

Модуль 2. Цифровые и интеллектуальные технологии в инженерии

Информационный блок

Тема: *Специальные модули CAE-систем для компьютерного анализа объектов. Виртуальные испытания, их виды. Программное обеспечение для виртуальных испытаний. Общие сведения о МКЭ-анализе (метод конечных элементов) (1ч.).*

Цель:

- сформировать у учащихся понимание спектра задач, решаемых компьютерным анализом и виртуальными испытаниями в инженерной деятельности;
- ознакомить учащихся с сущностью метода конечных элементов;
- создать условия для формирования практических навыков использования ИКТ-технологий;
- содействовать созданию условий, обеспечивающих воспитание интереса к инженерной профессии.

Аннотация.

Учащиеся получают представление о задачах, решаемых в инженерной и производственной деятельности посредством компьютерного анализа. Знакомятся с программным обеспечением и видами виртуальных испытаний. Получают представление об линейном и динамическом анализе деталей методом конечных элементов, процессе подготовке моделей и визуализации результатов расчетов.

Содержание.

Инженерный **компьютерный анализ** понимается как совокупность исследований, предназначенных для проверки работоспособности, определенных эксплуатационных характеристик проектируемых изделий, а также существующих конструкций, оборудования при заданных условиях. Он используется для решения широкого круга задач, стоящих перед конструкторами, технологами и даже экономистами и маркетологами (см. рисунок 1).

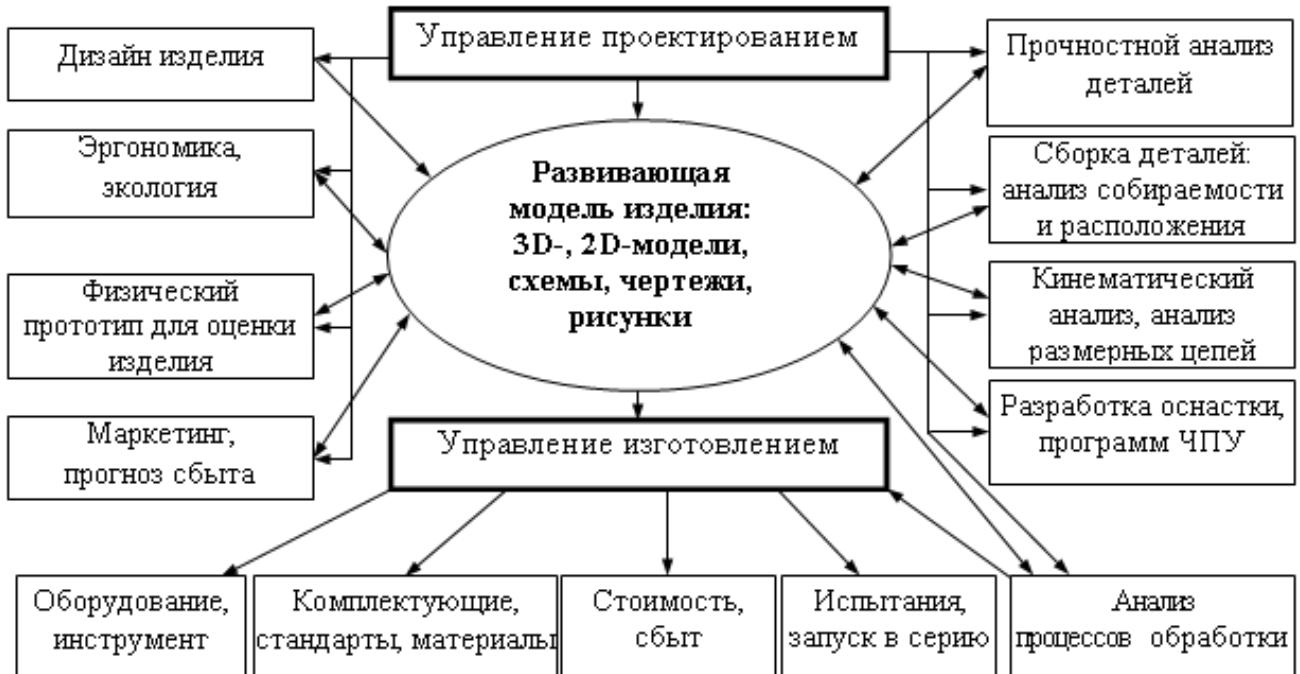


Рисунок 1. – Роль модели изделия в производственном процессе

Традиционный **цикл разработки изделия** включает следующие этапы:

- Построение **модели**.
- Построение **опытного образца** конструкции.
- Эксплуатационное **испытание** опытного образца.
- **Оценка результатов** эксплуатационных испытаний.
- **Изменение конструкции** на основании результатов эксплуатационных испытаний. Этот процесс продолжается до получения удовлетворительного решения.

