

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
1. Описание методики проведения модального анализа	4
2. Задание входных данных для расчёта	6
2.1 Построение CAD-модели изделия	6
2.2 Построение сетки	10
2.3 Граничные условия	11
3. Результаты проведённых расчётов	12
Заключение	15
Список использованных источников	16

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование любой современной сложной конструкции предполагает проведение большого количества компьютерных экспериментов с целью выбора подходящих материалов компонентов конструкции, сокращения затрат во время производства, увеличения срока службы изделия, а также раннего выявления инженерных ошибок, которые могут привести к разрушению.

Чтобы предотвратить поломку сложной конструкции, для каждого её компонента необходимо провести тщательный анализ физического состояния (напряжённо-деформированного состояния и т.д.), в котором будет находиться рассматриваемая деталь. Другими словами, провести моделирование реакции рассматриваемой детали на заданные внешние воздействия.

В частности, вибрация (механические колебания машин и механизмов) может вызвать неисправность и поломку конструкции, при проектировании детали которой нарушена динамическая целостность и баланс прилагаемых нагрузок. Это может привести к массовым техногенным авариям, таким как обрушение моста.

Модальное представление [1] — один из возможных способов рассмотрения вибрации конструкций. Вибрация и деформации конструкций при механическом возбуждении на собственных частотах характеризуются конкретными формами, которые называются собственными формами колебаний (колебательными модами). В типовых условиях эксплуатации характер вибрации будет сложным, включающим все собственные формы. Но если изучить каждую собственную форму отдельно, то с помощью этих знаний можно анализировать все имеющиеся типы вибрации. Определение собственных частот, коэффициентов демпфирования и форм колебаний конструкции по результатам измерений частотной передаточной функции (ЧПФ) называется модальным анализом.

Для прогнозирования вибрационных характеристик проектируемой конструкции используется динамический модальный анализ методом конечных элементов [4]. При таком анализе всю конструкцию представляют теоретически в виде набора пружин и масс, после чего составляют систему матричных уравнений, описывающих конструкцию [3]. Затем к полученным матрицам применяется математический алгоритм для определения собственных частот и форм колебаний конструкции [2]. С помощью этого метода прогнозируют

модальные параметры конструкции до ее изготовления, чтобы заблаговременно выявить возможные проблемы и устранить их на ранних стадиях процесса проектирования.

В следующем тексте проведены модальный анализ и анализ отклика на гармоническое воздействие для вилки, состоящей из хомута, булавки и U-образной формы (clevis assembly consists of a yoke, a pin, and a U-shape). Изделия, подобные рассматриваемому, часто применяются для закрепления и обеспечения надёжности мест соединения в различных инженерных системах.

1. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА

2. ЗАДАНИЕ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЁТА

Перед проведением расчёта в Ansys необходимо задать входные данные: геометрию рассматриваемой детали, конечно-элементную сетку и граничные условия.

Известно, что изделие изготовлено из конструкционной стали с модулем Юнга $E = 200$ ГПа, коэффициентом Пуассона $\nu = 0.3$ и плотностью $\rho = 7850$ кг/м³.

2.1. Построение CAD-модели изделия

3D-модель рассматриваемого изделия строим в Ansys DesignModeler. Сначала необходимо построить эскизы, на основе которых в дальнейшем с помощью функции Extrude будут получены полноценные 3D детали.

На рис. 2.1 представлен эскиз хомута.

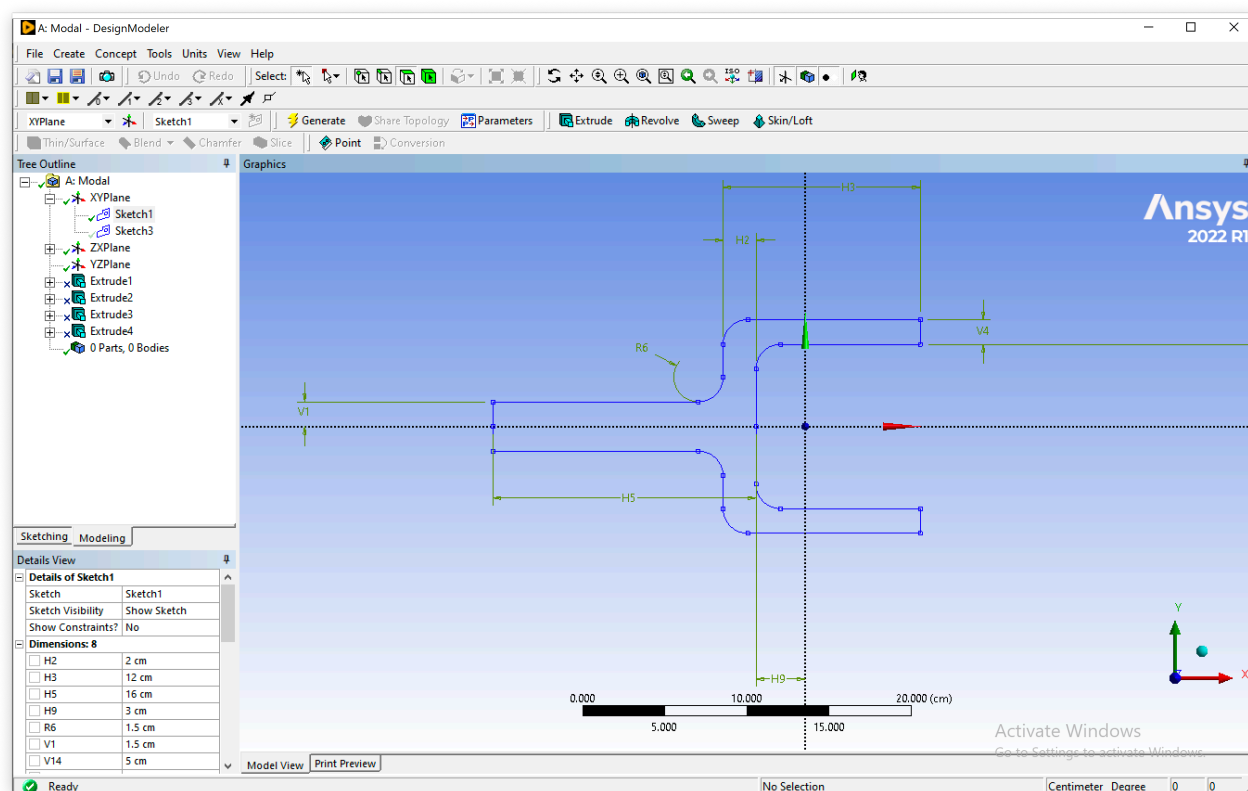


Рис.2.1. Эскиз хомута

После применения функции Extrude из эскиза получаем полноценную 3D деталь-хомут, представленную на рис. 2.2.

