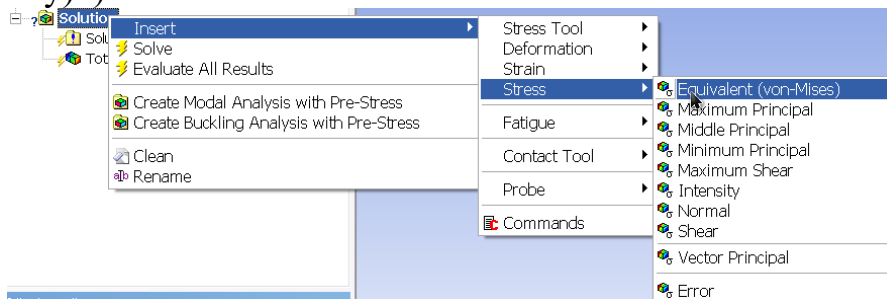


Рисунок 5.10 – Жесткое закрепление отверстий

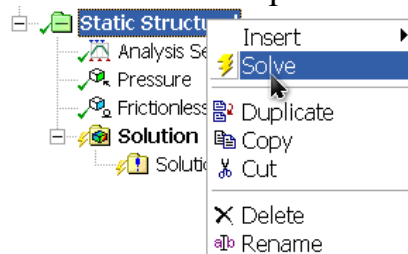
- 11) Задать параметры для просмотра будущих результатов – суммарную деформацию детали под нагрузкой. Для этого нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Solution» («Решения») и выбрать цепочку команд «Insert» – «Deformation» – «Total» («Вставить» – «Деформация» – «Общая»):



- 12) Задать параметры для просмотра будущих результатов – эквивалентные напряжения по Мизесу. Для этого нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Solution» («Решения») выбрать цепочку команд «Insert» – «Stress» – «Equivalent (von-Mises)» («Вставить» – «Напряжения» – «Эквивалентные (по Мизесу)»):



- 13) Запустить на расчет. Для этого нажать **правой** клавишей мыши по пункту верхнего меню «Static Structural» и выбрать команду «Solve» («Решить»):



- 14) После окончания расчета для просмотра распределения значений любого параметра достаточно щелкнуть по имени нужного (например, Equivalent Stress), рисунок 5.11.

В левой части графического экрана отображается т.н. «легенда» – примерное соответствие значений отображаемого параметра тому ли иному цвету. Красный цвет соответствует максимальным значениям, синий – минимальным. Например, на рисунке максимальное значение напряжений (68,289 МПа) наблюдаются на кромке передних крепежных отверстий, а углы упора практически не нагружены.

