



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
А.С. Савинов

15.02.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ***

Направление подготовки (специальность)  
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Направленность (профиль/специализация) программы  
Компьютерное моделирование и проектирование в машиностроении

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
заочная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования
Курс	3

Магнитогорск  
2022 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (приказ Минобрнауки России от 09.08.2021 г. № 728)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования  
09.02.2022, протокол № 4

Зав. кафедрой  А.Г. Корчунов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ  
15.02.2022 г. протокол № 6

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры ПиЭММиО, канд. техн. наук  
 О.А.Филатова

Рецензент:

инженер-конструктор 1 категории ООО "МРК",  А.А.  
Дерябин

**Лист актуализации программы**

---

Программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Проектирования и эксплуатации металлургических машин и

Протокол от 28 06 ~~2023~~ г. № 13  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.Г. Корчунов

---

Программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Проектирования и эксплуатации металлургических машин и

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.Г. Корчунов

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целями преподавания дисциплины «Моделирование в машиностроении» являются: овладение современными методами расчета и моделирования объектов и процессов на базе программных пакетов Компас-3D, Autodesk Inventor; овладение достаточным уровнем профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 15.03.02 Технологические машины и оборудование

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Моделирование в машиностроении входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Начертательная геометрия и компьютерная графика

Сопротивление материалов

Введение в направление

Информатика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Реверсивный инжиниринг

Проектная деятельность

Моделирование и конструирование в Autocad

Инженерный дизайн

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Моделирование в машиностроении» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-3	Способен выполнять работы по эскизированию, трехмерному моделированию, физическому моделированию продукции
ПК-3.1	Выполняет работы по эскизированию, трехмерному и физическому моделированию объектов машиностроения
ПК-4	Способен выполнять работы по компьютерному моделированию, визуализации, презентации модели продукта (изделия) и (или) элемента промышленного дизайна
ПК-4.1	Выполняет работы по компьютерному моделированию, визуализации, презентации модели продукта (изделия) и (или) элемента промышленного дизайна

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц 216 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 10,2 академических часов;
- аудиторная – 10 академических часов;
- внеаудиторная – 0,2 академических часов;
- самостоятельная работа – 198 академических часов;
- в форме практической подготовки – 0 академических часов;

– подготовка к зачёту – 7,8 академических часов

Форма аттестации - зачет с оценкой, зачет

Раздел/ тема дисциплины	Курс	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1.								
1.1 Введение. Структура дисциплины, ее цель и задачи. Основные тенденции внедрения компьютерных технологий машиностроения. Автоматизация конструкторской (КПП) и технологической подготовки производства (ТПП). Понятие единого информационного пространства предприятия	3			2,5	60	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, работа с компьютерными обучающими программами	Устный опрос (собеседование)	ПК-3.1, ПК-4.1

<p>1.2 Инженерный анализ и компьютерное моделирование. Основные принципы и соотношение численных методов инженерного анализа. Сравнительный анализ существующих методов расчета деталей машин и оборудования. Классификация и применимость конечных элементов. Общая схема компьютерной реализации МКЭ. Учет нелинейности в процедурах МКЭ. Методы оптимизации в инженерном анализе: параметрическая оптимизация, структурная оптимизация. Комплексные решения задач оптимального проектирования. Методы визуализации в системах инженерного анализа. Ошибки идеализации. Погрешности моделирования. Погрешности расчетов. Ошибки интерпретации результатов. Принятие проектного решения.</p>			2,5	78	<p>Самостоятельное изучение учебной и научно литературы, работа с компьютерными обучающими программами, выполнение индивидуального практического задания</p>	<p>Проверка индивидуальной практической работы, собеседование</p>	<p>ПК-3.1, ПК-4.1</p>
<p>1.3 Итого за семестр</p>					<p>Консультация</p>	<p>зачет</p>	<p>ПК-3.1, ПК-4.1</p>

<p>1.4 Основы моделирования напряженно-деформированного состояния деталей и узлов в программе Inventor. Составные части пакета и их назначение. Предварительная подготовка и вход в программу. Основные стадии решения задач. Предпроцессорная подготовка; задание начальных и граничных условий; физических и механических свойств материалов; построение сетки конечных элементов; приложение поверхностных и объёмных нагрузок; выбор решателя. Решение задачи. Постпроцессорная обработка. Основные этапы твердотельного проектирования в Inventors: построение эскиза, создание объёмной модели, создание сборок, генерация чертежей. Примеры расчётов деталей и оборудования.</p>			5	60	<p>Самостоятельное изучение учебной и научно литературы, работа с компьютерными обучающими программами, выполнение индивидуального практического задания</p>	<p>Защиты индивидуальной практической работы, собеседование</p>	<p>ПК-3.1, ПК-4.1</p>
1.5 Итого за семестр					Консультация	Зачет	ПК-3.1, ПК-4.1
Итого по разделу			10	198			
Итого за семестр			10	198		зао,зачёт	
Итого по дисциплине			10	198		зачет с оценкой, зачет	

## **5 Образовательные технологии**

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Моделирование в машиностроении» используются традиционная и модульно-компетентностная технологии.

1. Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения). Учебная деятельность студента носит в таких условиях, как правило, репродуктивный характер.

Формы учебных занятий с использованием традиционных технологий:

Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя). На занятиях предусматривается использование электронного демонстрационного учебного материала содержащего сложные схемы, таблицы и математические формулы.

Лекции проходят в традиционной форме, в форме лекций-консультаций и проблемных лекций. Теоретический материал на проблемных лекциях является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения.

Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

2. Информационно-коммуникационные образовательные технологии – организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией.

Формы учебных занятий с использованием информационно-коммуникационных технологий:

Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу происходит с использованием мультимедийного оборудования.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Пожидаев Ю. А. Компьютерное моделирование и создание проектно-конструкторской документации в машиностроении средствами САПР. Инженерная и компьютерная графика в Autodesk Inventor, AutoCAD [Электронный ресурс] : учебное пособие. Ч. 1 / Ю. А. Пожидаев, Е. А. Свистунова, О. М. Веремей ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=2525.pdf&show=dcatalogues/1/1130327/2525.pdf&view=true> . - Макрообъект.

2. Система автоматизированного проектирования Autodesk Inventor в металлургии и машиностроении : учебное пособие / С. М. Горбатюк, М. Г. Наумова, Н. С. Куприенко, Ю. С. Тарасов. — Москва : МИСИС, 2018. — 118 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/115283/#1> (дата обращения: 02.11.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**б) Дополнительная литература:**

1. Горбатюк, С. М. Конструирование машин и оборудования металлургических производств. Основы трехмерного автоматизированного конструирования деталей и узлов машин с помощью программы Autodesk Inventor. Ч. 2. Проектирование сборочных единиц и анимация деталей и сборок : учебное пособие / С. М. Горбатюк, А. В. Каменев, Л. М. Глухов. — Москва : МИСИС, 2010. — 40 с. — ISBN 978-5-87623-335-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/2077/#1> (дата обращения: 02.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Савельева, И. А. Инженерная графика. Моделирование изделий и составление конструкторской документации в системе КОМПАС-3D : учебное пособие / И. А. Савельева, В. И. Кадошников, И. Д. Кадошникова ; МГТУ. - Магнитогорск, 2010. - 186 с. : ил., табл., схемы. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=311.pdf&show=dcatalogues/1/1068565/311.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Имеется печатный аналог.