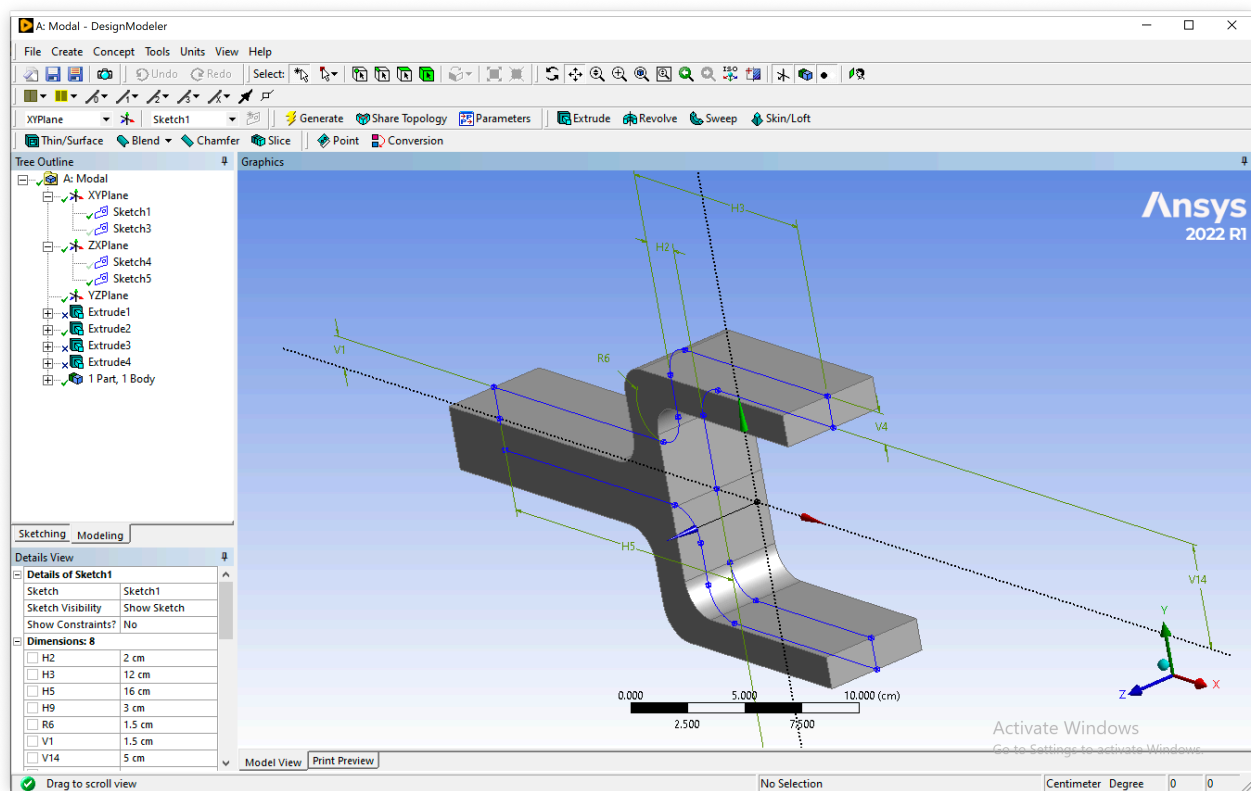


Рис.2.2. Деталь-хомут

На рис.2.3 представлен эскиз U-формы.

