А.Л. Комисаренко, И.В. Словцов, Ю.Н. Фомина, М.М. Шальнов

# Методические рекомендации к лабораторному практикуму

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ, СИСТЕМ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Под ред. к.т.н., доцента Е.И. Яблочникова

ПРИЛОЖЕНИЕ І

Санкт-Петербург 2008

#### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

#### ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

# САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ



# А.Л. Комисаренко, И.В. Словцов, Ю.Н. Фомина, М.М. Шальнов

# Методические рекомендации к лабораторному практикуму

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ, СИСТЕМ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Под ред. к.т.н., доцента Е.И. Яблочникова





Санкт-Петербург

2008

А.Л. Комисаренко, И.В. Словцов, Ю.Н. Фомина, М.М. Шальнов. Моделирование приборов, систем и производственных процессов / Приложение I. Методические рекомендации к лабораторному практикуму. Под ред. к.т.н., доцента Е.И. Яблочникова – СПб: СПбГУИТМО, 2008. – 124 с.

Данные методические рекомендации содержат краткие положения по использованию средств виртуального моделирования изделий и процессов в приборостроении и машиностроении, позволяющих существенно повысить эффективность проектирования и ТПП. Рассматриваются возможности системы CATIA в области проектирования 3D моделей изделий и формообразующей оснастки, а также демонстрируются возможности современных технологий в области управления параметризацией виртуальных моделей изделий. Описываются методики моделирования конструкции В условиях eë эксплуатации поведения В среде Nastran/Patran. Приводится задача анализа столкновений компонентов сборки на этапе проектирования. На примере системы DELMIA демонстрируются возможности современных технологий в области построения технологических операций сборки. Рассматривается задача формирования траектории перемещения компонентов сборки.

Данные рекомендации предназначены для магистров, обучающихся по направлению подготовки 200100 – Приборостроение по магистерским программам «Технологическая подготовка производства приборов и систем», «Управление жизненным циклом приборов и систем» и «Проектирование интегрированных систем технической подготовки производства приборов и систем».

Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и оптотехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 – Приборостроение.

В 2007 году СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007–2008 годы. Реализация инновационной образовательной программы «Инновационная система подготовки специалистов но-



вого поколения в области информационных и оптических технологий» позволит выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворить возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях экономики.

©Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2008

© А.Л. Комисаренко, И.В. Словцов, Ю.Н. Фомина, М.М. Шальнов, Е.И. Яблочников.

# Оглавление

Лабораторная работа «Построение 3D-моделей изделий»		
Цель работы	5	
Описание системы САТІА	5	
Постановка задачи	8	
Руководство к проведению лабораторной работы	8	
1 часть. Создание сборки по существующим моделям	9	
2 часть. Создание детали в контексте сборки	15	
3 часть. Анализ ограничений сборки	16	
Содержание отчета	17	
Лабораторная работа «Анализ геометрических параметров 3D-модел	ей».	
Цель работы	18	
Реализация инструментов измерения в САТІА	18	
Постановка задачи	19	
Руководство по проведению лабораторной работы	20	
Выбор элементов измерения, менеджер измерений	21	
Измерение расстояний между элементами	22	
Измерение объекта	23	
Инерционно-массовые характеристики	24	
Построение дополнительной геометрии	24	
Содержание отчета	25	
Лабораторная работа «Статический расчёт круглой пластины с		
применением метода конечных элементов»	26	
Цель работы	26	
Элементы поверхностей	26	
Руководство к выполнению лабораторной работы	30	
Содержание отчёта	41	
Лабораторная работа «Статический расчёт твердотельной детали с		
применением метода конечных элементов»	42	
Цель работы	42	
Твердотельные элементы	42	
Статический расчёт детали (LUG-проушина)	45	
Содержание отчёта	57	
Лабораторная работа «Построение 3D-моделей формообразующей		
оснастки»	58	
Цель работы	58	
САД/САМ/САЕ-система САТІА	58	
Постановка задачи	61	
Руководство к проведению лабораторной работы	61	
1 Этап. Создание новой детали	61	
2 Этап. Выбор основания эскиза	61	

3 Этап. Создание геометрии эскиза	62
4 Этап. Создание ограничений в эскизе	63
5 Этап. Создание 3D-примитивов	65
Содержание отчета	67
Лабораторная работа «Анализ технологических операций сборки в	
системе Delmia»	67
Цель работы	67
Постановка задачи	67
Руководство по проведению лабораторной работы	68
Содержание отчета	70
Лабораторная работа «Управление перемещением компонентов сбор	ки в
системе Delmia»	71
Цель работы	71
Постановка задачи	71
Руководство по проведению лабораторной работы	71
Содержание отчета	74
Лабораторная работа «Параметризация 3D-моделей изделий»	75
Цель работы	75
Формулы и их реализация в САТІА	75
Постановка задачи	76
Руководство по проведению лабораторной работы	77
Содержание отчета	82
Приложение 1. Чертежи для выполнения заданий	83
Приложение 2. Варианты заданий	95
Приложение 3. Варианты заданий для самостоятельного выполнени	ия
	.101
Приложение 4. Варианты заданий для самостоятельного выполнени	ия
	.107
Приложение 5. Варианты заданий для самостоятельного выполнени	ия
	.107
Приложение 6. Варианты заданий для самостоятельного выполнени	ия
	.108
Приложение 7. Варианты заданий для самостоятельного выполнени	ия
	.114
Приложение 8. Варианты заданий для самостоятельного выполнени	ЯК
	114
Приложение 9. Варианты заданий для самостоятельного выполнени	ия
Список литературы	122

# Лабораторная работа «Построение 3D-моделей изделий»

# Цель работы

Цель практической работы состоит в том, чтобы на примере построения 3D-модели сборки в CAD/CAM/CAE-системе CATIA:

- Ознакомиться с базовыми инструментами и функциями модуля Assembly Design (Проектирование сборок);
- Изучить методику построения 3D-моделей сборок по ранее разработанным моделям;
- Научиться проектировать детали в контексте сборки.

В результате выполнения лабораторной работы студенты изучат отдельные возможности модуля Assembly Design, необходимые для решения задач проектирования сборок.

Практическая работа проводится с использованием CAD/CAM/CAEсистемы CATIA.

# Описание системы САТІА

Система САТІА (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) – одна из самых известных и мощных САD/САМ/САЕсистем высокого уровня. Это комплексная система автоматизированного проектирования (САD), технологической подготовки производства (САМ) и инженерного анализа (САЕ), включающая в себя передовой инструментарий трёхмерного моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации. Система позволяет эффективно решать все задачи технической подготовки производства – от внешнего (концептуального) проектирования до выпуска чертежей, спецификаций, монтажных схем и управляющих программ для станков с ЧПУ и т.д. Кроме того, функциональность САТІА дополнительно включает в себя элементы, характерные для PDM-систем.

Система САТІА имеет модульную структуру, в центре которой находится собственное математическое ядро – CNEXT. Такой подход позволяет пользователю помимо макросов (которые поддерживают все системы класса hi-end), писать собственные модули для системы САТІА. Причем с выходом нового релиза самостоятельно написанный модуль не потребует внесения изменений. Данное решение позволяет развивать и наращивать функционал в значительно более короткие сроки, так как внедрение новых модулей не связано с изменением ядра программы. Ядро CNEXT уравнивает в правах геометрические данные и технологические процессы. Это свойство системы тоже уникально. В дереве построений хранится не только история создания геометрии, но и процессы, и затраченные ресурсы.

Система САТІА имеет несколько модулей:

- Машиностроительное проектирование (Mechanical Design);
- Разработка дизайна изделий (Shape Design and Styling);
- Системный синтез промышленных изделий (Product Synthesis);
- Проектирование производственных и коммуникационных систем (Equipment and Systems Engineering);
- Инженерный анализ (Analysis);
- Программирование обработки на станках с ЧПУ (NC Manufacturing);
- Управление проектированием и обмен данными (Infrastructure);
- Разработка приложений к CATIA (RADE Products);

В лабораторной работе будет изучен модуль Assembly Design (Проектирование сборок), входящий в группу модулей Mechanical Design (Машиностроительное проектирование). Данный модуль позволяет легко определить механические ограничения узлов, автоматически позиционирует и ограничивает движение компонентов, проверяет операции сборки на непротиворечивость.