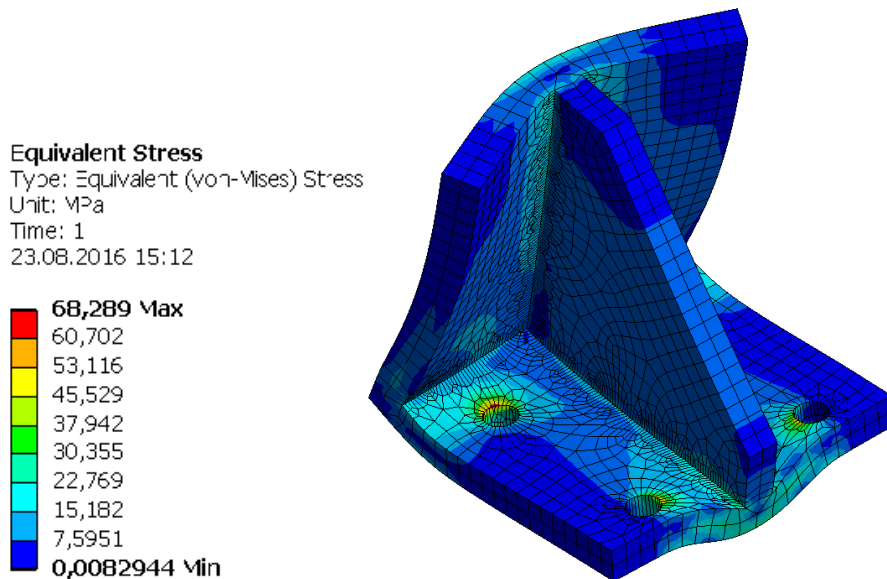


Рисунок 5.11 – Пример отображения распределения напряжений в упоре

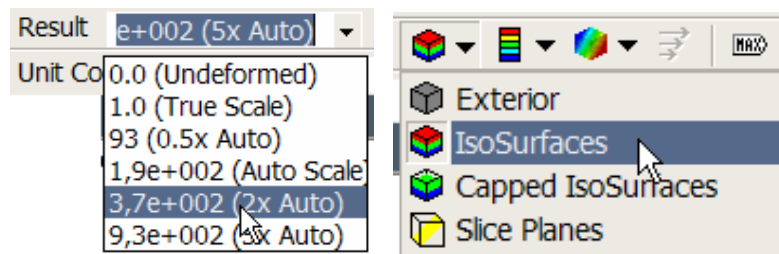
- 15) Для интересного отображения результатов можно также «поиграть» набором команд в верхнем меню:



Например, выбрав (или записав) желаемый масштаб в разделе «Result» («результаты»), можно изменить степень деформации детали на экране (рисунок 5.12). Выбрав опцию «IsoSurface», можно получить поверхности одинаковых напряжений (изоповерхности). Выбрав опцию «Show Elements», можно отобразить на экране сетку конечных элементов и т.д.

Если щелкнуть по кнопке «Probe», а затем – по модели, то в этом месте отобразится значение отображаемого параметра (например, напряжений). Кнопки «Max» и «Min» отображают места максимального и минимального значения параметра и т.д.

Сочетание различных опций отображения может дать весьма «научную» картинку.



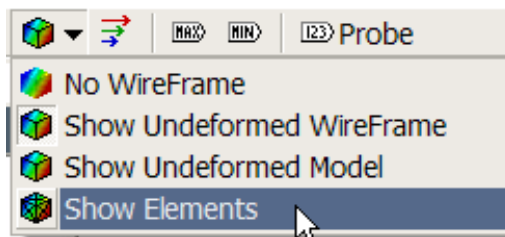



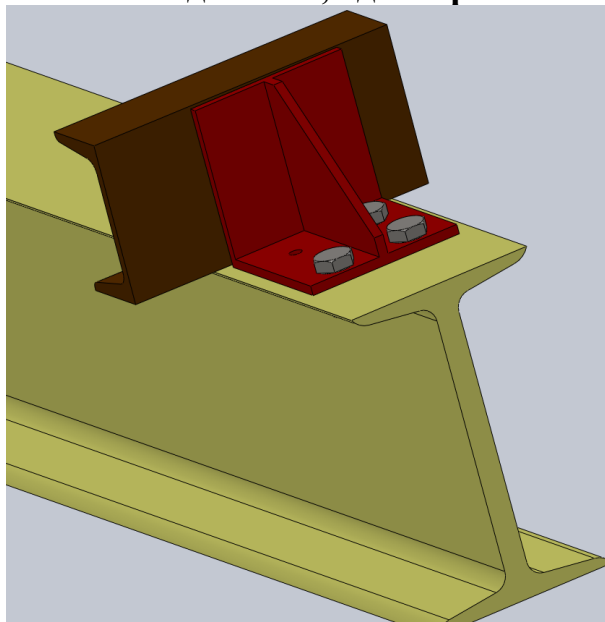
Рисунок 5.12 – Настройка отображения результатов расчета

- 16) Выполнить копии экрана распределения напряжений и деформаций (программа для фотографирования экрана HyperSnap  находится на рабочем столе) и сохранить для дальнейшей оценки различных случаев нагружения.
- 17) Закрывать ANSYS, сохранив все файлы модели (например, под именем Model-1). На все запросы машины отвечать «Yes», выбирая при этом **свою** директорию.