Сокращение трудоемкости и повышение эффективности традиционного процесса разработки изделий может быть достигнуто путем компьютерного проектирования, ключевыми этапами которого является создание трехмерных моделей деталей и сборочных единиц выпускаемых изделий и их компьютерный анализ. Компьютерный анализ для решения большинства технических задач реализуется на основе трехмерных моделей с применением **метода конечных элементов**, суть которого будет рассмотрен далее.

Приведем примеры системы **автоматизации инженерных расчетов (CAE-систем)**, используемых при компьютерном анализе:

ANSYS — универсальная система конечно-элементного анализа для решения типовых инженерных задач;

Autodesk Simulation — комплекс универсальных систем конечно-элементного анализа, в комплекс входят: **Autodesk Simulation CFD** — программа вычислительной гидрогазодинамики, **Autodesk Simulation Mechanical** — программа для механического и теплового анализа изделий и

конструкций, **Autodesk Simulation MoldFlow** — программа моделирования процесса литья пластмассовых изделий под давлением;

ESAComp — программная система конечно-элементных расчетов тонкостенных многослойных пластин и оболочек;

MSC. Nastran — универсальная система конечно-элементного анализа САПР (CAD/CAE/CAM/PDM), включающие возможности для проведения инженерного анализа и использующие метод конечных элементов как численный метод анализа:

- **Autodesk Inventor**;
- **SolidWorks**;
- **PRO/Engineer**;
- **Solid Edge**;
- **CATIA**;
- и др.

При инженерных компьютерных расчетах моделируется воздействие различных **технических сред и условий эксплуатации** детали или в целом изделия во время **срока службы**. Задаются размеры модели, **Тип исследования** и связанные параметры, чтобы определить назначение анализа, **Сценарии нагрузок** и **Границные условия**, используемый **материал** с требуемыми свойствами.

Основные типы инженерного анализа:

Линейный статический анализ;

Частотный анализ;

Динамический анализ;

Линеаризованный анализ потери устойчивости;

Термический анализ;

Нелинейный статический анализ;

Исследования на ударную нагрузку;

Анализ усталости.

Линейный статический анализ, условия и решаемые задачи. К телу применяются нагрузки (сжатия, растяжения, скручивания и другие). Под воздействием нагрузок тело деформируется. Воздействие нагрузок передается через все тело. Внешние нагрузки включают в себя внутренние силы и реакции, которые компенсируют воздействия и **возвращают тело в состояние равновесия**. В линейном статическом анализе при воздействии приложенных нагрузок **рассчитываются**:

- **силы перемещений,**
- **напряжения,**
- **нагрузки и реакции.**

Линейный статический анализ предполагает, что **зависимость** между **нагрузками** и вызванными **реакциями** является **линейной**. Реальные конструкции ведут себя нелинейно одним или другим образом при некоторых уровнях нагрузки. В некоторых случаях может быть достаточным линейный анализ. Во многих других случаях линейное решение может привести к ошибочным результатам, так как нарушены допущения, на которых он основан.

Нелинейность может быть вызвана поведением материала, большими перемещениями и условиями контакта. Можно использовать нелинейное исследование для решения линейной задачи. Результаты могут слегка отличаться вследствие различных процедур. В нелинейном статическом анализе динамические влияния, подобные инерционным силам и силам демпфирования, не учитываются.

Динамический анализ. Статические исследования предполагают, что нагрузки являются постоянными или прикладываются весьма медленно до тех пор, пока они не достигают полных значений. Поэтому скорость и ускорение каждой частицы модели принимаются нулевыми. В результате, статические исследования пренебрегают инерционными силами и силами демпфирования. На практике *нагрузки* не прикладываются медленно или они *изменяются* со временем или по частоте. В этих случаях используется динамическое исследование. Если частота нагрузки больше чем $1/3$ самой низкой (основной) частоты, следует использовать динамическое исследование.