Модуль помогает проектировщикам определять большие иерархические сборки и работать с ними, используя подход как "сверху-вниз", так и "снизу-вверх". Компоненты сборки можно легко устанавливать на место с помощью мыши или специальных инструментов. Сборочные ограничения позволяют контролировать положение деталей в сборке и устанавливать контакты между ними. Позиционировать компонент в пространстве относительно других компонентов можно несколькими способами: буксировкой курсором мыши, трансформацией типа переноса и вращения и совмещением по граням и кромкам. Одновременно к компоненту могут быть приложены механические связи с другими компонентами (соосность, компланарность, эквидистанта, угловая константа и др.). Они являются полноправными элементами описания изделия и входят в его спецификацию.

Детали можно повторно использовать в этой или в другой сборке, при этом не происходит дублирование данных. Модуль Проектирования сборок Assembly Design обеспечивает легкость создания и управления структурой сборки двумя путями. Компонент может быть вставлен в определенное место в структуре сборки и наделен механическими связями с другими компонентами либо создан «по месту», опираясь на окружающую его конструктивную обстановку. Структура сборки может иметь неограниченное количество уровней. В CATIA обеспечено параллельное проектирование несколькими пользователями благодаря тому, что каждый компонент сборки имеет свою собственную спецификацию, но может быть применен в различных местах сборки несколько раз, без дублирования данных. Когда модули трехмерного проектирования и сборки используются вместе, любой элемент, вовлеченный в сборку, может быть изменен как индивидуально, так и в контексте сборки.

Компоненты сборки можно модифицировать (изменять геометрические параметры), «растаскивать» в пространстве произвольным образом, при этом не разрушая присвоенные им механические связи, а затем автоматически приводить всю конструкцию в собранное состояние.

Двунаправленные ассоциативные взаимосвязи между деталями, сборками и их чертежами CATIA гарантируют соответствие модели и чертежа, так как все изменения сделанные в детали автоматически передаются связанную с ней сборку и чертеж.

Создаваемый при работе с САТІА пользователем проект имеет файловую структуру. При этом для различных видов информации используются различные расширения файлов. Например, для деталей – \*.CATPart, для сборочных единиц – \*.CATProduct, для чертежей – \*.CATDrawing и т.д.

Важным элементом представления информации проекта является дерево проекта. Оно содержит состав всех компонентов проекта в структурированном виде. Элементами дерева проекта являются:

- Механические сборочные единицы и детали, геометрические компоненты деталей;
- Объекты специальной предметной области (электрожгуты, кабели, трубопроводы, конструкции и т.д.);
- Чертежи, листы и виды чертежей;
- Технологические процессы обработки на станках с ЧПУ (последовательность процедур и используемый инструмент);
- Механические связи между элементами сборки (соосность, совмещение плоскостей, фиксация расстояний и др.);
- Представление знаний параметры, формулы, правила и базы правил;
- Дополнительные средства описания проекта 3D-аннотации, закладки, множества, сцены, гиперссылки, слайды, фильмы и др.

Таким образом, задачи по проектированию сложных изделий и систем в CATIA решаются в трехмерном пространстве, на уровне виртуальных моделей. CATIA устраняет необходимость физического макетирования деталей и узлов для анализа их форм, компоновки, прочностных характеристик и т.д. Это экономит предприятию материальные ресурсы, сокращает время проектирования и подготовки производства изделий. В конечном счете, виртуальное макетирование в CATIA V5 снижает стоимость продукции предприятия и сокращает время выхода этой продукции на рынок.

### Постановка задачи

Практическая работа состоит из трех частей.

Задача первой части – создать сборку по ранее разработанным 3Dмоделям деталей. Проектируемая сборка должна удовлетворять ряду требований:

- 1) Первый компонент должен быть фиксирован. Несмотря на то, что фиксирование первого компонента в CATIA не обязательно, на практике это может оказаться полезным.
- 2) Все компоненты должны быть полностью ограничены. Полное ограничение компонентов позволяет исключить возникновение нежелательных изменений.
- Необходимо использовать инструменты дублирования. Повторное использование существующих компонентов значительно сокращает время разработки.

Во второй части практической работы необходимо спроектировать деталь в контексте сборки. Создаваемая деталь должна удовлетворять ряду требований:

- 1) Модель должна быть создана внутри сборки.
- 2) Эскиз базового примитива детали должен базироваться на плоской грани смежного компонента.

В третьей части необходимо провести анализ сборки. Анализ сборки должен содержать:

- 1) Анализ ограничений сборки.
- 2) Определение числа степеней свободы компонентов сборки.
- 3) Анализ ограничений компонентов при помощи инструмента разнесения сборки.

# Руководство к проведению лабораторной работы

Данная лабораторная работа проводится с использованием CAD/CAM/CAE системы CATIA. Поэтому для выполнения работы необходима предварительная установка данного программного обеспечения. Реализация работы осуществляется на базе компьютерного класса кафедры ТПС.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы:

- сборочный чертеж и спецификация (Приложение 1);
- 3D-модели деталей;

• чертеж детали, проектируемой в контексте сборки (Приложение 2).

Файлы с моделями деталей находятся в папке "3D-модели сборок", номер папки соответствует номеру варианта.

# Внимание! Названия файлов создаваемых в системе CATIA должны вводиться латинскими буквами.

В сборке могут использоваться как заранее построенные компоненты, так и компоненты, созданные внутри сборки. Сборка, содержит дерево спецификации, в котором отображаются вставленные компоненты и ограничения, используемые для позиционирования компонентов.

#### 1 часть. Создание сборки по существующим моделям

В процессе создания 3D-модели сборки выполняется несколько этапов.

- 1. Создать новый документ CATProduct.
- 2. Добавить базовый компонент.
- 3. Управлять положением компонента и зафиксировать его.
- 4. Добавить компоненты сборки.
- 5. Установить ограничения компонентов сборки.
- 6. Скрыть все ограничения и видимые вспомогательные плоскости.

#### Этап 1. Создать новый документ CATProduct

Сборки создаются в рабочей среде Assembly Design (Проектирование сборок). Файл сборки имеет расширение .CATProduct. Существует три способа создания нового документа CATProduct:

- Через меню Start > Mechanical Design > Assembly Design;
- Выбрать File>New>Product;

• Используя иконку New — на панели инструментов Standart.

После создания нового документа, при помощи правой клавиши мыши и меню Properties (Свойства), необходимо задать описательную информацию об изделии. В поле Part Number (обозначение сборки) ввести обозначение сборки.

#### Этап 2. Добавить базовый компонент

#### Первый элемент, добавленный в сборку должен быть самым стабильным!

Добавить существующий компонент можно:

- Через контекстное меню сборки Components/Existing Component (Существующий компонент)...
- При помощи иконки Existing Component 🖆
- При помощи меню Insert >Existing Component (Вставка >Существующий компонент).

#### Этап 3. Управлять положением компонента и зафиксировать его

В САТІА существует несколько способов просмотра модели. Самыми простыми способами изменения вида модели являются перемещение, вращение, масштабирование.

- Перемещение в плоскости экрана осуществляется при нажатии и удерживании средней кнопки мыши.
- Вращение позволяет поворачивать модель вокруг точки. Для этого необходимо нажать и удерживать среднюю кнопку мыши, одновременно щелкнув и удерживая левую кнопку мыши.
- Масштабирование позволяет увеличивать или уменьшать размер модели в плоскости, параллельной плоскости экрана. Для этого необходимо нажав и удерживая среднюю кнопку мыши перемещать курсор вверх или вниз, а затем один раз щелкнуть левой кнопкой мыши.

В САТІА для управления вставленными в сборку компонентами используется инструмент *Компас* (по умолчанию, компас расположен в правом верхнем углу экрана). Компас является вспомогательным инструментов ориентации при вращении вида, а также используется для физического перемещения объектов в пространстве и манипулирования ими. Компас позволяет перемещать и вращать сборку целиком, а также свободно передвигать и поворачивать ее компоненты.

- Если компонент ограничен, то это вращение временное, поскольку не сохраняется в документе детали CATPart, ни в документе сборки CATProduct. Изменяется только направление взгляда.
- Если этот компонент не имеет ограничений, его новое положение сохраняется в документе CATProduct.