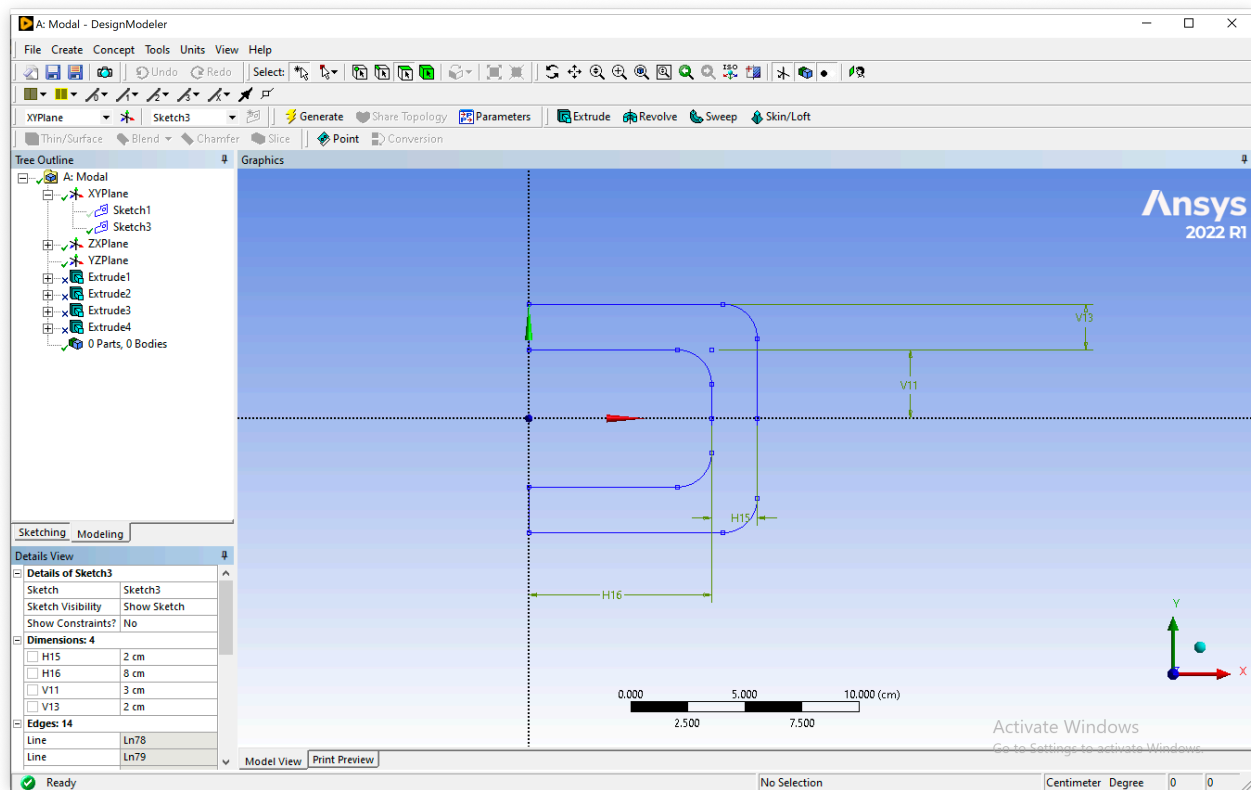


Рис.2.3. Эскиз U-формы

После применения функции Extrude из эскиза получаем полноценную 3D деталь U-формы, представленную на рис. 2.4. Ключевые размеры всех деталей указаны в левом нижнем углу соответствующих изображений.

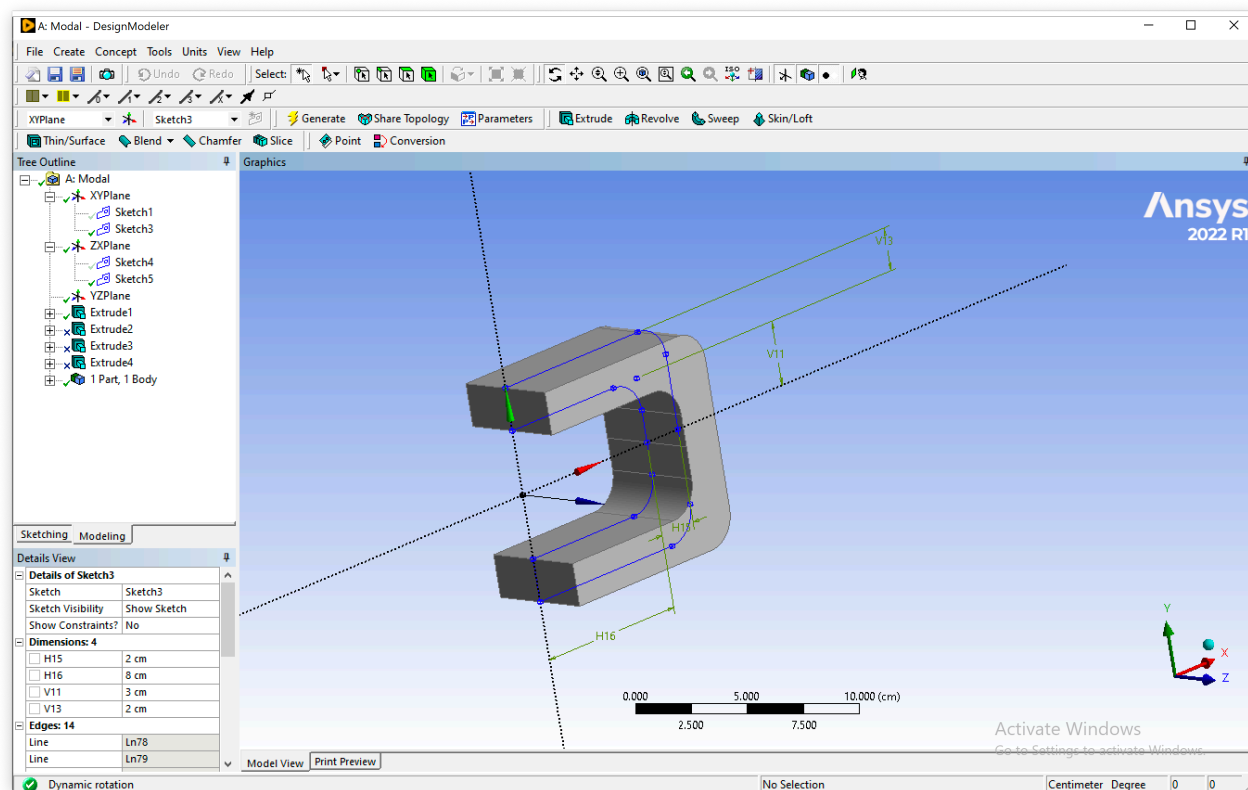


Рис.2.4. Деталь U-формы

Далее удаляем часть материала построенных ранее деталей, чтобы в дальнейшем добавить цилиндрическую булавку.

Удаление материала производим с помощью функции Extrude, но теперь с опцией Cut Material. Extrude применяем к новому эскизу, расположенному в плоскости xOz и представляющему из себя круг заданного радиуса.

Дополнительно в опциях объекта Extrude указываем Direction: Both-Symmetric, чтобы удаление материала было успешно проведено по обе стороны от плоскости xOz.

Деталь-хомут и деталь U-формы после удаления части материала (создания цилиндрических отверстий) изображены на рис. 2.5. Основные опции выполненного Extrude представлены в левом нижнем углу.