Вариант 2

нагрузка приложена в виде силы, один крепежный болт не зажат



- 18) Опять открыть ANSYS, повторить пункты 1...8.
- 19) Теперь в качестве нагрузки задать силу («Force»), равную 1000 Н. Для этого нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Analysis Settings» («настройки анализа») и выбрать цепочку команд «Insert» – «Force» («Вставить» – «Сила»).

Выбрать наружную грань упора. Нажать на клавишу «Apply» («Применить») в нижнем меню «Details of “Force”» (рисунок 5.13).

Для задания силы в нижнем меню вид задания силы переключить с Vector (вектор) на Component (составляющие силы по осям координат). Задать значение силы (1000 Н), ориентируясь на оси координат в правом нижнем краю экрана и логике нагружения упора (в примере сила направлена только вдоль оси X).

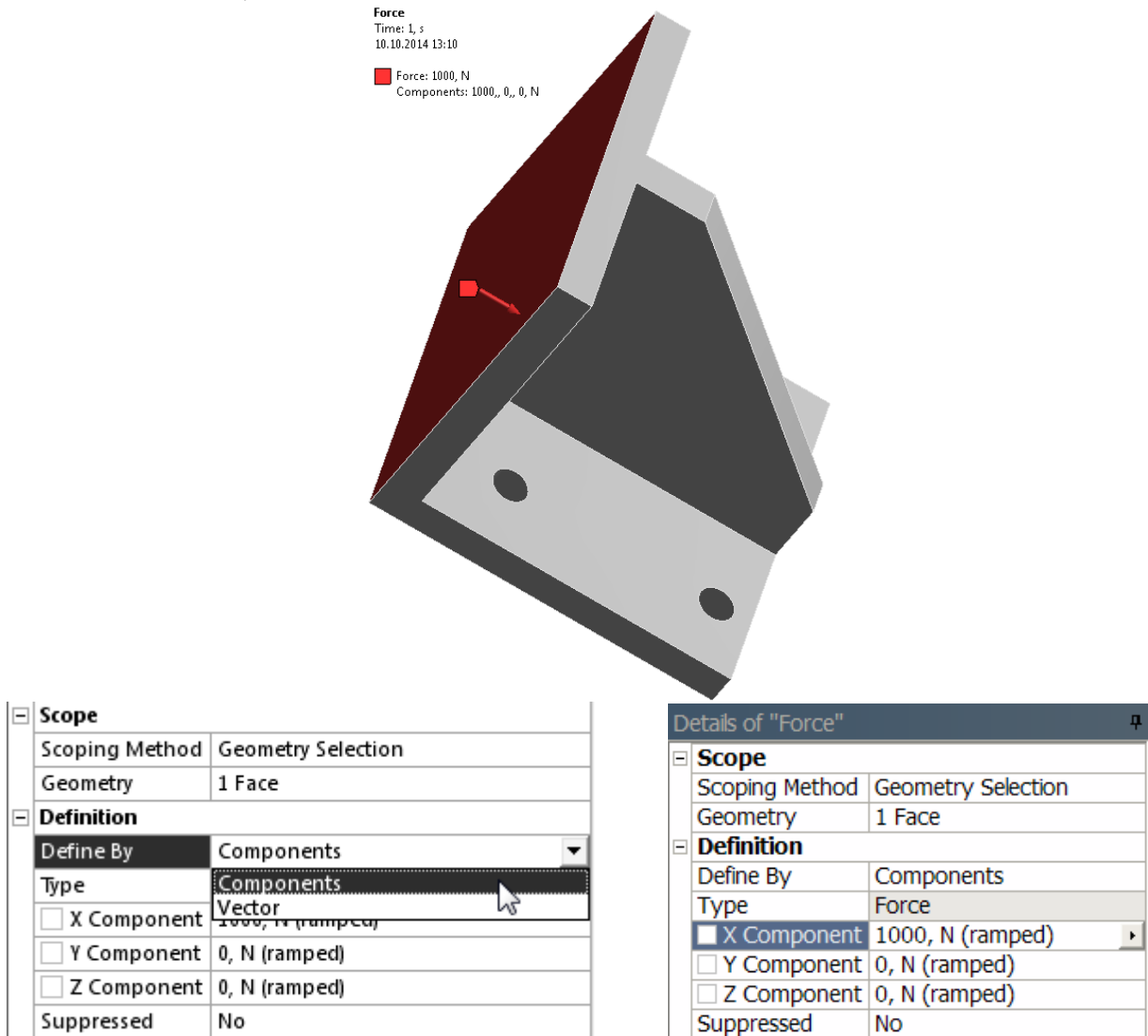


Рисунок 5.13 – Настройки при задании силы