Для того чтобы переместить компонент с помощью компаса, необходимо выполнить следующие шаги:

1. Поместить компас на компонент.

Навести курсор на красный квадрат в основании компаса, при этом значок курсора должен измениться. Нажать и удерживать левую кнопку мыши, чтобы передвинуть компас. В движении компас меняет свою форму. Когда компонент выбран, компас принимает положение, совпадающее с геометрическим элементом, находящимся под ним. Чтобы выбрать компонент, нужно отпустить левую кнопку мыши.

2. Выбрать вид движения, перемещая курсор по компасу. Подсвечиваемые элементы компаса показывают доступное движение.

3. С помощью левой кнопки мыши переместить компонент.

После добавления базового компонента, он может быть оставлен "плавающим" в пространстве (без ограничений), но желательно зафиксировать этот компонент. В зафиксированном положении он в дальнейшем будет служить основным элементом для размещения остальных компо-

нентов сборки. Компоненты, зафиксированные в пространстве, возвращаются в свое исходное положение при обновлении ограничений (т.е. восстанавливаются).

Фиксирование компонента в пространстве:

1. Выбрать иконку Fix (Фиксировать) и на панели инструментов Constraints.

2. Выбрать компонент, который необходимо зафиксировать, в дереве спецификации или в геометрической области.

После того, как компонент был зафиксирован, положение его в сборке можно на время изменить. Но после обновления сборки, ограничения будут пересчитаны, и компонент вернется в заданное положение.

#### 4 этап. Добавить компоненты сборки

В сборку существующий компонент может быть добавлен одним из трех способов рассмотренных на втором этапе.

В сборке может присутствовать более одного экземпляра компонента. Возможности Сору (Копировать) и Paste (Вставить) позволяют легко дублировать компонент. Для этого необходимо выполнить шаги.

1. Щелкнуть правой кнопкой мыши по компоненту.

2. Выбрать в контекстном меню команду Сору (Копировать).

3. Щелкнуть правой кнопкой мыши сборку, в которую нужно вставить компонент.

4. Выбрать в контекстном меню команду Paste (Вставить).

При копировании и вставке компонента можно контролировать, будут или нет, одновременно с компонентом копироваться его ограничения. Для того чтобы компонент копировался без ограничений необходимо:

1. Выбрать Tools > Options (Инструменты > Опции), чтобы открыть окно Options.

2. Выделить ветвь Assembly Design в узле Mechanical Design.

3. Открыть вкладку Constraints (Ограничения).

Without the assembly constraints

в секции

Paste Components (Вставка компонентов).

4. Выбрать опцию

Эти опции начинают применяться в сеансе работы и не требуют перезапуска САТІА.

#### 5 этап. Установить ограничения компонентов сборки

Когда компоненты добавляются в сборку, они могут перемещаться и вращаться в любом направлении. При наложении ограничений на компонент уменьшается число степеней его свободы. В идеальном случае, число степеней свободы каждого компонента сборки должно равняться нулю. Это исключает возникновение нежелательных перемещений между компонентами и обеспечивает полное соответствие сборки требованиям технического задания в процессе ее модификаций. Ограничения сборки используются для определения взаимного расположения существующих компонентов.

Вставленные в продукт компоненты должны быть расположены с учетом остальных компонентов. До определения ограничений, компоненты можно установить в нужное положение с помощью компаса. Пока на компонент не наложено никаких ограничений, он может свободно перемещаться в пространстве. Используя эту возможность, компонент следует перенести в положение, близкое к требуемому, и только затем точно зафиксировать его с помощью ограничений.

Задавать ограничения в сборке следует в следующей последовательности:

1. Зафиксировать в пространстве положение одного из компонентов. Это будет начальный компонент.

2. Переместить компонент с помощью компаса близко к нужному положению. В дальнейшем это позволит проще накладывать ограничения.

3. Точно позиционировать компонент, выбрав и применив подходящее ограничение(я).

4. Проверить полученный результат, обновив сборку. Компоненты займут свое положение в соответствии с наложенными ограничениями.

Относительное положение компонента устанавливается с помощью ограничений. Для задания ограничений может быть использован один из следующих методов:

- С помощью панели инструментов Constraints (Ограничения);
- С помощью меню Insert (Вставка).

Ниже приведена таблица, содержащая символы, которыми обозначаются ограничения между компонентами.

*Ограничение Coincidence (Совпадение)* обеспечивает соосность, компланарность или совпадение точек. Для создания Coincidence необходимо выполнить последовательность шагов.

Если для выравнивания нужно сделать плоскости компланарными, САТІА позволяет выбрать ориентацию с помощью двух зеленых стрелок. Чтобы определить ориентацию, необходимо выполнить шаги. Нажать на одну из зеленых стрелок, чтобы изменить ориентацию перемещаемого компонента.

*Ограничение Contact (Контакт)* соединяет две плоскости или грани. Для задания этого ограничения необходимо выполнить шаги.

*Ограничение Offset (Смещение)* определяет расстояние между двумя элементами.

Чтобы применить это ограничение, необходимо ввести значение смещения.

Выбрать ориентацию (водном или противоположном направлении), щелкнув на зеленую стрелку или выбрав соответствующую опцию в выпадающем меню Orientation.

Ограничения	Обозначение в геометрической об- ласти	Обозначение в дереве специ- фикации
Coincidence (Совпа- дение)	0	ø
Contact (Контакт)		ø
Offset (Смещение)	<b>⊨</b> ≪ <sup>2</sup> >-	<b>*</b>
Angle (Угол) Planar Angle (Плоский угол)		<u></u>
Parallelism (Парал- лельность)		
Perpendicularity (Пер- пендикулярность)	L_	
Fix (Фиксировать)		
Fix together (Фикси- ровать вместе)		I

Таблица .1Ограничения и их обозначения

*Ограничение угла Angle (Угол)* определяет угол между элементами компонентов

С помощью ограничения Angle (Угол) также можно задать параллельность или перпендикулярность двух элементов. Если определяется параллельность, можно выбрать ориентацию компонентов в одном или противоположном направлении. Чтобы применить это ограничение, необходимо выполнить последовательность шагов.

1. Выбрать иконку Angle.

2. Выделить две плоскости, которых уточняется ограничение.

3.Выбрать опцию Parallelism (Параллельность) или опцию Perpendicularity (Перпендикулярность).

4. Если выбрана опция Parallelism, определить ориентацию.

*Ограничение Fix together (Фиксировать вместе)* позволяет применять к компонентам такие ограничения, при которых они двигаются как единый объект. Можно выбирать больше двух компонентов. Вокне Fix Together отображается список всех выбранных компонентов.

<u>В CATIA установлены следующие правила работы с ограниче-</u> ниями:

- Ограничения могут применяться только между дочерними компонента;
- Нельзя задавать ограничения между геометрическими элементами, принадлежащими одному компоненту;
- Нельзя применять ограничение между компонентами одной подсборки, если подсборка не является активным элементом дерева спецификации.

При нарушении установленных правил, в процессе создания ограничений могут возникать ошибки, сообщения о которых появляются в окне Assistant (Помощник).

#### Обновление ограничений

При обновлении сборки CATIA повторно пересчитывает все наложенные на компоненты ограничения. Ограничения, требующие обновления, обозначаются в дереве спецификации и на модели. Обновлять можно сразу все ограничения или каждое отдельно, используя один из способов, описанных ниже.

• Для обновления всех ограничений и деталей в сборке использовать



на панели инструментов Tools.

• Для обновления одного ограничения необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши по этому ограничению в дереве спецификации или в геометрической области, затем в контекстном меню выбрать команду Update.

#### 6 этап. Скрыть все ограничения и видимые вспомогательные плоскости

Для упрощения отображения модели необходимо скрыть все ограничения и видимые вспомогательные плоскости. Скрыть элементы можно двумя способами:

- Щелкнуть на элемент, который необходимо скрыть, правой кнопкой мыши и выбрать Hide/Show (Скрыть/Показать) из контекстного меню.
- При помощи меню Tools > Hide (Инструменты > Скрыть).

#### 2 часть. Создание детали в контексте сборки

Исходными данными для выполнения второй части лабораторной работы являются сборочный чертеж (Приложение 1) и чертеж детали (Приложение 2), которую необходимо создать в контексте сборки. Деталь проектируется в контексте сборке, созданной в первой части работы.