3. Компьютерная графика в САПР : учебное пособие / А. В. Приемышев, В. Н. Крутов, В. А. Третьяк, О. А. Коршакова. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 196 с. — ISBN 978-5-8114-2284-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/90060/#1> (дата обращения: 02.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**в) Методические указания:**

1. Горохова Л.В. Костогрызова Т.И., Скурихина Е.Б. Резьбовые и сварные соединения (с приложением): Методические указания. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011 г.

2. Методические указания по выполнению практических заданий представлены в приложении 3.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
АСКОН Компас 3D в.16	Д-261-17 от 16.03.2017	бессрочно

FAR Manager	свободно распространяемое	бессрочно
Autodesk Inventor Professional	учебная версия	бессрочно
Браузер Yandex	свободно распространяемое	бессрочно

### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>

### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа: Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации. Ауд. 297,279.

2. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации. Комплекс тестовых заданий для проведения промежуточных и рубежных контролей. Ауд. 279, 407а.

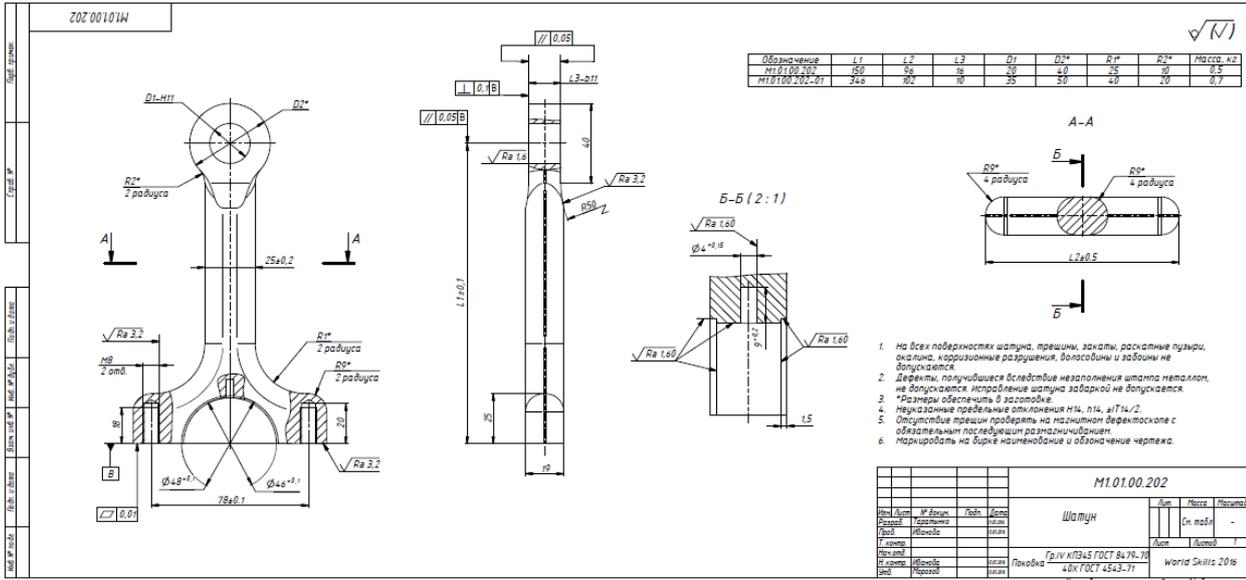
3. Помещения для самостоятельной работы обучающихся: Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Ауд. 279,407а.

4. Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования: Шкафы для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий. Ауд. 298, 404а.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Примерное задание на практическом занятии

Построить 3D модель детали, изображенной на чертеже (по вариантам). Произвести анализ напряженно- деформированного состояния детали при приложении разрывного усилия в 10000Н. Сделать отчет, проанализировать результаты моделирования, выдвинуть предложения по оптимизации изделия.



Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

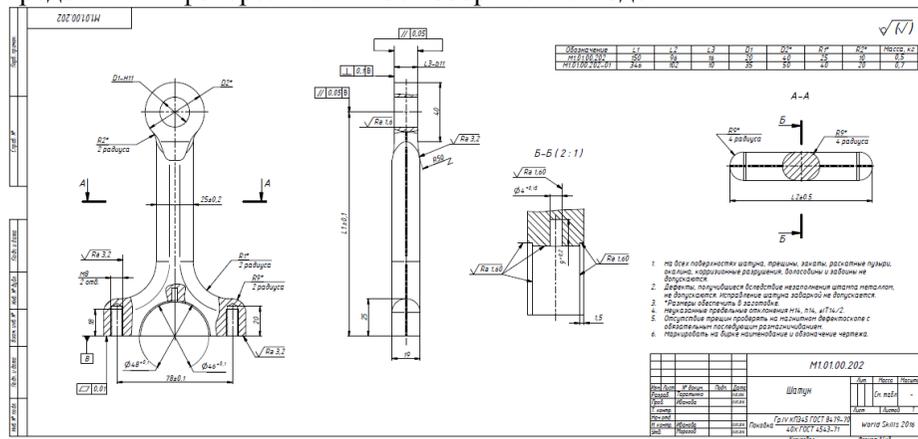
а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-4: Способен выполнять работы по компьютерному моделированию, визуализации, презентации модели продукта (изделия) и (или) элемента промышленного дизайна		
ПК-4.1:	– Выполняет работы по компьютерному моделированию, визуализации, презентации модели продукта (изделия) и (или) элемента промышленного дизайна	<p><b>Вопросы к зачету</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Численные методы. Сущность метода конечных элементов</li> <li>2. Какие результаты моделирования напряженно-деформированного состояния являются основными для определения работоспособности отдельных деталей?</li> <li>3. Этапы проведения исследования напряженно -деформированного состояния объектов</li> <li>4. Классификация моделей, используемых в технике.</li> <li>5. Основные свойства моделей</li> <li>6. Погрешности моделирования. Погрешности расчетов</li> </ol> <p><b>Индивидуальная работа</b> состоит в защите работы, описанной в приложении 1, и предоставлении отчета с выводами.</p> <p><b>Примерное задание</b>                      Построить 3D модель детали, изображенной на чертеже (по вариантам). Произвести анализ напряженно- деформированного состояния детали при приложении разрывного усилия в 10000Н. Сделать отчет, проанализировать результаты моделирования, выдвинуть предложения по оптимизации изделия. Предоставить фотореалистичное изображение модели.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства