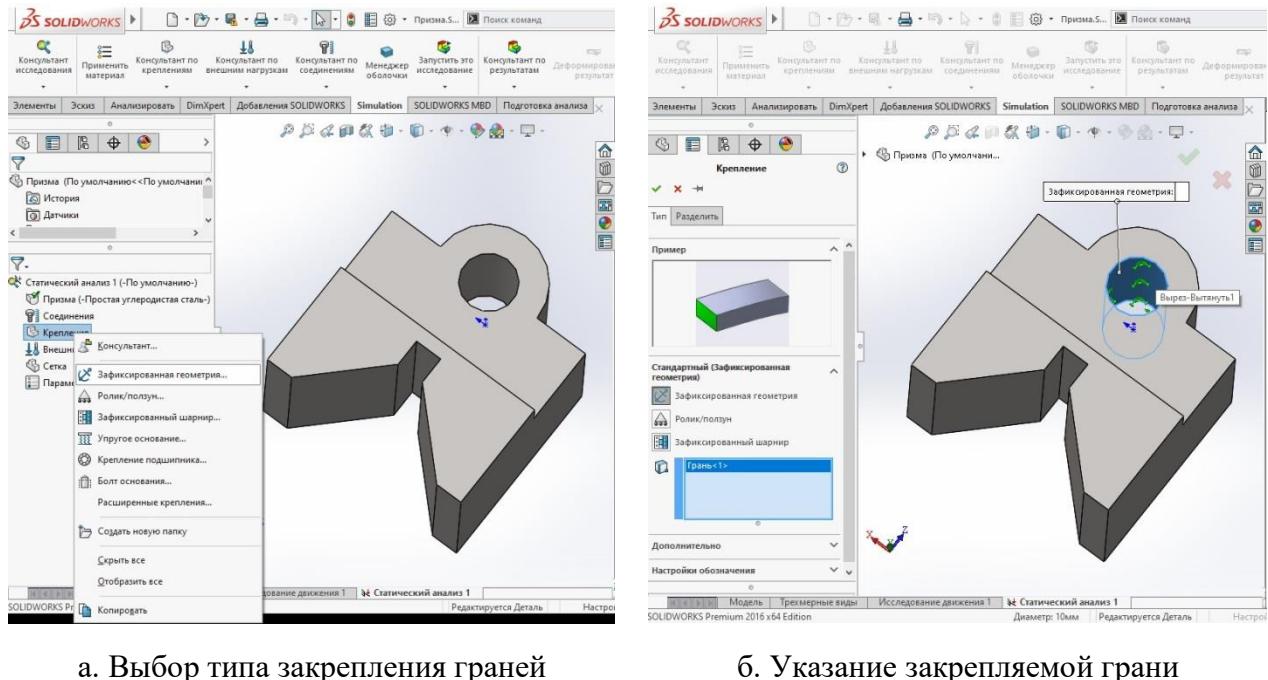
Основные этапы проведения статического линейного инженерного анализа

1. Создание геометрической модели.
2. Определение для материала моделей деталей.
3. Определение ограничений (закрепление граней, ребер и др.).
4. Определение внешних нагрузок.
5. Для сборок и многокомпонентных частей назначают характер контакта компонентов и наборы контактов для моделирования поведения модели.
6. Создание сетки модели.
7. Запуск расчета исследования.
8. Просмотр результатов исследования.

Определение ограничений. Границные условия (нагрузки и ограничения) — совокупность всех внешних воздействий (кинематических, силовых, тепловых, гравитационных и т.д.), влияющих на состояние тела. Они необходимы для определения условий эксплуатации модели. Границные условия в задачах механики делятся на 2 группы: кинематические и статические.

Кинематические условия требуют задавать на границах или в объеме для тела перемещения, а для оболочек — и углы поворота. Они могут иметь характер

ограничения подвижности в одном или нескольких направлениях, или предварительно заданного перемещения (рисунок 2). Типичные граничные условия для сборок — условие совместного перемещения поверхностей, контактирующих тел. Кинематические граничные условия могут задаваться на гранях, кромках и в вершинах объекта.