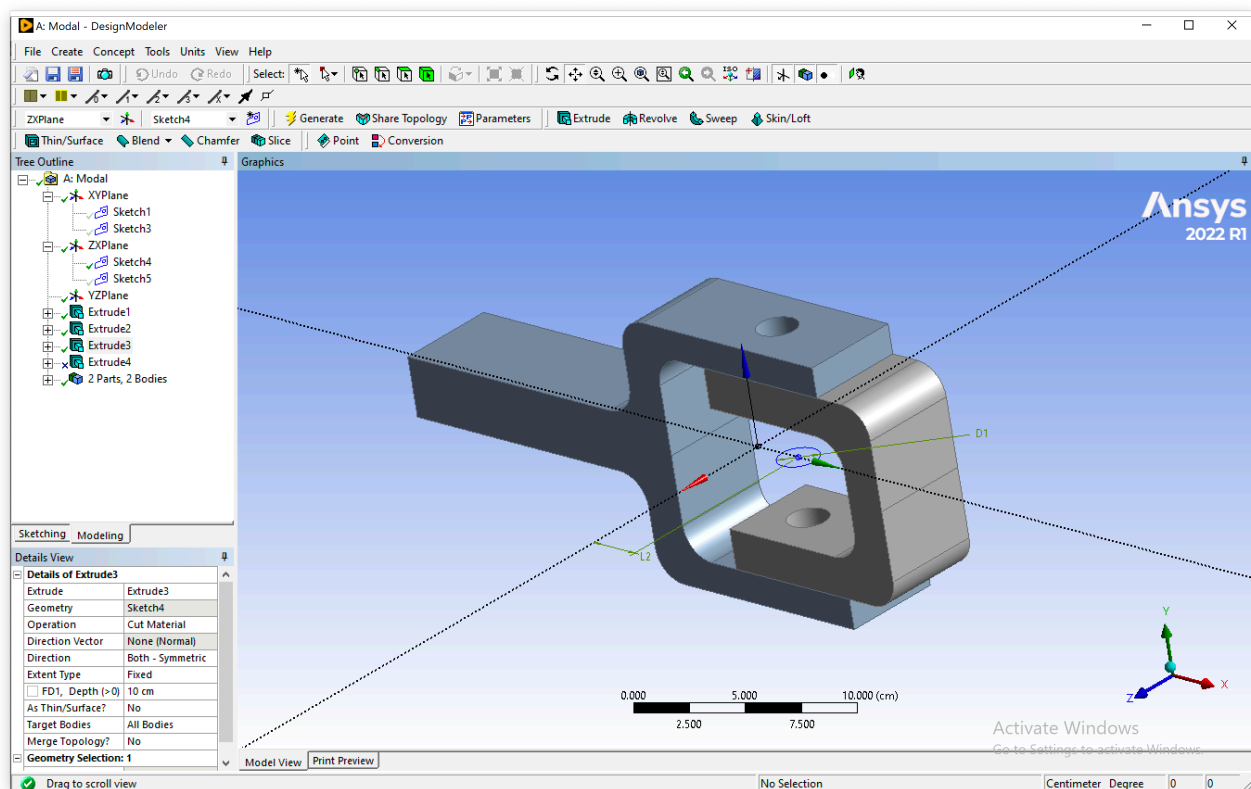


Рис.2.5. Детали с цилиндрическим отверстием

И в завершение построения CAD-модели добавляем цилиндрическую булавку (рис. 2.6), скрепляющую ранее построенные детали.

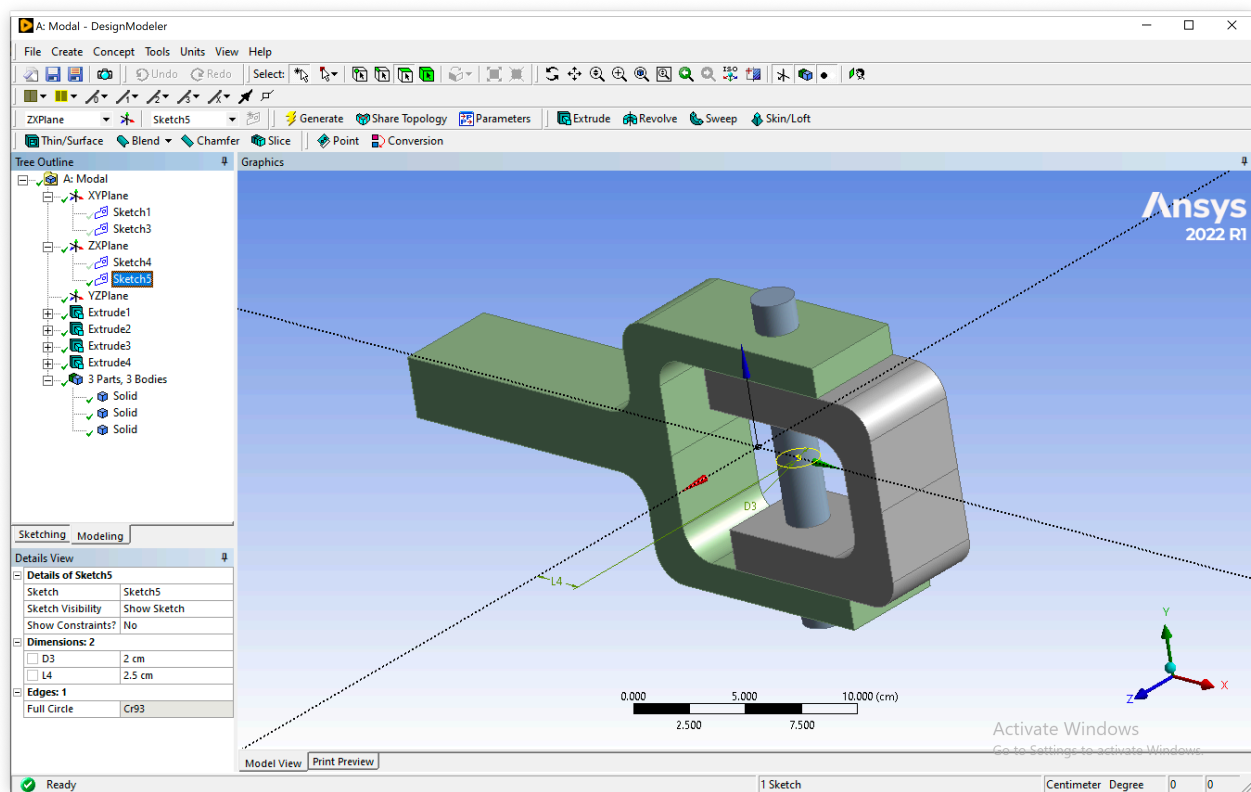


Рис.2.6. Добавлена цилиндрическая булавка

Суммарно в процессе построения CAD-модели рассматриваемого изделия были использованы следующие инструменты Ansys DesignModeler: SketchingDrawPolyline (для построения половины эскиза), ModifyFillet (для скругления углов), ModifyReplicate (для симметричного копирования половины эскиза с целью построения полного эскиза), DimensionsHorizontal (для задания горизонтальных размеров эскиза), DimensionsVertical (для задания вертикальных размеров эскиза), DimensionsRadius (для задания радиусов скруглений на эскизе), ConstraintsCoincident (для привязки двух симметричных частей эскиза друг к другу), ConstraintsSymmetry (для задания симметрии частей эскиза относительно оси абсцисс), FlipVertical (для зеркального отображения второй части каждого из эскизов относительно первой части), Extrude (для построения 3D деталей на основе построенных эскизов).