ПК-3: Способен выполнять работы по эскизированию, трехмерному моделированию, физическому моделированию продукции

ПК-3.1	<p>– Выполняет работы по эскизированию, трехмерному и физическому моделированию объектов машиностроения</p>	<p><b>Вопросы к зачету</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Цели и задачи применения САПР</li> <li>2. Какие средства автоматизированного проектирования позволяют проводить моделирование технических объектов и технологических процессов в металлургическом машиностроении?</li> <li>3. Моделирование объемных сборок. Проекционные виды и ассоциативные связи 3D и 2D – моделей.</li> <li>4. Виды моделирования. Компьютерное моделирование. Этапы</li> </ol>
--------	---	---

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>проведения компьютерного моделирования.</p> <p>5. Параметризация геометрических моделей.</p> <p>6. Этапы проведения исследования напряженно -деформированного состояния объектов</p> <p><b>Индивидуальная работа</b> состоит в защите работы, описанной в приложении 1, и предоставлении отчета с выводами.</p> <p><b>Примерное задание</b></p> <p>Построить 3D модель детали, изображенной на чертеже (по вариантам). Произвести анализ напряженно- деформированного состояния детали при приложении разрывного усилия в 10000Н. Сделать отчет, проанализировать результаты моделирования, выдвинуть предложения по оптимизации изделия. Предоставить фотореалистичное изображение модели.</p> 

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «**Моделирование в машиностроении**» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Зачет по данной дисциплине проводится в устной форме, включает 1 теоретический вопрос и защиту индивидуальной работы.

***Показатели и критерии оценивания зачета с оценкой:***

– на оценку «отлично» (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку «хорошо» (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку «удовлетворительно» (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку «не зачтено» (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

### Методические указания по выполнению практических заданий

Практические задания по построению твердотельных деталей, узлов и их расчету в среде Компас или Инвентор выполняются поэтапно на практических занятиях и сдаются в конце занятий.

Во время занятий нужно очень внимательно слушать, следить на экране проектора последовательность создания деталей в САПР и повторять за преподавателем за своим компьютером. В случае возникновения вопросов или затруднений при выполнении работы, обратиться за помощью к преподавателю. Дома желательно так же заниматься самостоятельно, используя руководства пользователя и учебные материалы Autodesk Inventor, Компас, для наилучшего закрепления навыков построения и расчетов в САПР. Метод конечных элементов – численный метод решения дифференциальных уравнений, встречающихся при математическом описании поведения различных объектов в различных условиях: течения жидкостей и газов, деформирования высокоэластичных тел, деталей машин под действием внешних нагрузок. С помощью МКЭ можно рассчитывать распределение напряжений, деформаций, скоростей, температур, электрического потенциала, определять вибрации и другие параметры объектов в процессе их эксплуатации.

Использование МКЭ, даже для решения простых задач, предполагает огромный объем вычислений, который невозможно выполнить без использования ЭВМ достаточной мощности и специальных программных систем автоматизированного проектирования (САЕ систем). Система Autodesk Inventor обладает функциями САЕ систем, она позволяет проводить расчеты напряжений и деформаций в построенных моделях деталей и сборок, а также рассчитывать частоты их собственных колебаний. Мы будем рассматривать методы расчета напряжений в деталях и сборках, находящихся под действием внешних статических нагрузок.

При использовании МКЭ технический объект разбивается на множество однотипных элементов простой геометрической формы, называемых **КОНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ (КЭ)**. Все конечные элементы объединяются друг с другом в некоторых точках пространства, называемых **УЗЛАМИ**. В совокупности КЭ и узлы образуют конечно-элементную модель объекта.

В целом использование МКЭ сводится к следующим основным этапам:

1. Моделирование конструкции. На этом этапе создается трехмерная твердотельная модель реальной физической конструкции, которая разбивается на множество конечных элементов. Для элементов задаются свойства материалов.
2. Задаются граничные условия (условия закрепления конструкции, деформация конструкции).
3. Задаются контакты между деталями в сборке (если рассчитывается сборка из деталей).

4. Формируются внешние нагрузки (силы, моменты, давления).
5. Проводится расчет модели.
6. Анализируются результаты расчета

#### Основные типы конечных элементов

Существуют сотни конечных элементов различных видов. Конечные элементы различаются размерностью в пространстве, формой, количеством узлов, свойствами материала и другими параметрами.

**ОДНОМЕРНЫЕ КЭ** используются для моделирования ферм, сборных конструкций из металлопроката, балок, длинных валов, стержней и т.п. Существуют КЭ с двумя узлами (линейные) и криволинейные КЭ с тремя и большим количеством узлов. КЭ стержневого типа используются в тех случаях, когда элементы конструкции работают только на растяжение и сжатие. В случае возникновения изгибающих и крутящих моментов используются балочные КЭ.

**ДВУМЕРНЫЕ КЭ** используются для моделирования плоских конструкций и оболочек с участками постоянной толщины. Используются треугольные и квадратные элементы. Элементы различаются количеством узлов и криволинейностью сторон. Имеются мембранные элементы, которые не воспринимают моменты в плоскости элемента и любые нагрузки вне плоскости элемента, и пластинчатые элементы, работающие на изгиб и кручение.

**ТРЕХМЕРНЫЕ КЭ** используются для моделирования тел сложной геометрической формы. Различают тетраэдральные, призматические и гексаэдральные элементы с различным количеством узлов

Плоские и объемные элементы образуют своими ребрами в конечноэлементной модели сетку КЭ. Таким образом, реальный объект представляется в виде сетки КЭ. Не существует строгих правил построения таких сеток. Имеются общие рекомендации. Чем гуще сетка КЭ, чем больше узлов содержат КЭ, тем точнее получаются результаты расчета, однако при этом увеличивается время расчета конструкции, иногда очень существенно. Поэтому следует выбирать размеры и форму КЭ таким образом, чтобы обеспечить реальное время расчета конструкции и достаточную точность. В тех частях конструкции, где ожидается концентрация напряжений, рекомендуется создавать более густую сетку КЭ, где напряжения меняются мало – более редкую.

В системе Autodesk Inventor сетка формируется в соответствии с настройками пользователя автоматически, и затем может уточняться. Пример сетки трехмерных КЭ приведен на рис. 1.