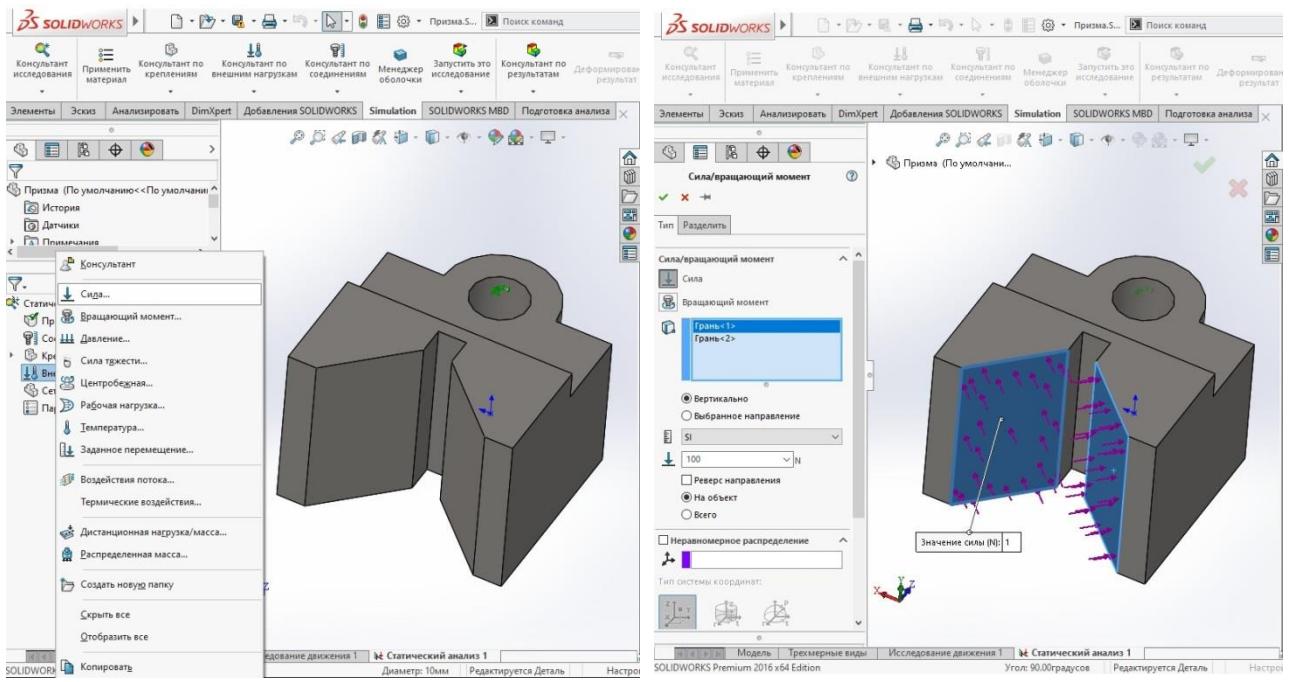


а. Выбор типа закрепления граней

б. Указание закрепляемой грани

Рисунок 2 – Пример закрепления грани (цилиндрической) детали

Статические условия — это **нагрузки**, которые могут быть **сосредоточенными, распределенными** по кромке или распределенными по поверхности (рисунок 3). Сосредоточенные нагрузки имеют размерность «**сила**», распределенные нагрузки по кромке имеют размерность «**сила/длина**», а по поверхности — «**сила/площадь**». Например, давление относится к распределенной нагрузке по поверхности.