2.2. Построение сетки

Конечно-элементную сетку строим с помощью инструментов Ansys Meshing: Face Sizing, Face Meshing и Inflation. На рис. 2.7 представлена построенная сетка.

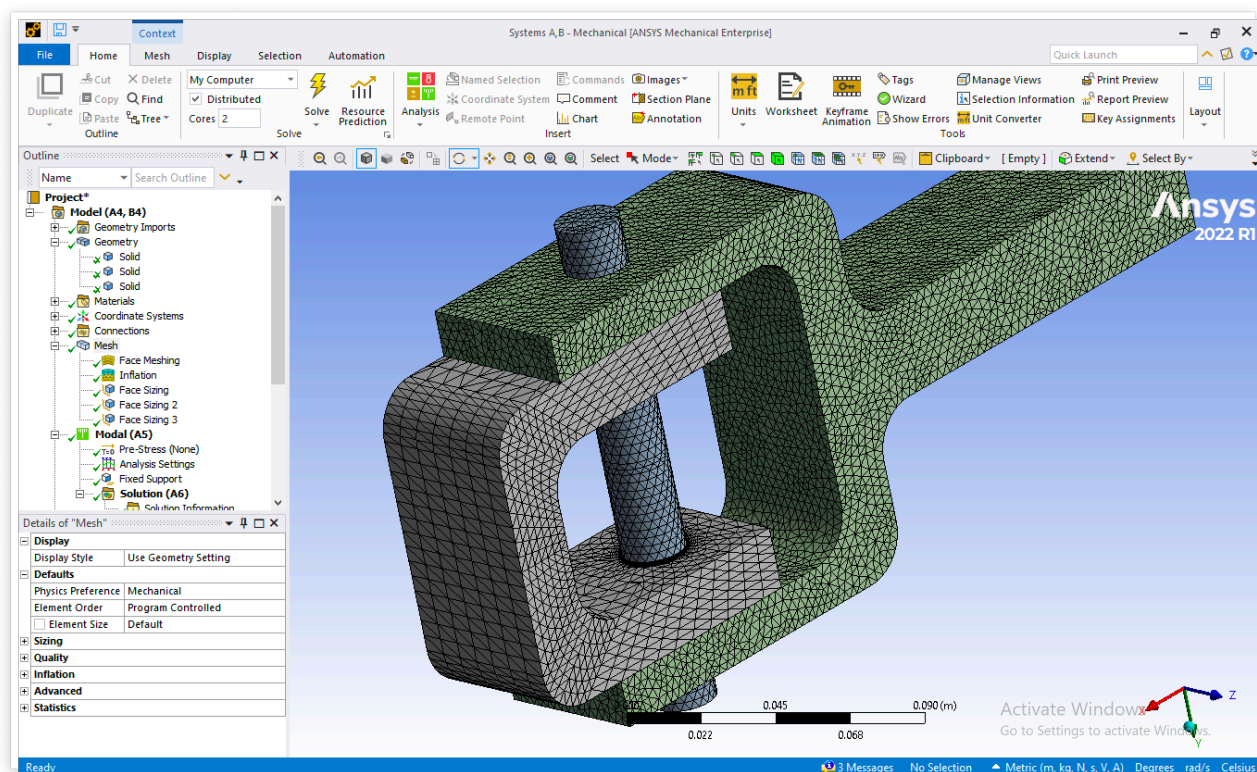


Рис.2.7. Конечно-элементная сетка

В дальнейшем полученная сетка может быть улучшена путём задания только одной специфичной формы элемента сетки и состыковки элементов на границах соседних деталей. Но первоначальный расчёт может быть произведён и на сетке, представленной на 2.1.

2.3. Граничные условия

На левой стенке хомута задаём условие отсутствия перемещений (рис. 2.8).