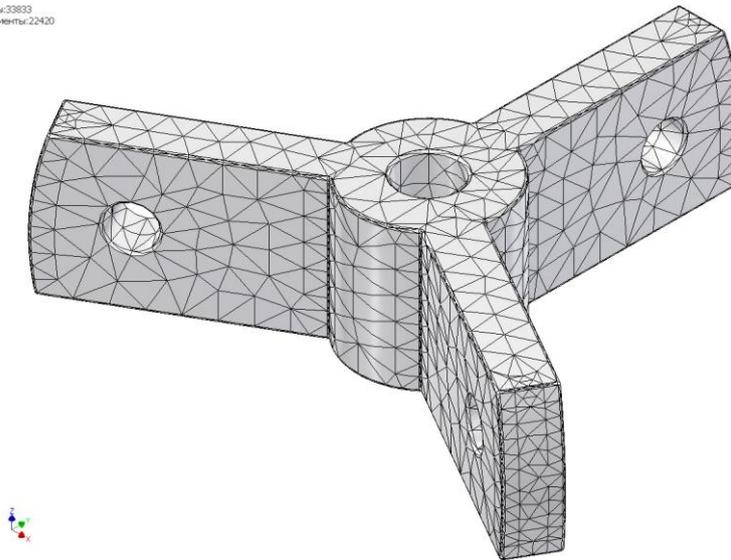


Рис. 1. Сетка конечных элементов

### ПРИМЕР

Порядок выполнения работы

#### 1. ЗАГРУЗИТЕ ПРОГРАММУ AUTODESK INVENTOR.

2. Нажмите кнопку "Проекты" на панели инструментов "Запуск", и выберите созданный Вами ранее проект с именем "Съемник подшипников". Проект должен находиться в Вашей персональной папке. Сделайте проект текущим (установите символ "V" напротив имени проекта). Закройте окно проектов.

#### 3. РАССЧИТАЙТЕ НА ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЬ СЪЕМНИКА – ТРАВЕРСУ.

Откройте файл детали «траверса».

4. На вкладке «Среды» выберите инструмент «Анализ напряжений».

Создайте новое моделирование командой «Создать моделирование» (рис. 3). Укажите вид анализа – «Одноточечный», «Статический анализ».

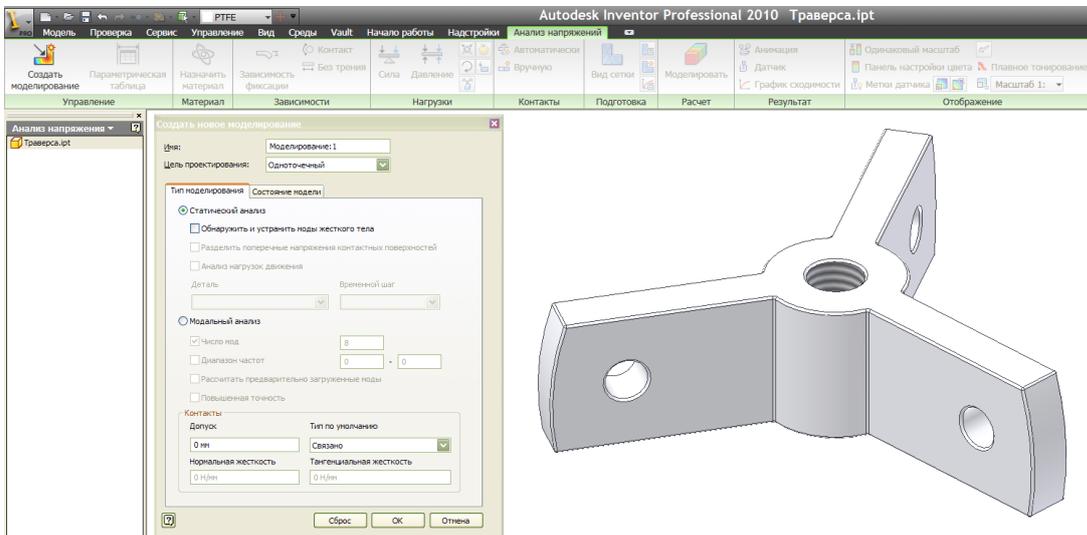


Рис. 3. Создание моделирования

- Система позволяет отображать результаты расчета в табличной форме. Для этой цели используется параметрическая таблица, в которой можно задать интересующие нас в результате расчета параметры.

Выберите инструмент «Параметрическая таблица». Используя контекстное меню («Добавить зависимость проекта»), задайте параметры, как показано на рис.4.

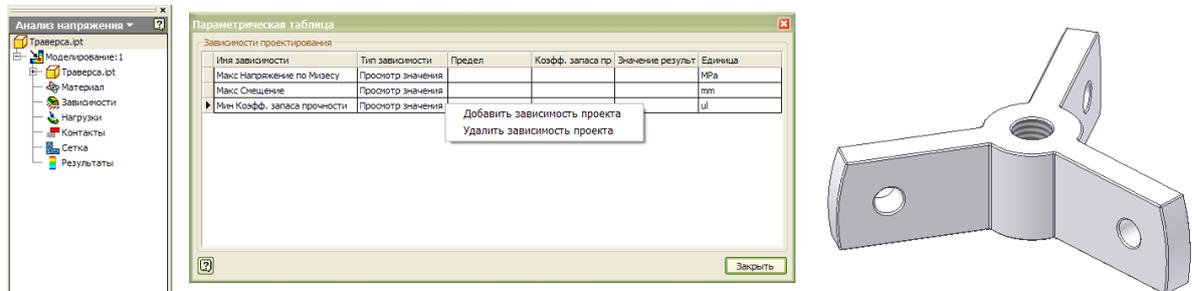
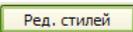


Рис. 4. Добавление параметра расчета в параметрическую таблицу

- Проверьте назначение материала детали. Материал траверсы должен быть «Сталь». При необходимости переопределите материал (рис. 5).

Укажите, что коэффициент запаса прочности определяется по пределу текучести материала. Коэффициент запаса прочности – это отношение предела текучести материала к эквивалентному напряжению.

Откройте редактор стилей кнопкой . Редактор стилей позволяет просмотреть и переопределить свойства материала. Задайте свойства стали, как показано на рис. 5.

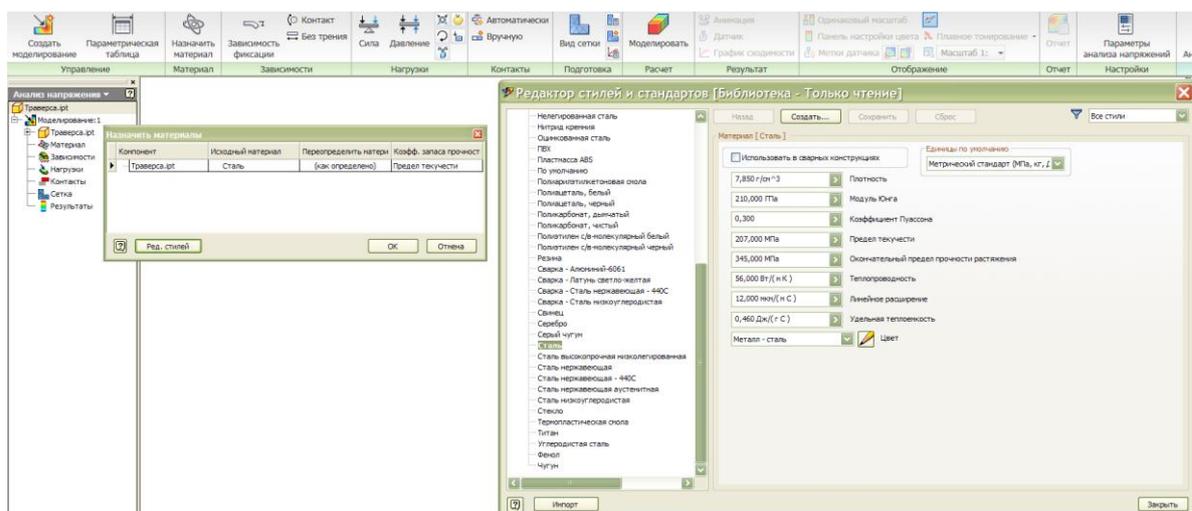


Рис. 5. Задание свойств материала

- Включите отображение сетки конечных элементов (рис. 2) командой «Вид сетки» на панели инструментов «Подготовка» (рис. 5).
- Используя панель инструментов "Зависимости", задайте граничные условия.