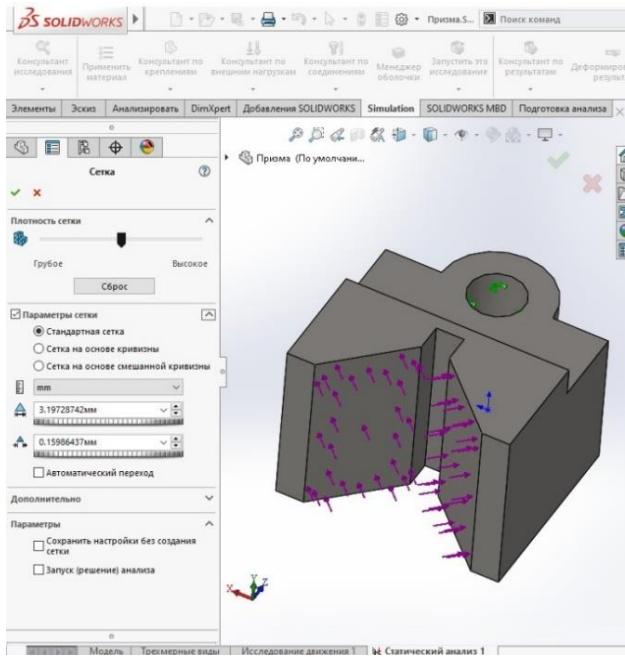


а. Выбор типа внешних нагрузок

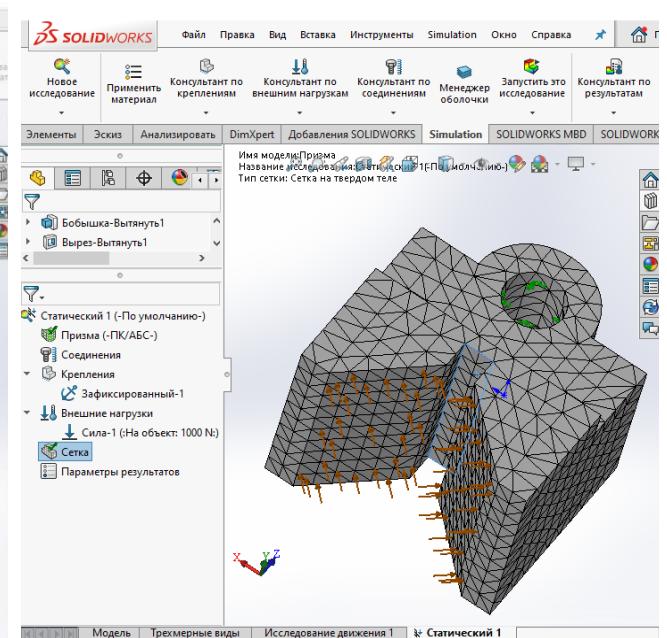
б. Задание граней и параметров применения нагрузки

Рисунок 3 – Пример применения нагрузок к граням детали

Создание сетки модели. Расчеты инженерного анализа в САЕ-системах основаны на методе конечных элементов (*Finite Element Method*) — МКЭ. В основе метода лежит **разделение области**, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, на конечное количество **подобластей (конечных элементов)** **простой формы**, связанных между собой **конечным числом узлов**, т. е. производится дискретизация объекта исследования. Процесс **деления модели** на малые части называется созданием **конечно-элементной сетки**. Геометрическая модель превращается в **сеточную** (рисунок 4).



а. Панель задания параметров расчета сетки конечных элементов



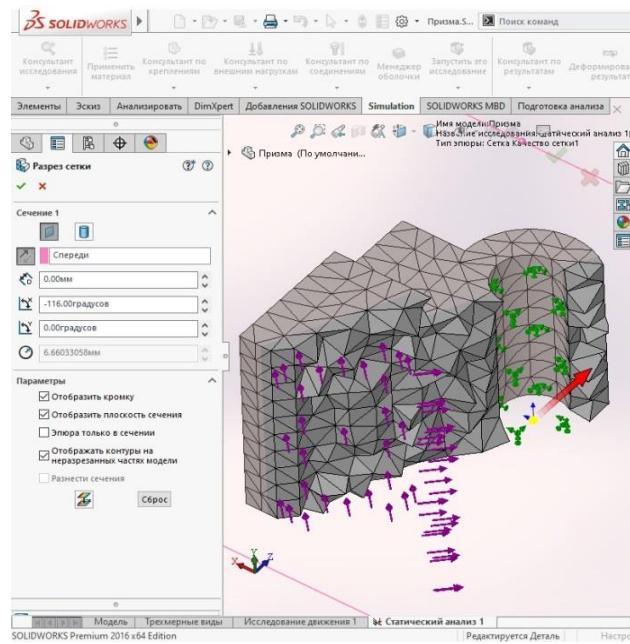
б. Результат расчета сетки конечных элементов

Рисунок 4 – Пример создания конечно-элементной сетки модели детали

Понятие конечного элемента. В методе конечных элементов используются **элементы** различных форм (рисунок 5): треугольники, четырехугольники, тетраэдры, призмы и др. Наиболее распространенные в САЕ-системах типы конечных элементов для твердотельных моделей:

- объемный **тетраэдральный элемент** с линейным полем перемещений и постоянной деформацией;
- объемный **тетраэдральный элемент** с параболическим полем перемещений (линейным распределением деформаций)

Элементы имеют общие точки — **узлы** (рисунок 6). Для расчетов конструкции **реакция узла** представляется, в общем случае, **тремя перемещениями и тремя вращениями**. Они называются степенями свободы. В каждом узле элемента оболочек (поверхностей) выделяют шесть степеней свободы: **три перемещения** — U, V, W и **три угла поворота** нормали к срединной поверхности относительно осей координат (рисунок 7).