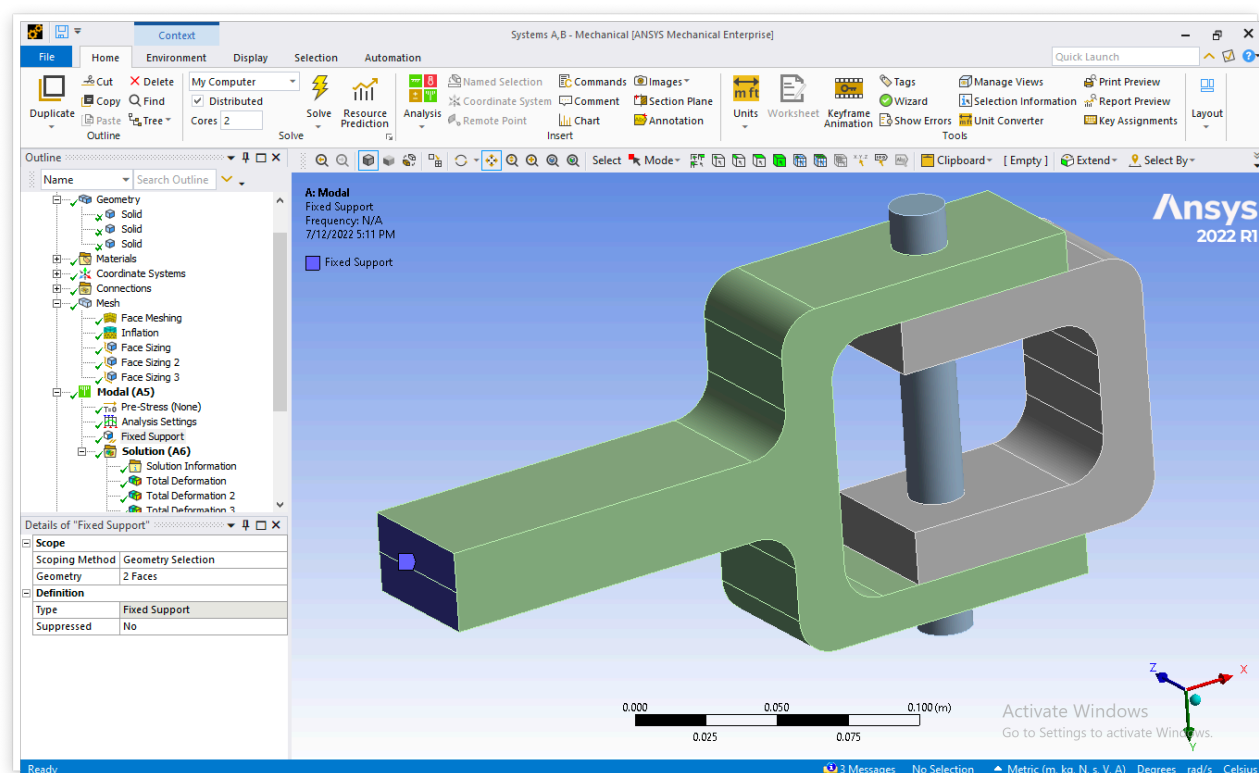


Рис.2.8. Граничное условие (нулевые перемещения)

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЁННЫХ РАСЧЁТОВ

В данном разделе представлены результаты расчётов. Получены первые пять собственных частот и форм рассматриваемого изделия (рис. 3.1-3.5).

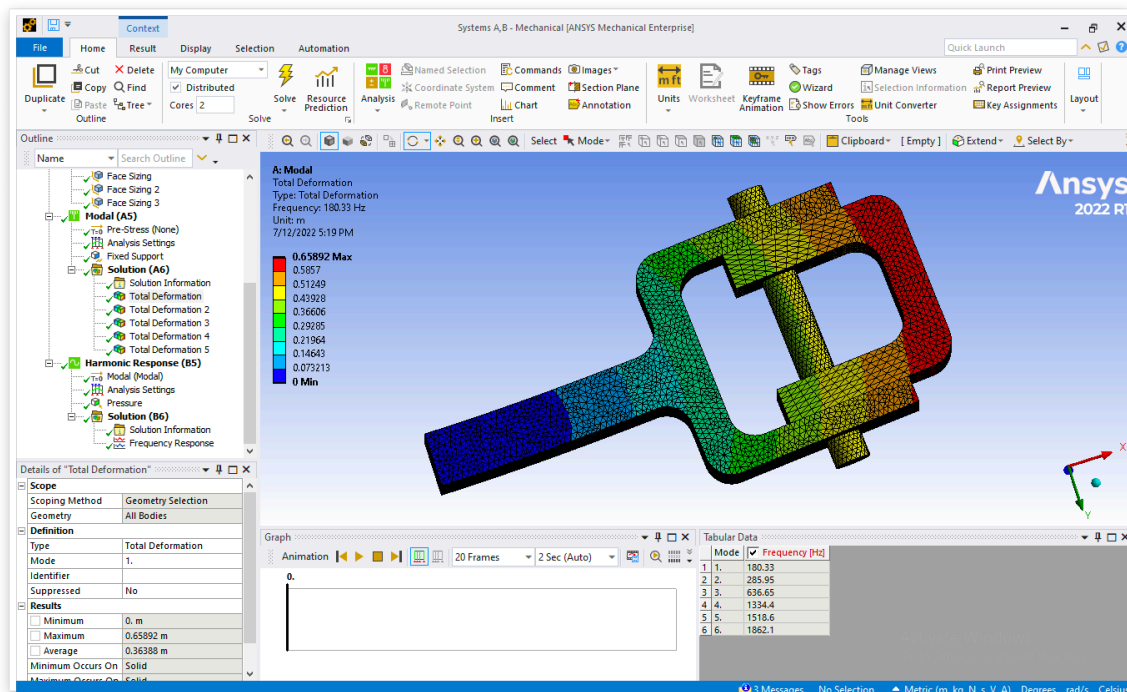


Рис.3.1. Деформации при первой собственной частоте (преимущественно вдоль оси Oy)

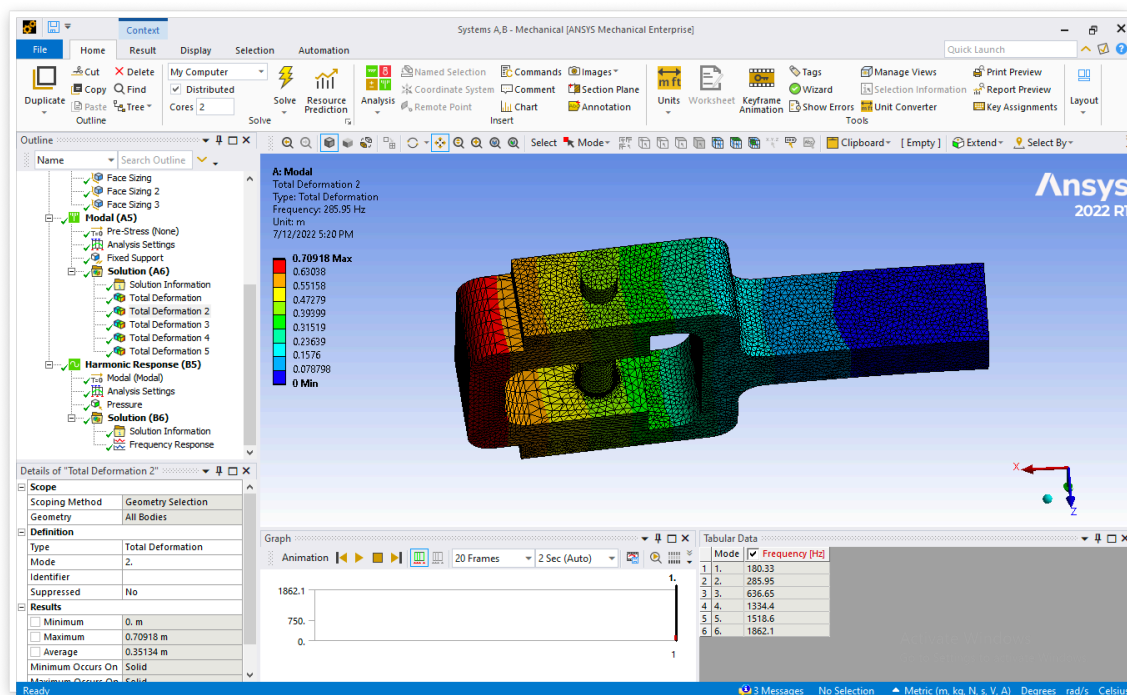


Рис.3.2. Деформации при второй собственной частоте (преимущественно вдоль оси Oz)