К граничным условиям относятся условия опирания (закрепления) детали. Условия опирания задаются таким образом, чтобы исключить возможность перемещения детали в пространстве, как единого целого тела, под действием нагрузок. Для задания граничных условий накладываются зависимости, подавляющие часть степеней свободы узлов, которыми деталь закрепляется в пространстве.

«Зависимость фиксации»  используется для закрепления в пространстве граней, ребер, вершин твердых тел. При этом можно фиксировать перемещение в пространстве элементов детали только вдоль выбранной оси системы координат, оставляя им свободу перемещений вдоль других осей. Здесь же можно задать начальную деформацию детали и затем рассчитать возникающие при этом напряжения.

Зависимость «Контакт»  используется для задания цилиндрических опор. Команда позволяет фиксировать возможные перемещения узлов цилиндрической поверхности детали в радиальном, осевом и касательном направлениях.

Зависимость «Без трения»  применяется для подавления степеней свободы узлов выбранной грани детали вдоль нормали к этой грани.

Траверса крепится на винте поверхностью центрального цилиндрического отверстия. Поэтому для задания условий опирания траверсы можно воспользоваться зависимостью для цилиндрических опор.

Выберите зависимость «Контакт» , зафиксируйте осевое и касательные направления для цилиндрической поверхности центрального отверстия траверсы (рис. 6). Тем самым деталь фиксируется в пространстве от возможных перемещений под действием внешних нагрузок. Фиксация касательного направления не позволит детали вращаться и перемещаться в плоскости торца отверстия, а фиксация осевого направления не позволит перемещаться вдоль нормали к этой плоскости. Радиальное направление можно не фиксировать, что соответствует реальной картине деформирования детали.

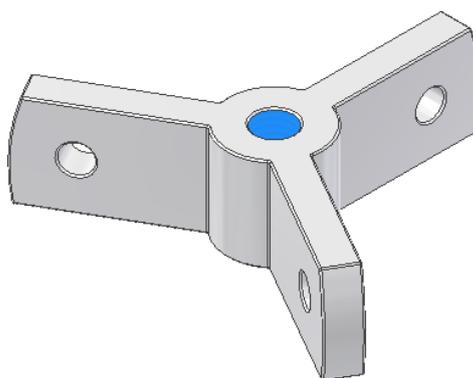
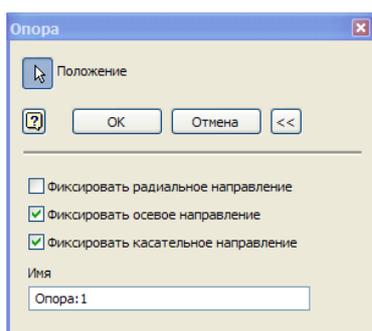


Рис. 6. Задание условий опирания траверсы

9. Задайте внешнюю нагрузку на траверсу со стороны захватов. Сила передается с каждого захвата через тело болта на цилиндрическую поверхность отверстий в плечах траверсы. Предполагаем, что силы равны и действуют в направлении параллельном оси центрального отверстия (рис. 7). Выберите цилиндрические поверхности

отверстий в плечах траверсы для размещения сил, задайте направление действия сил вдоль оси центрального отверстия и значение сил ( в диапазоне от 1500 Н до 3000 Н выбрать самостоятельно). Далее предполагается, что выбраны силы величиной 1500 Н.

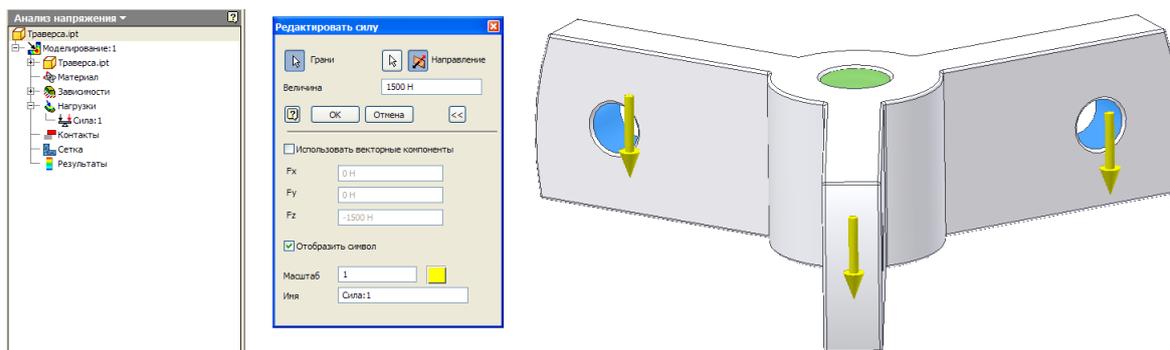


Рис. 7. Задание нагрузок

10. С помощью команды «Вид сетки» отобразите сетку КЭ. Настройте параметры сетки, как показано на рис. 8.