б. Трехмерное представление конечных элементов сетки в разрезе детали

Рисунок 5 – Конечные элементы сетки в трехмерном представлении

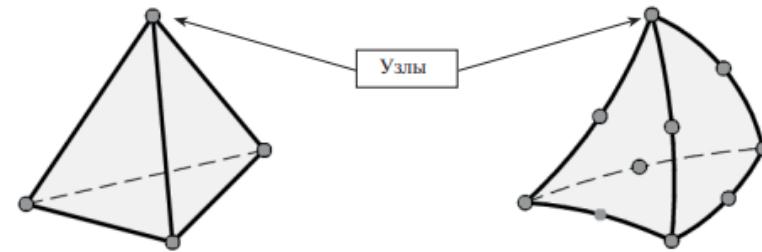


Рисунок 6 – Элементы конечно-элементной модели

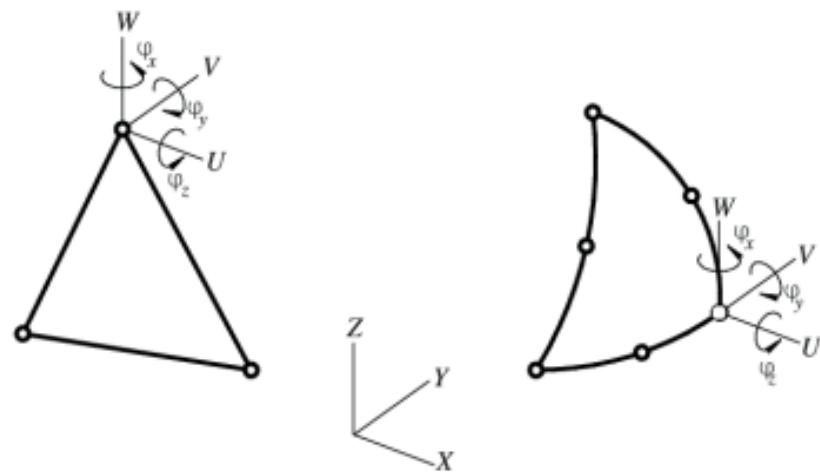


Рисунок 7 – Степени свободы в узлах линейного и параболического элементов

Создание сетки модели. Сетка **чернового** качества. Автоматический создатель сетки создает **линейные тетраэдальные** твердотельные элементы. Сетка **высокого** качества. Автоматический создатель сетки создает **параболические тетраэдальные** твердотельные элементы.

Точность решения зависит от **качества** сетки. В целом, чем мельче сетка, тем выше точность. Создаваемая сетка зависит от следующих факторов (рисунок 8):

- Созданная форма.
- Активные параметры сетки.
- Управление сеткой.
- Условия контакта.
- Размер глобального элемента и допуск сетки.

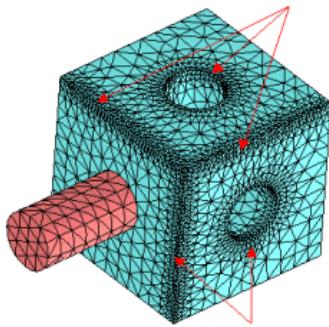


Рисунок 8 – Модель детали, представленная сеткой конечных элементов, имеющих различные параметры формы и размеров

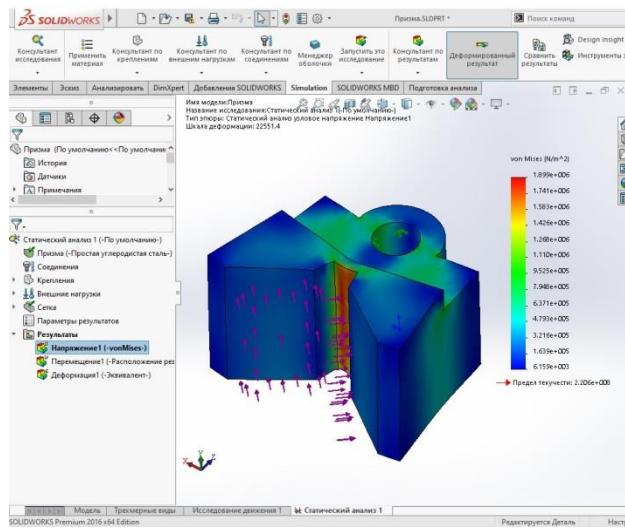
Размер глобального элемента зависит от средней **длины его кромок**.