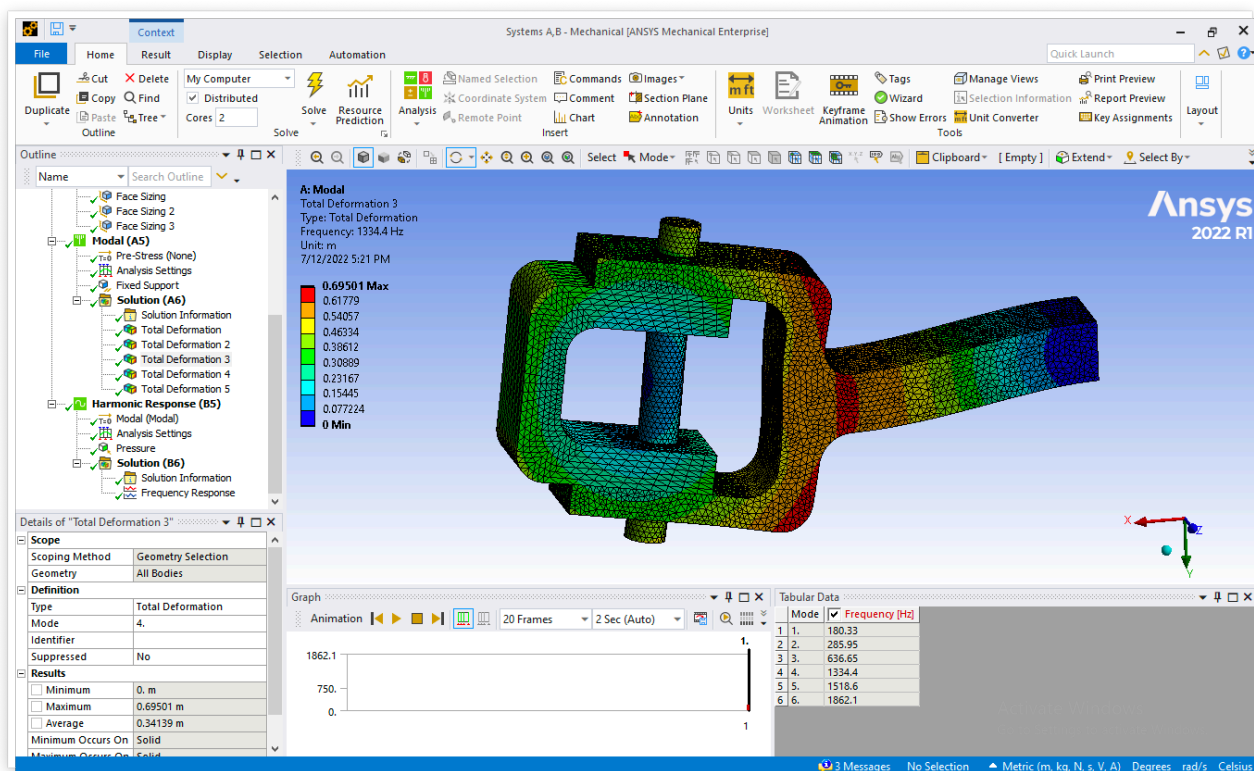


Рис.3.3. Деформации при третьей собственной частоте (преимущественно вдоль осей Ox и Oy)