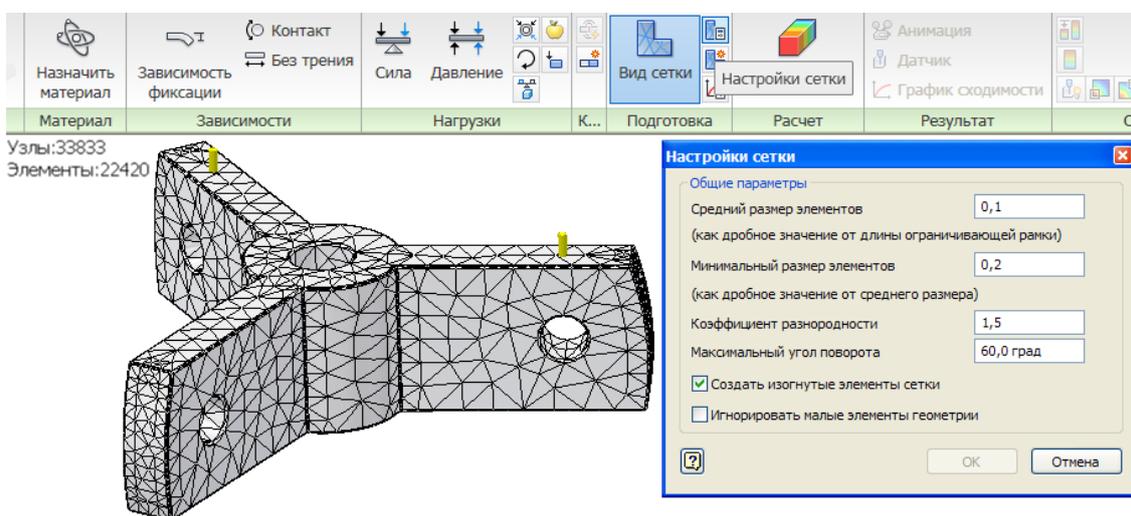


Рис. 8. Настройка параметров сетки

11. Командой «Моделирование» на панели «Расчет» запустите расчет детали (нажмите кнопку «Ветвь») (рис. 9).

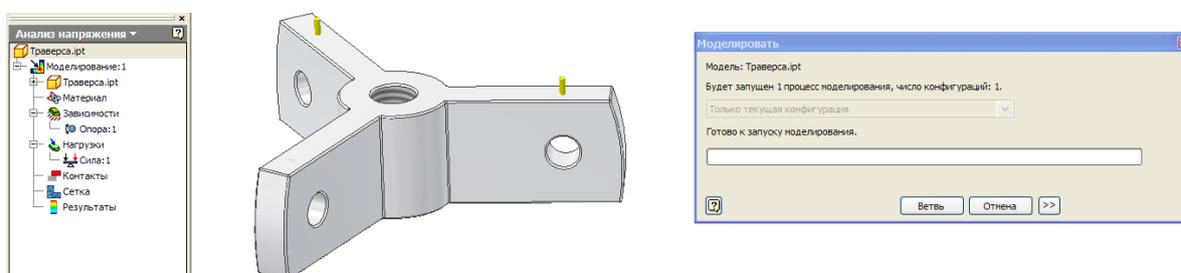


Рис. 9. Расчет траверсы

12. Проведите анализ результатов расчета.

Задать в браузере вывод результатов в виде напряжений по Мизесу. Напряжения по Мизесу – это эквивалентные напряжения, вычисленные по энергетической теории прочности (по четвертой теории прочности). Нажмите кнопку «Показать максимальное значение» на панели инструментов «Отображение» (рис. 10). На экране появится датчик, указывающий место возникновения максимальных напряжений в детали и отображающий величину этих напряжений.

Выведите на экран параметрическую таблицу.

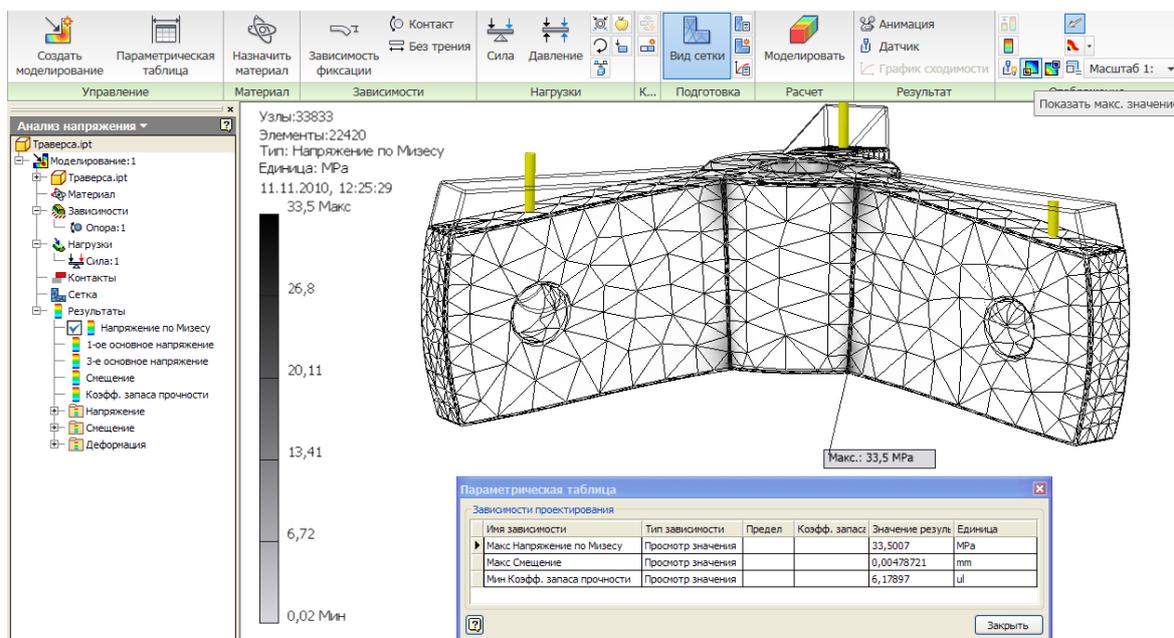


Рис. 10. Результаты расчета траверсы

На рис. 10 видим, что максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу составляет 33,5 МПа, максимальное смещение узлов – 0,005 мм, коэффициент запаса прочности превышает 6.

Для обеспечения условий прочности детали необходимо, чтобы эквивалентное напряжение по Мизесу не превышало допускаемые напряжения для материала детали.

Оценку работоспособности детали можно провести на основе рассчитанного минимального коэффициента запаса прочности. Ранее, при задании материала детали (рис. 5), было указано, что коэффициент запаса прочности вычисляется по пределу текучести материала. Поэтому, в данном случае, коэффициент запаса прочности – это отношение предела текучести материала к напряжению по Мизесу. Если коэффициент запаса меньше 1.0, то это означает, что напряжения в детали превысили предел текучести и деталь не выдержит заданную нагрузку. В химическом машиностроении принято, что коэффициент запаса по пределу текучести должен быть больше 1.5.

Так как в результате расчета получен минимальный коэффициент запаса 6.18, то это означает, что условия прочности траверсы выполняются.

13. Проведите уточненный расчет траверсы.

В зонах примыкания плеч траверсы к ее цилиндрической части возникает концентрация напряжений. Рекомендуется в таких зонах создавать более густую сетку КЭ.

Задайте параметры сходимости расчетов, как показано на рис. 11. Расчеты будут производиться в несколько шагов, на каждом шаге будет уточняться сетка конечных элементов и рассчитываться напряжение по Мизесу. Шаги будут выполняться до тех пор, пока разница между результатами расчетов не уменьшится до 3%. Пересчитываться будут только  $(1-0,75)*100 = 25\%$  КЭ с наибольшими напряжениями.