#### Для определения новой детали необходимо использовать уже существующие компоненты.

Процесс проектирования детали в сборке состоит из следующих этапов:

1. Добавить новую деталь в сборку.

2. Создать эскиз детали.

3. Создать деталь.

Основанием эскиза должна быть плоская грань смежного компонента. Ограничения в эскизе должны быть определены с помощью элементов других компонентов.

#### 1 Этап. Добавить новую деталь в сборку

Добавить новую деталь можно:

- Через контекстное меню сборки Components/ New Part (Новая деталь).
- При помощи иконки New Part 🤓
- При помощи меню Insert > New Part (Вставка > Новая деталь).

В контекстном меню Properties (Свойства) необходимо задать обозначение детали.

#### 2 Этап. Создать эскиз детали

Для построения примитивов детали внутри сборки необходимо:

1. Перейти в режим редактирования детали Part Design (при помощи двойного щелчка мыши).

2. Выбрать плоскую поверхность смежного компонента и перейти в



режим Sketcher (Эскиз)

3. В режиме создания эскиза, нарисовать эскиз для создания детали.

Для того чтобы деталь удовлетворяла указанным требованиям необходимо наложить ограничения при помощи инструмента Constraints

Defined (Определение ограничения)



#### 3 Этап. Создать деталь

Для создания детали необходимо воспользоваться командами Pad

(Призма) **Д**или Роскеt (Карман)

#### 3 часть. Анализ ограничений сборки

В третьей части лабораторной работы необходимо проанализировать состояние всех связей сборки. Анализ состоит из трех этапов:

#### 1 Этап. Анализ ограничений

Для выполнения анализа ограничений сборки необходимо встать на сборку и выбрать Analyze > Constraints (Анализ > Ограничения). Появится диалоговое окно Constraint Analysis (Анализ ограничений) со всей необходимой информацией. Закладка Constraints (Ограничения) отображает детальное состояние ограничений в сборке: число не ограниченных компонентов (not constrained) и состояния определённых ограничений.

Если ограничения заданы правильно, то число нарушенных связей будет равно нулю.

Если имеются нарушенные связи, необходимо выяснить причину и избавиться от них (нарушенная связь обозначена желтым предупредительным символом).

#### 2 Этап. Анализ числа степеней свободы компонентов сборки

Устанавливая ограничения, сокращается число степеней свободы компонента. Компонент сборки должен быть полностью ограничен, то есть число степеней свободы должно равняться нулю. Для выполнения проверки степеней свободы компонента необходимо выделить этот компонент правой кнопки мыши и выбрать в контекстном меню x.object > Components Degrees of Freedom (Объект > Степень свободы компонента). Все оставшиеся степени свободы отображаются в окне Degrees of Freedom Аnalysis (Анализ степеней свободы).

#### 3 Этап. Проверка наложения ограничений сборки

Среда "Разнесенная сборка", как и следует из названия, предназначена для создания разнесенных видов, иллюстрирующих порядок сборки, состав изделия или взаимосвязи между отдельными частями механизма. Средства автоматического построения вида смещают детали и узлы в соответствии с порядком сборки и со связями, наложенными на элементы сборки. При изменении сборки автоматически меняется и разнесенный вид. Все построенные разнесенные виды сборки могут быть легко показаны на чертежах, что особенно важно для создания технических руководств. Для создания разнесённой сборки необходимо выполнить следующие действия:

1. Выделить сборку.



2. Нажать иконку Explode (Разнести) на панели инструментов Моve (Движение). Появится диалоговое окно Explode.

Параметр Depth (Глубина) позволяет Вам выбирать между полным (All levels) и частичным (First level) разнесенным видом.

3. Выберите All levels.

4. Выберите 3 D для определения типа разнесения.

5. Нажмите Apply для завершения операции. Поле Scroll Explode отображает процесс выполнения операции.

Данный анализ позволяет просмотреть всех компоненты сборки отдельно.

## Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1. Цель лабораторной работы.
- 2. Постановку задачи.
- 3. Исходные данные.
- 4. 3D-модель сборки.
- 5. Анализ сборки.
- 6. Выводы по проделанной работе.

# Лабораторная работа «Анализ геометрических параметров 3D-моделей»

# Цель работы

Цель практической работы состоит в том, чтобы на примере выполнения измерений на трехмерной модели изделия в CAD/CAM/CAE системе CATIA:

- познакомиться с возможностями современных CAD-систем по анализу геометрии 3D-моделей изделия;
- освоить методы выполнения измерений в виртуальном 3D-пространстве системы;
- изучить механизм создания геометрии в результате проведенных измерений;
- получить дополнительные навыки работы CAD/CAM/CAE системе CATIA.

Практическая работа проводится с использованием CAD/CAM/CAEсистемы CATIA.

# Реализация инструментов измерения в САТІА

Дополнительный функционал CAD-систем в виде встроенного механизма измерения трехмерных моделей изделия позволяет получать размерное описание:

- геометрических элементов 3D-модели изделия, для которых размеры не указаны в явном виде;
- 3D-моделей, импортированных из других CAD-систем;
- отдельных геометрических элементов и всей модели в целом в случае скрытой истории построения (дерева построения).
   В САТІА существуют три типа измерения:
- Инструмент *Measure Between* (измерение расстояний между элементами модели).
- Инструмент *Measure Item* (измерение отдельных элементов модели).
- Инструмент *Measure Inertia* (измерение инерционно-массовых характеристик).

Для первого типа (*Measure Between*) в САТІА используются три режима простановки размеров: стандартный (каждый размер создается независимо (рис. 1, А)), «от общей базы» (измерение выполняется между первым выбранным элементом и каждым следующим (рис. 1, В)), «цепочкой» (второй выбранный для измерения элемент автоматически становится первым элементом для следующего измерения (рис. 1, С)).



Рис. 1. Инструмент Measure Between

Второй тип измерений используется для измерения отдельных геометрических элементов. С помощью этой функции можно рассчитать такие величины как площадь, периметр, радиус и др.

В результате третьего типа измерений можно получить значения объема, массы, координаты центра масс и другие характеристики элементов. При этом анализируются 2D и 3D поверхности.

Следует отметить, что все инструменты измерения имеют возможность создавать новую геометрию. Для иллюстрации измерений могут генерироваться точки, линии и координатные системы. По умолчанию, полученная в результате измерений геометрия ассоциативна. Если произойдут изменения в исходных измеряемых элементах, то соответственно связанная с измерениями геометрия перестроится. Однако можно изменить умолчания и геометрия, полученная таким образом, будет не ассоциативной, тогда после редактирования исходной модели она останется неизменной.

#### Постановка задачи

Выполнение практической работы осуществляется в модуле Part Design системы CATIA V5.

Для решения поставленной задачи необходимо использовать утилиты:

- Measure Between.
- Measure Item.
- Measure Inertia.

- Creation of Geometry.
- Part Infrastructure (Automatic Update).
- Parameter and Measure (Measure Tools).

Необходимо выполнить ряд действий по измерению 3D-моделей в CATIA V5:

- Выполнить настройку компонентов измерения (Components).
- Провести указанные в задании к лабораторной работе измерения и зафиксировать их в дереве проекта в САТІА V5.
- На основании проведенных расчетов провести построение дополнительной геометрии.

## Руководство по проведению лабораторной работы

Данная лабораторная работа проводится с использованием CAD/CAM/CAE системы CATIA. Поэтому для выполнения лабораторного практикума необходима предварительная установка данного программного обеспечения. Реализация работы осуществляется на базе компьютерного класса кафедры ТПС.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы:

- чертежи деталей и таблицы исходных данных (Приложение 3);
- 3D-модели деталей.

Файлы с моделями деталей находятся в папке "Варианты заданий", номер папки соответствует номеру варианта.

Рассмотрим выполнение данного лабораторного практикума на примере измерения Угольника 000.000.011 (рис. 2).



Рис. 2. Угольник 000.000.011

В задании требуется:

1. Измерить расстояние между элементами – построить размеры:

- **а** и **b** от общей базы;
- с, d и е в виде цепочки размеров.
  - 2. Измерить элементы получить значение:
- площади плоскости **f**;
- площади поверхности **g**.
  - 3. Получить следующие характеристики детали:
- координаты центра масс цилиндра Ø4;
- координаты центра масс детали;
- массу детали;
- площадь поверхности детали.