- 20) Жестко закрепить внутреннюю поверхность, но уже только 3-х отверстий (рисунок 5.14). Для этого нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Analysis Settings» («настройки анализа») и выбрать цепочку команд «Insert» – «Fixed Support» («Вставить» – «Жесткое закрепление»).

Выбрать с нажатой клавишей <Ctrl> внутреннюю поверхность только 3-х отверстий, оставив одно из передних отверстий незакрепленным (имитирует

один не зажатый болт). Далее нажать кнопку «Apply» («Применить») в нижнем меню «Details of “Fixed Support”».

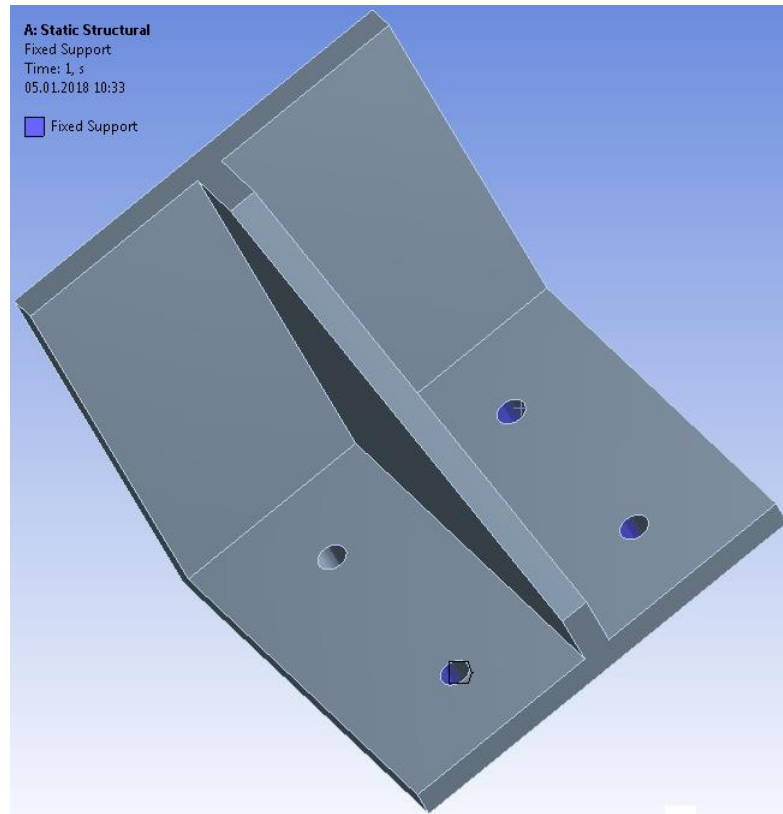


Рисунок 5.14 – Пример закреплений по варианту №2

- 21) Задать параметры для просмотра будущих результатов – см. пп. 11, 12 («Solution» → «Insert» – «Deformation» – «Total»; «Solution» → «Insert» – «Stress» – «Equivalent (von-Mises)»).
- 22) Запустить на расчет – см. п. 13 («Static Structural» → «Solve»).
- 23) Визуализировать распределение деформаций и эквивалентных напряжений по Мисесу (см. п. 14 и рисунок 5.15).