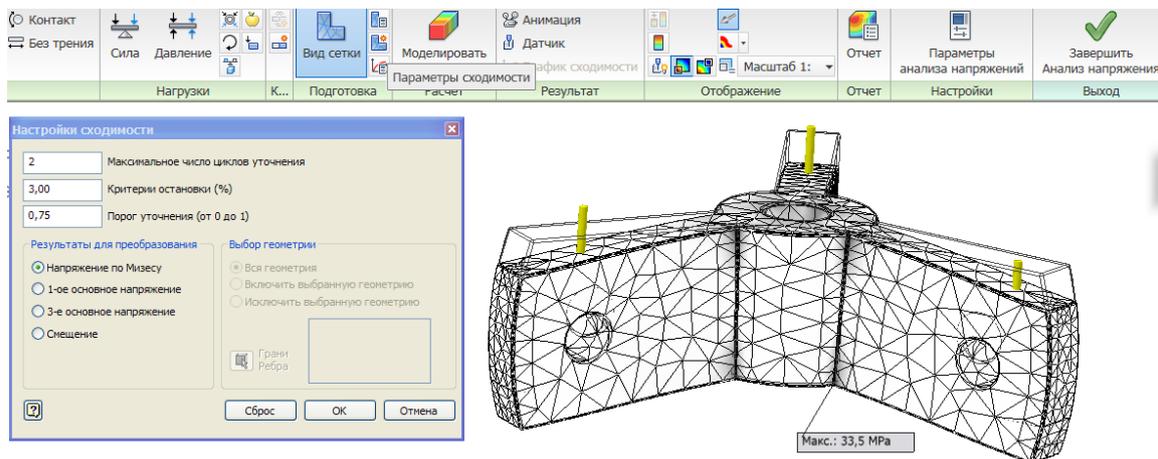


Рис. 11. Настройка сходимости для уточненного расчета

14. Запустите расчет на прочность командой "Моделирование".

Результаты повторного расчета показаны на рис. 12. Видим, что в процессе уточненного расчета в зонах концентрации напряжений была построена более густая сетка КЭ. Новые уточненные расчетные максимальные напряжения немного увеличились и составляют 35,7 МПа.

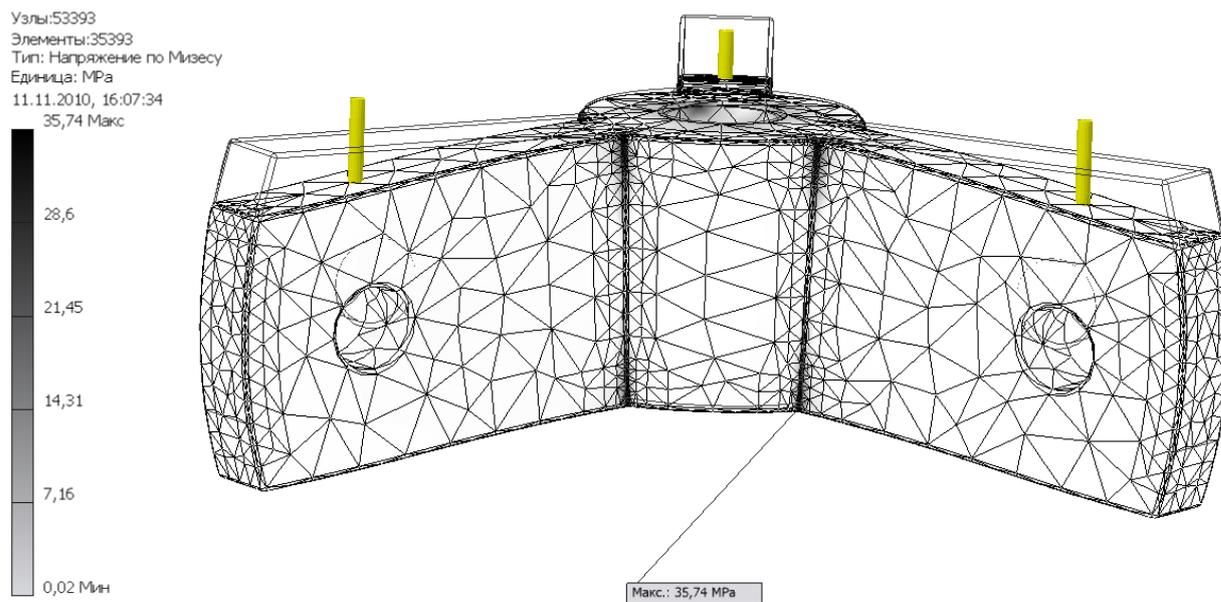


Рис. 12. Результаты уточненного расчета

15. Предполагаем, что увеличение радиуса скруглений острых ребер детали повлияет на концентрацию напряжений. Исследуйте влияние радиуса сопряжений граней траверсы на величину напряжений в детали. Подберите оптимальное значение радиуса.

Создайте новое моделирование, в качестве цели проектирования укажите "Параметрический размер" (рис. 13).

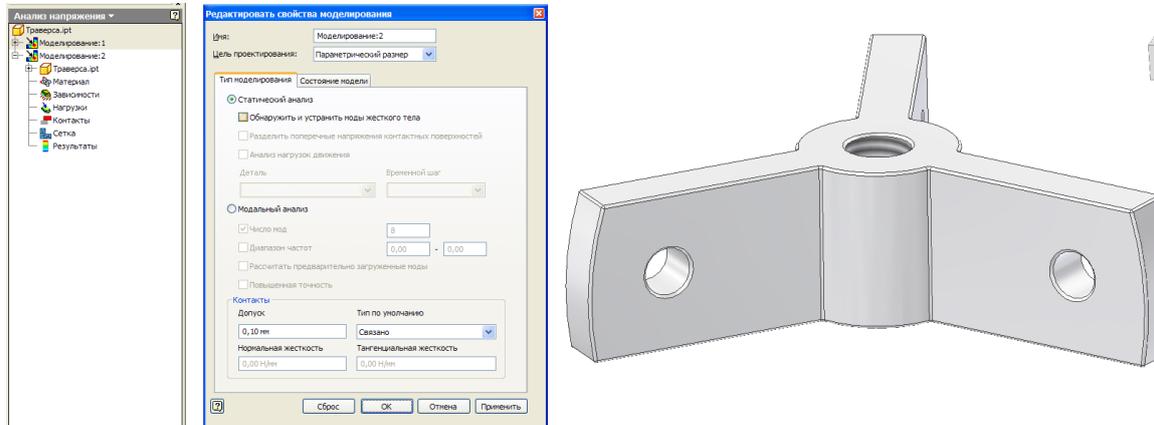


Рис. 13. Создание нового моделирования

16. Выберите в контекстном меню детали в браузере пункт "Показать параметры". Выберите в таблице параметров параметр, определяющий радиус сопряжения граней траверсы (рис. 16). Отметьте его в таблице символом "v".



Рис. 16. Выбор параметра модели для оптимизации

17. Откройте параметрическую таблицу, заполните ее как на рис. 17. Запись в колонке "Значения" "0,5-3,5:4" означает, что будут рассчитаны четыре варианта детали с размером сопряжений 0,5; 1,5; 2,5; 3,5.