4. Построить пользовательскую систему координат в центре масс цилиндра Ø4.

Перед началом работы необходимо открыть в CATIA V5 3D-модель детали (модуль *Part Design*).

#### Выбор элементов измерения, менеджер измерений

Для проведения измерений в CATIA V5 необходимо запустить менеджер измерений соответствующего типа. Для этого необходимо воспользоваться панелью инструментов *Measure* (рис. 1).

После чего требуется указать измеряемые объекты. В процессе выбора значок курсора показывает тип выделенного элемента. Распознаются следующие типы элементов (рис. 3):

- цилиндрическая поверхность;
- плоскость или плоская поверхность;
- центр окружности;
- линия;
- точка.

Это позволяет быть уверенным в том, что выбирается требуемый для измерения элемент.

Еще одним способом убедиться в правильности выбора элемента является конкретное указание типа выбираемого элемента. Это обеспечивается с помощью выпадающего меню (*Selection mode*) в окне режима менеджера измерений (рис. 4).

Менеджер измерений позволяет изменять тип и режим измерения, накладывать ограничения на вид выбираемых элементов (меню Selection mode или панель настроек Customize) и результат измерений (панель настроек Customize), создавать дополнительную геометрию (панель Create Geometry). Настройка Keep Measure регулирует процесс сохранения измерений в дереве проекта.



Рис. 3. Интерактивное изменение вида курсора в зависимости от типа объекта

#### Измерение расстояний между элементами

Как указывалось выше, существуют три режима данного типа измерений. Для выполнения первого пункта задания необходимо воспользоваться опциями «построение размеров от общей базы» (например,  $\mathbf{a} \ \mathbf{u} \ \mathbf{b}$ ) и «цепочкой» (например,  $\mathbf{c}$ ,  $\mathbf{d} \ \mathbf{u} \ \mathbf{e}$ ), рис. 4. Для того чтобы все размеры находились в одной плоскости, необходимо указывать в качестве элементов измерения ребра детали (расположенные в одной плоскости), а не целые поверхности.

Сложность вызовет построение размера е. Это связано с тем, то один из элементов измерения представляет собой цилиндрическую поверхность. Для построения размера в этом случае необходимо предварительно создать вспомогательную плоскость, параллельную основанию угольника и касающуюся цилиндрической поверхности (R6,5). Данную плоскость необходимо указать как последний элемент для измерения.

Measure Between	
Definition	
Cther axis : No selection Calculation mode: Exact else approximate ▼  Results Calculation mode: Exact Selection 1: Arc on Pocket. 1Part 1 Selection 2: Line on Pad.1Part 1 Minimum distance: 10mm Angle: Components: K -10mm Y 0mm Z 0mm  Keep measure Create geometry  Customize  Cancel  Cancel	Measure Between Customizati X Minimum distance/Curve length Angle Maximum distance Maximum distance from 1 to 2 Components Point 1
	Point 2

Рис. 4. Менеджер измерений и состав параметров меню Customize для режима Measure Between

По умолчанию, в отчете результатов измерений, публикуется кратчайшее расстояние между двумя элементами. Есть механизм регулирования результатов измерения. Например, для получения компонентов расстояния (то есть, расстояний в направлениях X, Y и Z) относительно координатной системы необходимо нажать *Customize* и выбрать опцию *Components* (компоненты расстояния). Компоненты расстояния отображаются в окне *Results* (результаты).

## Измерение объекта

Функция Измерение объекта (Measure Item) позволяет измерять отдельные геометрические элементы. Для измерения объекта необходимо выполнить последовательность шагов.

- Нажать иконку *Measure Item* (Измерение объекта).
- Выбрать геометрический элемент, который необходимо измерить.
- Характеристики выбранного геометрического элемента отображаются на модели и
- в окне результатов.
- Для сохранения измерения необходимо выбрать опцию *Keep Measure*.

- Для завершения измерения нажать ОК.
- Если была выбрана опция *Keep Measure*, измерение остается в модели и добавляется в дерево спецификации.

Таким образом, для построения размеров f и g достаточно указать соответствующие элементы на 3D-модели.

Меню *Customize* позволяет скорректировать выбор элементов. Для данного типа измерений *Customize* включает следующие разделы: точки, ребра, элементы окружности, поверхности, 3D-свойства. Назначая те или иные атрибуты в меню можно создать условия измерения.

#### Инерционно-массовые характеристики

Для вычисления инерционно-массовых характеристик 3D-объектов с помощью функции *Measure Inertia* (измерение инерции) необходимо выполнить следующее:

- Нажать иконку Measure Inertia.
- Выбрать *PartBody* в дереве спецификации.
- Посмотреть результаты в менеджере измерений.

На модели при этом будет отображаться центр масс изделия.

Для редактирования состава результатов необходимо воспользоваться *Customize*. Для данного типа измерений *Customize* отображает все виды результатов, которые возможно получить при измерении (площадь, массу, координаты центра масс, момент инерции и другие характеристики).

*Measure Inertia* включает два режима работы: измерения в 2D и в 3D. Состав характеристик измерения при этом различается (рис. 5).

#### Построение дополнительной геометрии

Для построения любых дополнительных геометрических элементов с помощью инструмента *Measure* необходимо воспользоваться инструментом *Creation Geometry*. Данным инструментом можно воспользоваться, указав соответствующую кнопку в менеджере *Measur* (рис. 4). В зависимости от типа измерения системой для построения будет предложен различный состав дополнительных элементов. Например, при указании отрезка такими элементами будут точки на концах и в середине отрезка, а при выборе цилиндрического отверстия это могут быть как точка в центре масс цилиндра (*Measure Item*), так и дополнительная система координат в центре масс цилиндра (*Measure Inertia*).

То есть в соответствии с заданием для получения значений координат центра масс необходимо произвести построение этого элемента (*Creation Geometry*), а потом в его характеристиках уточнить конкретное значение координат по осям.



Рис. 5. Состав параметров меню Customize для режима Measure Inertia (а – для двухмерных элементов измерения, b – для трехмерных)

## Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1. Цель лабораторной работы.
- 2. Постановку задачи.
- 3. Исходные данные.
- 4. Параметры дерева построения Measur.
- 5. 3D-модели CATIA V5 с результатом работы.
- 6. Выводы по проделанной работе.

Замечание: для проведения некоторых измерений требуется выполнить дополнительные построения.

# Лабораторная работа «Статический расчёт круглой пластины с применением метода конечных элементов»

# Цель работы

Цель данной практической работы состоит в том, чтобы на примере статического расчета круглой пластины ознакомиться:

- с конечными элементами поверхностей;
- с методикой моделирования поведения конструкции с применением элементов поверхностей;
- со способами представления результатов моделирования.

В результате выполнения лабораторной работы студенты должны приобрести навыки по компьютерному моделированию в инструментальной среде Nastran/Patran, которые они смогут применить на практике.

# Элементы поверхностей

Элементы поверхностей имеют два измерения и используются для представления конструкций, имеющих малую толщину по сравнению с другими размерами (см. рис. 6, на котором указаны соотношения между размерами). Элементы поверхностей моделируют плоские пластины или оболочки (shell), которые имеют существенную кривизну (подобно цилиндру) или двойную (подобно сфере). Для узлов, соединяющих пластины, жесткости будут существовать для пяти из шести возможных степеней свободы. Вращательная степень свободы относительно нормали к пластине «не связана». Эта степень должна быть закреплена, чтобы предотвратить сингулярность матрицы жесткости.

Для линейных задач в MSC.Nastran для элементов поверхностей приняты следующие допущения:

- тонкая пластина имеет толщину во много раз меньшую, чем другие размеры пластины;
- прогиб пластины в середине мал по сравнению с ее толщиной;
- срединный (нейтральный) слой остается ненапряженным при изгибе, это относится к горизонтальным нагрузкам, но не к нагрузкам вне срединной плоскости;
- нормаль к срединному слою остается нормальной при изгибе пластины.



Рис. 6. Три модели, применяемые для описания свойств мембраны

Quadrilateral Plate Element (CQUAD4) – четырехузловой пластинчатый элемент (рис. 7).