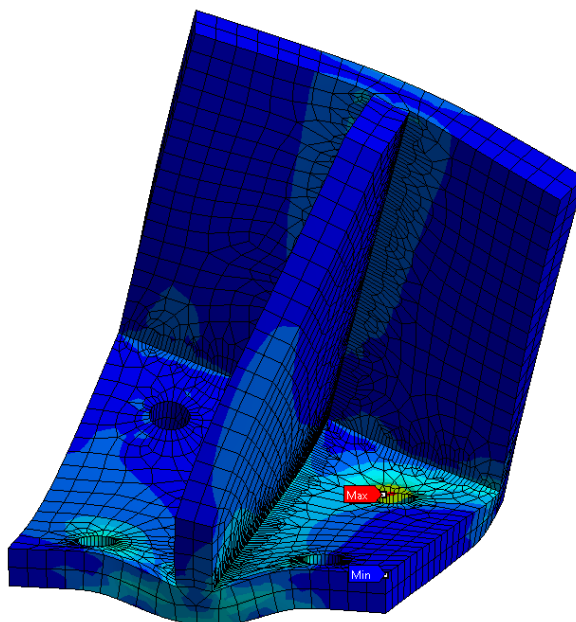

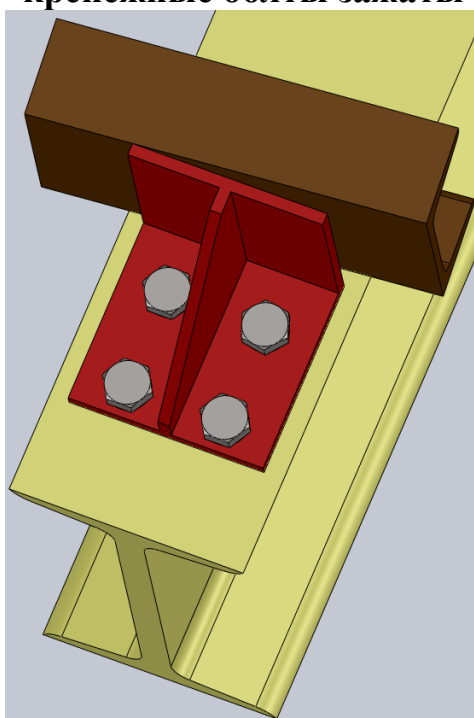


Рисунок 5.15 – Пример результатов расчета по варианту №2

- 24) Выполнить копию экрана (HyperSnap ) и сохранить для дальнейшей оценки различных случаев нагружения.
- 25) Закрывать ANSYS, сохранив все файлы модели (например, под именем Model-2) в своей директории.

Вариант 3

нагрузка прикладывается к боковому ребру передней грани упора, все крепежные болты зажаты



- 26) Опять открыть ANSYS, повторить пункты 1...8 и 10 (закрепить все четыре отверстия).
- 27) В качестве нагрузки задать силу 1000 Н, распределенную по длине кромки («Line Pressure»), равную:

$$P = \frac{1000}{\langle \text{высота кромки, мм} \rangle} = \text{***}, \text{Н / мм} .$$

Для этого нажать **правой** клавишей мыши по пункту «Analysis Settings» («настройки анализа») и выбрать цепочку команд «Insert» – «Line Pressure» («Вставить» – «Сила по длине»).

Выбрать наружную **кромку** (линию) упора. Нажать на клавишу «Apply» («Применить») в нижнем меню «Details of “Line Pressure”».

Переключить способ задания силы с Vector на Component (см. п. 19).

Задать рассчитанное выше значение силы, распределенной по длине (рисунок 5.16).