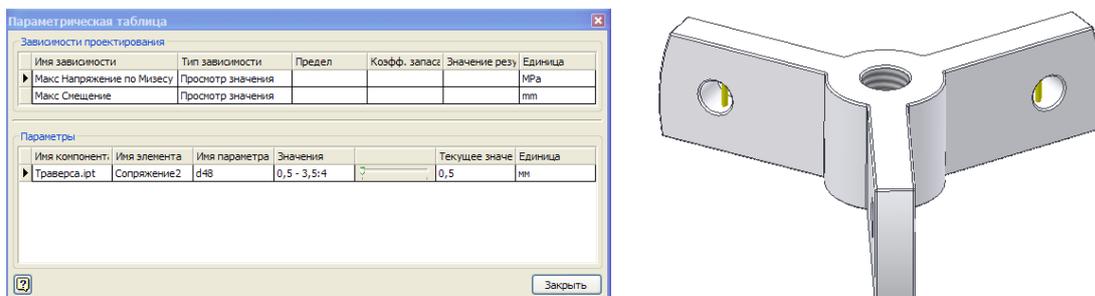


Рис. 17. Заполнение параметрической таблицы

18. Проведите расчет детали. Откройте параметрическую таблицу (рис. 18). Используя бегунок, меняйте текущее значение сопряжения в диапазоне от 0,5 мм до 3,5 мм. При этом значения максимальных напряжений будут также меняться. При значении радиуса сопряжения 2,5 мм величина максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу будет наименьшей и составит чуть меньше 18 МПа. Таким образом, при увеличении радиуса сопряжений можно уменьшить величину напряжений в детали ПОЧТИ В два раза.

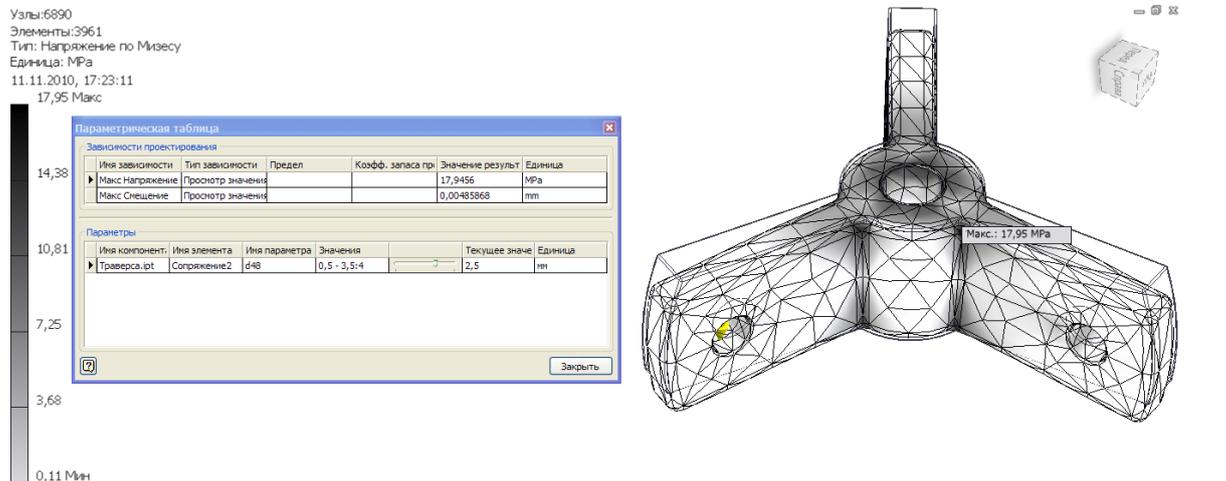


Рис. 18. Результаты параметрического расчета

19. Запустите анимацию  на панели "Результат". Посмотрите, как деформируется деталь в процессе нагружения, и как при этом меняются напряжения по объему детали.
20. Установите датчики в разных частях детали (команда "Датчик  " на панели "Результат"). Нажмите кнопку "Метки датчика" на панели "Отображение". Датчики отображают результаты расчета в интересующей нас области (рис. 19).

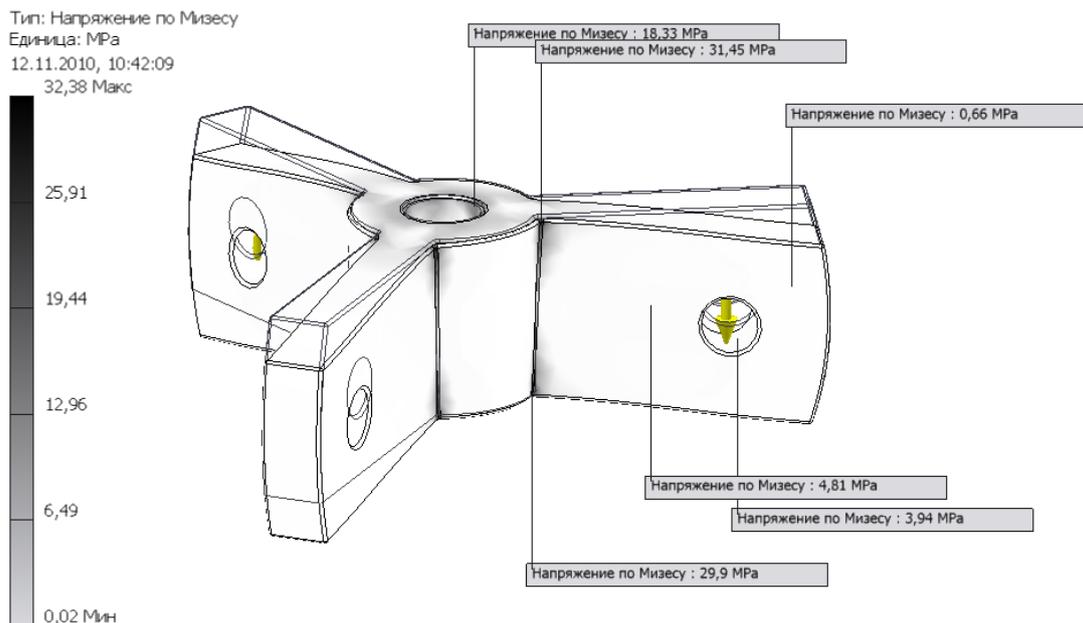
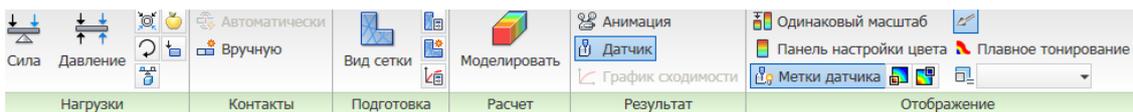


Рис. 19. Установка датчиков на поверхности детали