Этот элемент наиболее общий элемент для моделирования пластин, оболочек и мембран. CQUAD4 позволяет моделировать плоское напряженное состояние, изгиб, поперечный сдвиг в зависимости от данных, задаваемых в свойствах пластины (PSHELL-свойства). Этот элемент соединяется с другими элементами в четырех узлах. Номера узлов от G1 до G4 расположены последовательно по периметру элемента. Параметры **MCID** и **THETA** (ориентация свойств материала элемента) не задаются для гомогенных и изотропных материалов. Параметров **ZOFFS** (смещение от поверхности узлов до поверхности расположения системы координат) используется, когда элемент имеет смещение. От **T1** до **T4** – толщины элемента в угловых точках, если их не задавать, то толщина элемента T постоянна. Все внутренние углы элемента должны быть меньше 180°. Силы и напряжения определяются в координатной системе элемента. Координатная система располагается следующим образом:

- ось х элемента проходит посередине угла 2α, положительное направление от G1 к G2;
- ось у элемента перпендикулярна к оси х и располагается в плоскости G1, G2, G3, G4, положительное направление от G1 к G4;
- ось z элемента нормальна к x у плоскости элемента. Положительное направление z определяется по правилу правой руки, располагая ее в порядке следования от G1 к G4.



Рис. 7. СQUAD4-элемент и координатная система элемента

#### Силы и моменты в СQUAD4

В элементе возникает следующий набор силовых факторов (рис. 8): *Fx*, *Fy* –мембранные силы, приходящиеся на единицу длины; *Fxy* – мембранная сила сдвига на единицу длины; *Mx*, *My* – изгибающие моменты на единицу длины; *Mxy* – крутящий момент на единицу длины; *Vx*, *Vy* – поперечные силы на единицу длины. Силы и моменты рассчитываются относительно цента масс элемента. Напряжения определяются на расстоянии z1 и z2 то плоскости расположения системы координат (z1 и z2 задаются в свойствах элемента и указываются как поверхности, отстоящие от средней плоскости, т.е. z1 и

 $z_2 = \pm \frac{$ толщина пластины ).

#### **Triangular Plate Element (CTRIA3)**

Этот элемент соединят три узловые точки. Элемент используется для согласования сеток элементов и заполнения нерегулярных границ. Применение этого элемента должно быть ограничено. Во многих аспектах этот элемент аналогичен **CQUAD4**.



Рис. 8 Силовые факторы в элементе СQUAD4

### Руководство к выполнению лабораторной работы

Поскольку данная лабораторная работа выполняется в среде Nastran/Patran, то в первую очередь необходимо ознакомиться с последовательностью решения инженерных задач с применением данных программных продуктов.

Как уже было сказано выше, система MSC Patran используется как пре/постпроцессор, необходимый для формирования исходных данных поставленной задачи и обработки и представления результатов решения. В качестве решателя в данной работе используется система MCS Nastran, которая запускается непосредственно из интерфейса MSC Patran.

Для того, чтобы решить инженерную задачу, используя систему MSC.Patran, необходимо выполнить три базовые стадии. Каждая из стадий выполняется в соответствующих частях системы MSC.Patran.

**Первая стадия** типичная и наиболее трудоёмкая по времени. Это создание геометрической модели объекта, которая должна включать в себя: описание по форме и размерам, указание материалов из которых будет изготовлен реальный объект. Кроме этого необходимо задать внешние силы, действующие на объект. MSC.Patran имеет инструментарий, который помогает пользователю создать модель объекта с его внешними условиями. Используя этот инструментарий можно быстро создать двухмерную модель объекта.

С помощью CAD-интерфейса можно импортировать и затем редактировать геометрические модели объектов, созданных с помощью других программных продуктов. После создания геометрической модели, с помощью мощных средств, имеющихся в системе MSC.Patran создаётся конечно-элементная модель объекта. К этим средствам относятся генераторы конечно-элементных сеток, которые автоматически могут наноситься на кривые, поверхности и твёрдые тела, используя различные способы (**Mapped And Paved Meshing**). Допускается редактирование сетки конечных элементов в интерактивном режиме. MSC.Patran имеет возможность задавать свойства материалов, из которых изготавливается объект. Эти свойства определяют тип материала, жёсткость, плотность объекта моделирования. При конечно-элементном анализе оценивается индивидуальные реакции модели на нагрузки и граничные условия. Нагрузки рассматриваются в широком смысле и могут представляться в форме сил, моментов сил, давлений, температуры.

Граничные условия описываются в терминах степеней свободы, которые определяют направление вдоль трёхмерных осей координат, по которым модель может или не может иметь перемещений, как в линейном, так и угловом направлениях.

<u>Вторая стадия</u> заключается в анализе реакции конечной элементной модели с заданными граничными условиями на приложенные нагрузки.

Имеется ряд опций для запуска анализа конечно-элементной модели с помощью MSC.Patran. Можно использовать один из объектных кодов MSC: объектные коды других внешних программных продуктов или собственный код, созданный системой MSC.Patran.

Далее необходимо определить тип конечного элемента (например, балка, стержень, пластина) и относящиеся к этому элементу свойства для различных областей вашей модели, например, если она выполнена из различных материалов, и назначить эти свойства конечным элементам модели. Тип элемента выбирается исходя из используемого объектного кода (он связан с используемым программным продуктом для проведения вычислений), конфигурации модели, предполагаемого поведения моделируемого объекта (линейная или нелинейная). Дополнительные свойства описывают такие параметры как толщина пластины, коэффициент жёсткости пружины, площадь сечения балки и т.п.

Анализ поведения объекта связан с проведением вычислительных операций по заданному алгоритму, который предоставлен той вычислительной системой, которая используется в данной задаче (это могут быть NASTRAN, MARC, DYTRAN и т.п.).

При выполнении этой стадии производятся следующие действия:

- определяется требуемый алгоритм для решения задачи (тип инженерной задачи, например, статический расчёт);
- определяются и транслируются параметры, заданные для выполнения задачи;
- выбирается соответствующая схема или набор нагрузок (Load Cases);
- выбираются переменные, требуемые для вывода после решения
- задачи;
- посылаются данные задачи для численного анализа в программу вычислительную систему, используемую в данный момент решения задачи;
- считываются количественные результаты из файлов результатов, созданных программой-вычислителем.

<u>Третья стадия</u> заключается в трансляции (компиляции) результатов анализа и представление их в форме удобной для визуального анализа. Обычно численное решение задачи даёт большое количество цифровых данных, которые трудно анализировать, если выводить их в цифровой форме на бумагу. Поэтому на этой стадии используются возможности системы MSC.Patran для представления в визуальной форме данных, используя компьютерную графику, анимацию и другие предназначенные для этого инструменты.

Данные, полученные в результате решения задачи, могут быть рассортированы в зависимости от времени (временного шага), частоты, температуры или пространственного расположения по объёму анализа. Все эти данные могут быть представлены в графической форме. Указанная последовательность выполнения инженерного анализа какого-либо проекта является типовой, но в процессе выполнения других проектов возможны изменения указанной последовательности из-за конкретных требований или заданий.

В качестве примера на рис. 9 приведена схема использования MSC.Patran совместно с вычислительной программой MSC.Nastran.



Рис. 9. Блочная схема решения задачи с помощью системы MSC.Patran-Nastran

#### Статический расчёт круглой пластины

На этом примере подробно рассмотрим последовательность операций, которые нужно выполнить в среде MSC.Patran, чтобы подготовить модель для расчёта с помощью MSC.Nastran и затем вернуть результаты расчёта в среду MSC.Patran, чтобы их проанализировать.

#### <u>Описание задачи</u>

Круглая пластина имеет центральное концентрическое отверстие (рис. 10). Пластина поддерживается по внешнему контуру и нагружена по окружности радиуса *r* распределённой силой. В результате решения задачи необходимо определить максимальные напряжения и прогиб.



Рис. 10. Сечение заданной круглой пластины

Геометрические размеры: a = 500 мм = 0,5 м b = 130 мм = 0,13 м r = 250 мм = 0,25 м t = 3 мм = 0,003 мМодуль упругости  $E = 0,689 \times 10^5 \text{ МПа} = 0,689 \times 10^{11} \text{ Па}.$ Коэффициент Пуассона v = 0,3.

Распределённая нагрузка q = 0,2 H/мм = 200 H/м.

Поскольку данная задача является первой учебной задачей, то здесь приведено аналитическое решение, которое существует для такой простой модели.