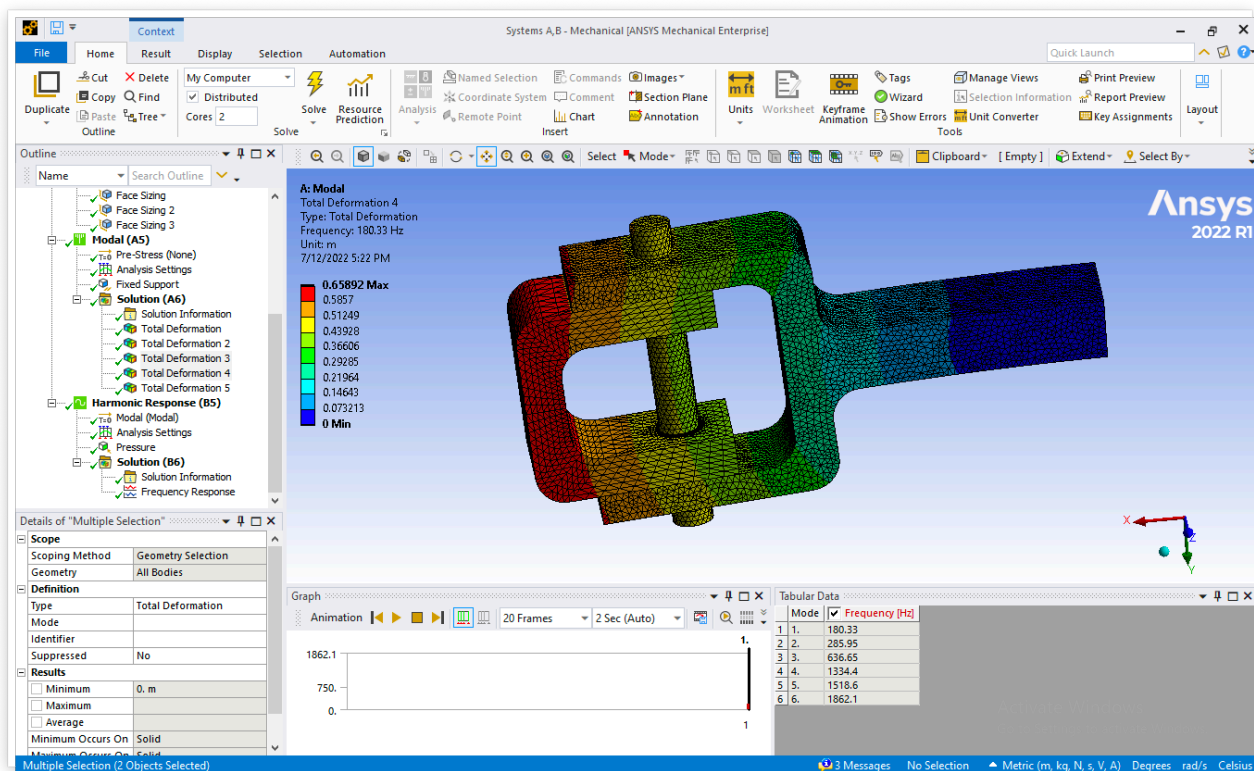


Рис.3.4. Деформации при четвёртой собственной частоте (преимущественно вдоль оси Oy)

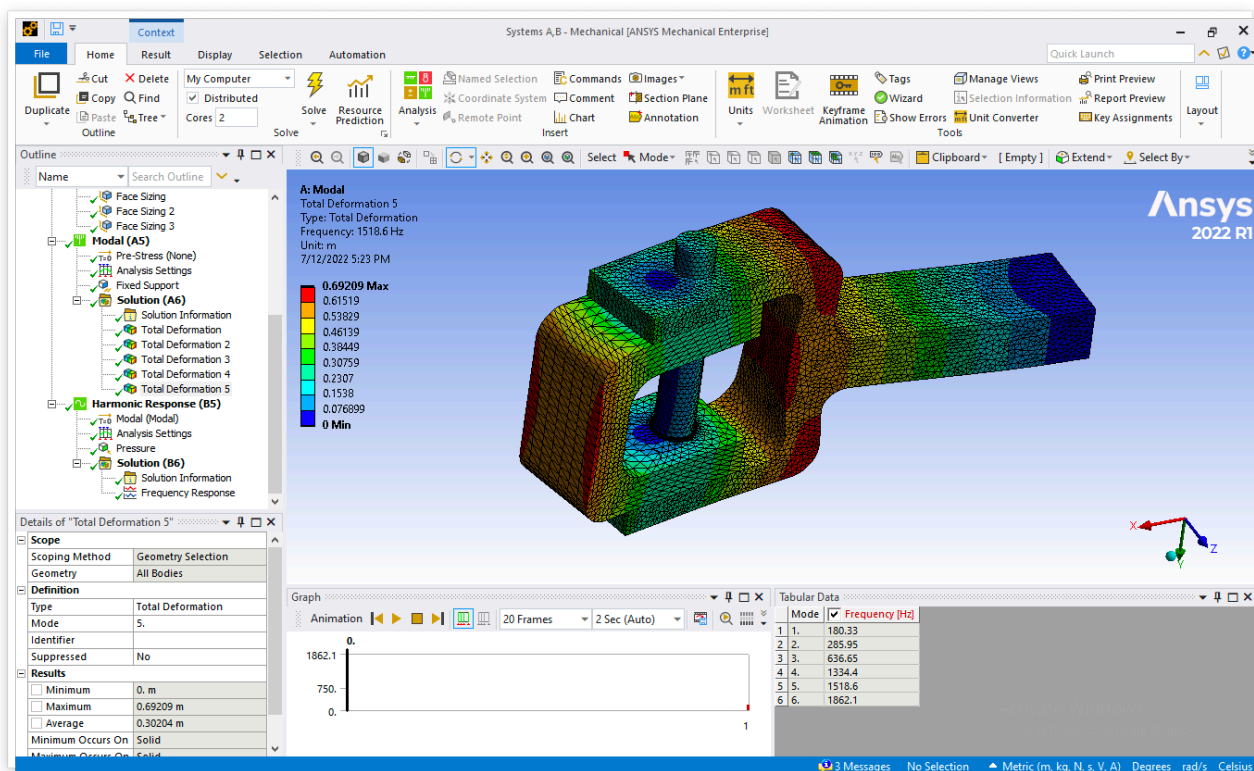


Рис.3.5. Деформации при пятой собственной частоте (преимущественно вдоль осей O_x и O_z)

Из полученных собственных частот и форм возможно прогнозировать, при каких частотах вибрации следует избегать эксплуатацию рассматриваемого изделия. Значения этих частот для данной геометрии и материала изделия представлены на рис. 3.6.

Tabular Data		
	Mode	Frequency [Hz]
1	1.	180.33
2	2.	285.95
3	3.	636.65
4	4.	1334.4
5	5.	1518.6
6	6.	1862.1

Рис.3.6. Собственные частоты

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе с помощью Ansys Workbench 2022R1 методом конечных элементов проведён модальный анализ вилки, состоящей из хомута, булавки и U-образной формы. Найдены первые 5 собственных частот и форм рассматриваемого изделия.

Так как подобные изделия часто применяются для закрепления и обеспечения надёжности мест соединения в различных инженерных системах, то рассмотренный в данной работе набросок последовательности действий (построение геометрии изделия, построение конечно-элементной сетки, задание граничного условия и поиск собственных частот) является важным для дальнейшего изучения подобных изделий с целью минимизации рисков разрушения в процессе эксплуатации и увеличения срока службы изделия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бернс В. А., Долгополов А. В., Маринин Д. А. Модальный анализ конструкций по результатам испытаний их составных частей. — ДОКЛАДЫ АН ВШ РФ, 2014. — 9 с. — (Сер.: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ).
2. *Chen X., Liu Y.* Finite Element Modeling and Simulation with Ansys Workbench. — 2017. — 162 p.
3. *Gokhale N. S., Deshpande S. S.* Practical Finite Element Analysis. — Finite To Infinite, 2008.
4. *Madenci E., Guven I.* The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS. — Springer, 2015.