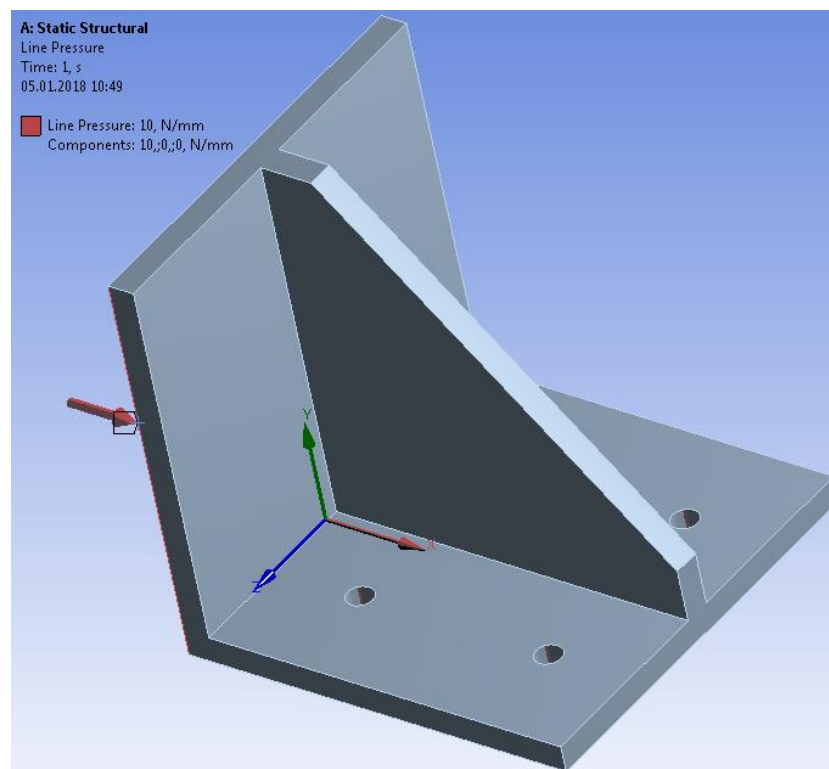



Рисунок 5.16 – Пример задания силы, распределенной по длине

- 28) Жестко закрепить внутреннюю поверхность всех отверстий.
- 29) Задать параметры для просмотра будущих результатов – («Solution» → «Insert» – «Deformation» – «Total»; «Solution» → «Insert» – «Stress» – «Equivalent (von-Mises)»).
- 30) Запустить на расчет («Static Structural» → «Solve»).

- 31) Визуализировать деформаций и эквивалентных напряжений по Мисесу (см. п. 14 и рисунок 5.17).
- 32) Выполнить копию экрана (HyperSnap  находится на рабочем столе) и сохранить для дальнейшей оценки различных случаев нагружения.
- 33) Оценить, какой вариант нагружения самый опасный и во сколько точно раз максимальные напряжения в самом опасном варианте превышают эти значения для базового.

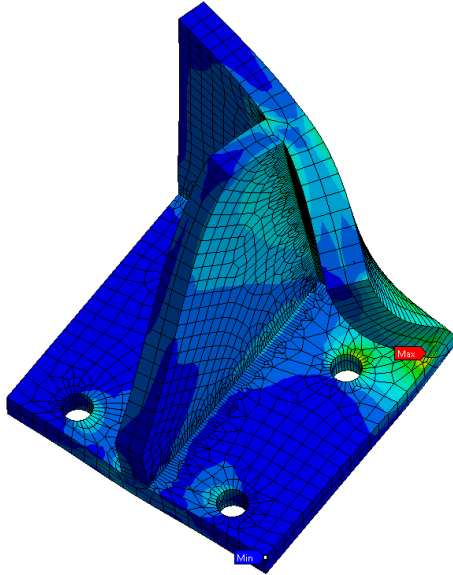


Рисунок 5.17 – Пример результатов расчета по варианту №3

Вопросы для формулирования выводов проведенной работы:

Назовите основные этапы построения эскиза.

Какие инструменты были использованы для построения модели?

Требования к представлению результатов работы (элементы портфолио):
необходимо продемонстрировать готовую модель изделия в среде SolidWorks,
прокомментировать методику дерево построений.