Максимальные напряжения возникают на внешнем ребре и выражаются формулой:

$$\sigma = -\frac{3rq}{mt^2} \left[ \frac{2a(m+1)}{a^2 - b^2} \log\left(\frac{a}{b}\right) + (m-1) \right],$$

где максимальный прогиб:

$$y_{\max} = \frac{3rq(m^2 - 1)}{2Em^2t^2} \left[ \frac{(a^2 - b^2)(3m + 1)}{(m + 1)} + \frac{4a^2b^2(m + 1)}{(m - 1)(a^2 - b^2)} \left( \log \frac{a}{b} \right)^2 \right].$$

Подставив в формулы исходные данные и выразив их значения в системе СИ, получим:

σ = -66,04 × 10<sup>6</sup> Πa = -66,04 MΠa. *y*max = 0,023 м =23 мм

После получения машинного решения необходимо сравнить результаты.

#### Концепция построения модели

Физически пластина является твёрдым телом и может моделироваться используя твёрдотельные конечные элементы, которые аппроксимируют решение трёхмерной теории упругости. Концептуально, можно создать модель, имеющую от сотни до тысячи элементов, чтобы приблизиться, таким образом, к точному решению. Если выполнить это решение и критически оценить результаты, то можно найти, что перемещения изменяются линейно при изменении толщины и что компоненты напряжений по толщине очень плохо сопоставляются с компоненты напряжений в плоскости пластины. С.Тимошенко и другие учёные уже сделали эти исследования и можно применить некоторые допущения, чтобы свести трёхмерную задачу теории упругости к двумерной и рассматривать эту пластину как мембрану, модель, используемую для вычисления напряжённого состояния в плоскости пластины. Двумерная аппроксимация напряжённого состояния материала, приводит к теории пластин, которая используется для оценки изгиба пластин.

В данном примере будет использована аппроксимация пластины в виде мембраны, это позволит сократить затрачиваемые ресурсы вычислительной машины и быстро получить решение. Если эти два обстоятельства несущественны, то можно осуществить построение трёхмерной модели.

В заключение следует отметить, что в условиях ограниченных ресурсов необходимо проводить инженерный анализ конструкции, перед тем как создавать её модель, что позволит сократить размерность модели, уменьшить время решения и в некоторых случаях получить большую точность.

При инженерном анализе конструкции принимается решение о способах моделирования элементов, составляющих конструкцию, т.е. можно ли эти элементы рассматривать как балки, пластины, мембраны или же необходимо трёхмерное моделирование в виде твёрдотельных элементов.

#### <u>Разработка проекта задания</u>

Рекомендуется перед решением задачи составить проект задания, который состоит из двух колонок. В левой части указываются задания, которые являются основными для проекта, а в правой части указывается средства для подготовки решения задачи.

Для того чтобы решить поставленную задачу необходимо выполнить эти одиннадцать пунктов. Общую схему подготовки и решения задачи изобразим в виде используемых модулей (рис. 11), которые имеют такие же названия, как и панели инструментов основной панели MSC.Patran.



*Рис. 11. Схема подготовки модели, решение задачи, представления результатов решения* 

Первый пункт, касающийся задачи был уже выполнен.

Второй пункт касается создания модели объекта, но поскольку модель будет создаваться в системе MSC.Patran, то для хранения элементов модели необходимо создать базу данных и присвоить ей имя.

#### <u>Создание новой базы данных</u>

В главном меню выбрать **File > New**.

Появляется панель New > Database.

Ввести в текстовое поле File Name имя базы данных: **annular\_plate** и нажать **Ok**.

Появится New Model Prference – панель для указания общих параметров модели. В этой панели можно задать точность создания модели (Tolerance) или оставить значения по умолчанию (Default).

Необходимо убедиться, что к системе MSC.Patran подключена вычисляющая программа MSC.Nastran, которая указана в разделе Analysis Code. Если имеется лицензия можно подключить другие программы.

Выбрать в разделе Analysis Type > Structural и нажать Ok.

База данных будет создана, но она будет пустая.
#### Разработка геометрического образа модели

При рассмотрении концепции модели было принято решение создавать модель с размерностью **2D**, для этого будем использовать соответствующие геометрические примитивы это кривая (**Curve**) и поверхность (**Surface**). Поверхность создадим путём поворота кривой на заданный угол (360°). Образующие линии будут задаваться по значениям координат точек начала и конца кривой. Для того чтобы это осуществить необходимо сделать следующее:

1. В главном меню выбрать кнопку **Geometry**.

2. В появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Curve и Method > XYZ.

3. Ввести в окно ввода Vector Coordinate List координаты точки 3 <0.120, 0, 0> и в окно Origin Coordinate List – начальную точку системы координат, координаты точки 1 <0.130, 0, 0>\* и нажать Apply. Создаётся линия длиной 0,12 м в направлении оси x.

4. Изменим Vector Coordinate List на <0.250, 0, 0>, чтобы построить координаты точки 2 в системе координат, которая имеет точку начала координат Origin Coordinate List в точке 3 <0.25, 0, 0> и щёлкнуть Apply. Будет создана кривая №2 с радиусом внешней окружности пластины.

Создание поверхности круглой пластины

1. На панели Geometry изменить Object > Surface и Method > Revolve (поворот).

2. Установить в окне Axis (ось координат, вокруг которой выполняется Revolve) название оси z > 0.3, что означает номер системы координат 0 (основная) и номер оси 3, т.е. ось z.

3. В окно Sweep Parameters (пределы параметров) ввести Total Angle (общий угол поворота) > 90° и Offset Angle (угол смещения «угол пробела») > 0.0. Выделить изображения линий на экране, указав линию 1 (curve 1). Нажать кнопку Apply.

4. Чтобы создать поверхность 2 необходимо в окне панели Curve List указать линию 2 (curve 2) и нажать Apply.

5. Необходимо создать другие поверхности, не выходя из этой панели, указав соответствующие линии, созданные другими поверхностями. Можно было бы создать поверхность за один поворот линий 1 и 2 на 360°, но тогда не были бы получены диаметральные линии, которые нужны, чтобы сделать регулярную сетку конечных элементов.

#### Создание поверхности с сеткой конечных элементов для Quad4

1. В главном меню указать кнопку Elements.

2. В верхней части появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Mesh, Type > Surface.

3. Настроить или проверить установку кнопок Element Shape

(форма элемента) > Quad, Mesher (тип генератора сетки)> IsoMesh, Topology > Quad4 (четырёхузловой элемент). 4. Предварительно щёлкнув в окне **Surface List** (список поверхностей) указать мышью на экране последовательно поверхности 1–8. В окне должна появиться надпись **Surface 1:8**.

5. Ввести в окне Value (величина) цифру 0.050 в разделе Global Edge Length (глобальная длина ребра элемента). Снять маркер параметра Automatic Calculation (автоматическое вычисление) и нажать Apply.

<u>\* В системе MSC.Patran все геометрические размеры задаются в метрах</u>

6. Поскольку конечные элементы не соединены вдоль геометрических границ, то необходимо «сшить» их вместе. Для этого на верхней части панели Finite Element выбрать Action > Equivalence, Object > All, Method > Tolerance Cube (область допусков представляется кубом с ребром 0,005 м). В пределах этой области все узлы будут объединяться в один. Нажать кнопку Apply. в строке сообщений внизу экрана будет указано сколько узлов было объединено (для данной задачи – 84 узла).

#### Моделирование материала модели

1. В главном меню, нажать кнопку Materials. В появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Isotropic, Method > Manual Input (ручной ввод параметров материала).

2. В окне Material необходимо набрать Aluminum.

3. Нажать кнопку Input Properties (ввод свойств).

4. Появится панель Input Options и в этой панели в строку Elastic Modulus ввести значение модуля упругости в H/м2 – 0,689·1011; в строку Poisson Ratio (коэффициент Пуассона) – 0,3. Остальные строки можно не заполнять, так как они заполняются при решении динамических задач.

5. Нажать **Ok**, чтобы закрыть панель и **Apply** на панели **Materials**. При этом свойства материала только выбраны, но не назначены на конечные элементы.

### <u>Назначение (придание) элементам выбранных свойств материа-</u> <u>ла и геометрии</u>

1. В главном меню нажать кнопку **Properties** (свойства).