Количество элементов быстро возрастает при использовании глобального элемента меньшего размера.

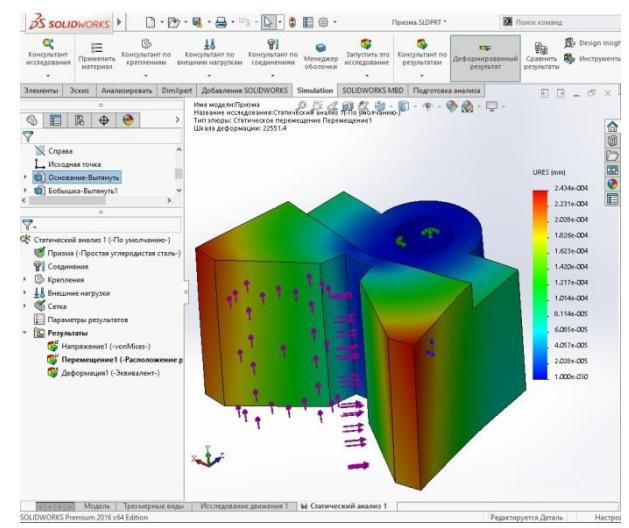
Запуск исследований и получение результатов. После подготовки модели, назначения всех параметров и задания сетки пользователь нажатием одной кнопки запускает расчет. В результате статических исследований вычисляются перемещения, деформации, нагрузки, напряжения и распределение запаса прочности. Получаемые результаты визуализируются. Помимо общего визуального представления пользователь может указать любую точку и получить для нее расчетные значения.

Просмотр результатов исследования напряжений

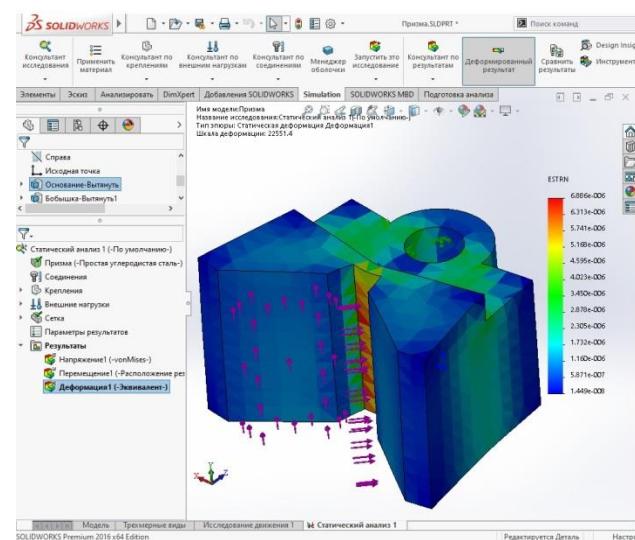
Для просмотра результатов необходимо в дереве исследования указывать в «Параметрах результатов» дочерние узлы «Напряжение1», «Перемещение1» или «Деформация1» (рисунок 9).



а. Визуализация результатов исследования напряжений



б. Визуализация результатов перемещений



в. Визуализация результатов деформаций

Рисунок 13 – Примеры визуального отображения результатов исследования модели детали

Визуализация, просмотр и экспорт результатов исследования осуществляются для дальнейшего анализа и принятия решений по объекту проектирования.

СЛОВАРЬ:

Автоматизированное проектирование и конструирование (computer-aided design – CAD) – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для геометрического моделирования изделия.

Автоматизированный инженерный анализ (computer-aided engineering – CAE) – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для анализа геометрии CAD, моделирования и изучения поведения продукта для усовершенствования и оптимизации его конструкции.

Автоматизированное производство (computer-aided manufacturing – CAM) – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для планирования, управления и контроля операций производства через прямой или косвенный интерфейс с производственными ресурсами предприятия.

Связь с учебными предметами:

Информатика. Физика. Математика (геометрия)