2. В появившейся панели Element Properties выбрать Action > Create, Object > 2D (двумерный), Type>Shell (группа элементов – оболочка).

3. В окно **Properties Set Name** (имя варианта свойств) ввести имя **prop 1** или какое-либо другое.

4. Нажать на кнопку **Input Properties**.

5. На появившейся панели Input Properties, щёлкнуть мышкой в окне Material Name и выбрать Aluminum в списке Material Properties Set.

6. Ввести в окно **Thickness** (толщина) панели **Input Properties** величину 0,03 и нажать **Ok**.

7. На панели Element Properties поместить курсор в окно Select **Members** (Выбрать элементы) и затем курсором выбрать все поверхности на экране (или набрать Surface 1:8).

8. Нажать кнопку Add (придать свойства), в окне Application Region должна повториться запись Surface 1:8. После этого необходимо нажать кнопку Apply. При этом заданные свойства будут назначены указанным конечным элементам.

### <u>Моделирование нагрузок и граничных условий (LBC)</u>

Задание распределённых нагрузок.

1. В главном меню нажать кнопку Loads/BCs.

2. В появившейся панели Loads/Boundary Conditions выбрать Action>Create, Object>Distributed Load (распределённая нагрузка), Type>Element Uniform (равномерная по элементу).

3. В окно New Set Name ввести имя annular\_load.

4. Нажать кнопку Input Data (ввести данные).

5. В появившейся панели Input Data в окно Edge Distributed Load (нагрузка, распределённая по ребру) ввести <,, -200>, что означает – нагрузка задана против положительного направления оси z. Пробелы по направлениям осей x и y означают отсутствие нагрузок. Окно Edge Distributed Moment необходимо оставить пустым, т.е. нагрузка от моментов отсутствует. Нажать Ok.

6. В панели Loads/BC нажать кнопку Select Application Region (выбрать область приложения нагрузок), в появившейся панели с этим же названием под разделом Geometry Filter (геометрический фильтр) указать Geometry. Это означает, что нагрузки будут задаваться на геометрическом образе модели, а не на конечно-элементном.

Задавать нагрузки и граничные условия удобнее на геометрическом образе, т.к. конечных элементов на одном геометрическом элементе может быть очень много и задавать нагрузку на каждый элемент трудоёмко. MSC.Patran перед расчётом автоматически перенесёт все нагрузки и граничные условия на соответствующие конечные элементы.

7. В этой же панели поместить курсор в окно Select Surface Edge (выбрать ребро поверхности). Используя указатель мыши, выбрать четыре ребра средних поверхностей, затем нажать Add. Номера выбранных рёбер поверхностей должны появиться в окне Application Region. Нажать Ok.

8. Нажать кнопку **Apply** на панели **Loads/BC**. На экране должны появиться символы, обозначающие нагрузку (стрелки) и её величину (цифры возле стрелок).

#### Создание граничных условий

В качестве граничного условия в задаче будет выступать **Displacement** (ограничение перемещений).

1. В главном меню нажать кнопку Loads/BCs.

2. В появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Displacement, Type > Nodal (узлы).

3. В окно New Select Name ввести имя граничных условий pinned.

4. Нажать Input Data (ввести данные).

5. В появившейся панели в окно **Translations** (перемещения) ввести <0, 0, 0>, что означает запрет перемещений по осям x, y, z. Окно **Rotations** необходимо оставить пустым. Нажать **Ok**.

6. Нажать кнопку Selection Application Region в панели Loads/BCs, после этого появится панель с таким же именем, в которой необходимо указать Geometry в разделе Geometry Filter.

7. Поскольку в геометрической модели присутствую различные геометрические сущности (Entities): рёбра, поверхности, вершины, то необходимо точно указать какие сущности будут ограничены по перемещениям. Для этого в Select Menu (меню выбора) нажать кнопку Edge Option.

Это означает, что на экране курсором мыши будут выделяться только **Edges** (рёбра) геометрической модели.

8. Поместить в окно Select Geometric Entities курсор, и используя указатель мыши выбрать на экране четыре ребра на внешних поверхностях пластины. При выборе необходимо удерживать нажатой клавишу Shift, чтобы происходило суммирование выбора. Затем нажать Add и в окне Application Region должны появиться номера выбранных рёбер. Нажать Ok.

9. На панели Loads/BCs нажать Apply. С помощью кнопок просмотра изображений можно подобрать вид изображения для просмотра нагрузок и граничных условий. Граничные условия изображаются условными символами, около которых указываются номера ограниченных степеней свободы: 1, 2, 3, это означает, что ограничены перемещения по осям x, y, z. Вращательные степени 4, 5, 6 не указаны – значит, ограничений нет.

### Создание входного файла для MSC.Nastran

Для каждой расчётной программы, которые могут быть использованы вместе с MSC.Patran (их тип задаётся в **Preference**), создаются свои входные файлы. В данном случае рассмотрим создание файла для программы MSC.Nastran.

1. В главном меню нажать кнопку Analysis.

2. На появившейся панели выбрать Action > Analyze, Object > Entire Model, Method > Analysis Deck (метод брать с рабочего стола или панели управления).

3. Нажать кнопку Solution Type (тип задачи).

4. В появившейся панели выбрать Linear Static (линейный статический расчёт), нажать **Ok**.

5. Нажать на кнопку Translation Parameters. В появившейся панели в разделе Data Output (вывод данных) нажать кнопку XDB and Print и в появившемся меню выбрать XDB Only (для сокращения размеров файла результата). Нажать Ok.

6. Нажать кнопку **Apply**, чтобы запустить MSC.Nastran. На экране появляется окно MSC.Nastran с указанием размеров оперативной и дисковой памяти, занятой под задачу, а также сообщение, что MSC.Nastran запущен, время и число. Через некоторое время, после окончания расчёта, окно пропадает. В строке сообщений можно прочитать сообщение о том, что трансляция входного файла была завершена успешно.

### <u>Передача в среду MSC.Patran результатов решения задачи для</u> обработки постпроцессором

1. В главном меню нажать кнопку Analysis.

2. На появившейся панели выбрать Action > Attach XDB, Object > Result Entities, Method > Local.

3. Нажать на кнопку Select Results File.

4. В появившейся панели найти и выделить annular\_plate.xdb и нажать Ok.

5. Нажать Apply на панели Analysis.

#### Обработка результата постпроцессором

Создание Fringe-изображения и деформированного изображения (Deformation Plot)

1. В главном меню нажать кнопку **Results**.

2. На появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Quick Plot (быстрое изображение).

3. В окне Select Result Cases панели Results выбрать Default, Static SubCase, в окне Select Fringe Result выбрать Displacement, Translational.

4. В окне Select Deformation Result панели Results выбрать Displacement, Translational.

5. Нажать кнопку **Apply**.

На экране появится изображение панели с цветной шкалой уровней с указанием максимальных и минимальных величин перемещений (прогибов). В результате решения задачи было получено максимальное перемещение равное 20,3 мм.

6. Для того чтобы не мешало графическое изображение геометрической модели, необходимо убрать с экрана графику, нажав кнопку с изображением метлы (**Reset Graphics**), после этого нажать **Apply** на панели **Results**.

7. Можно просмотреть форму деформации, воспроизведя «оживление» модели. Для этого нужно в окне **Animate** поставить скобку и нажать **Apply**. Появляется окно, в котором указаны параметры анимации (скорость анимации).

Передвигая движок можно регулировать скорость анимации.

### Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- постановку задачи;
- исходные данные (см. Приложение 4);
- аналитическое решение задач;
- сравнение результатов полученных аналитическим методом и с применением МКЕ;
- выводы по работе.

Задание выполняет группа студентов из 2 человек. Отчёт по проделанной работе предоставляется индивидуально каждым учащимся.

### Лабораторная работа «Статический расчёт твердотельной детали с применением метода конечных элементов»

### Цель работы

Цель данной практической работы состоит в том, чтобы на примере статического расчета круглой пластины ознакомиться:

- с конечными твердотельными элементами;
- с основами моделирования твердотельной геометрии в среде MSC.Patran;
- с методикой моделирования поведения конструкции с применением твердотельных элементов;
- со способами представления результатов моделирования.

В результате выполнения лабораторной работы студенты должны приобрести навыки по компьютерному моделированию в инструментальной среде Nastran/Patran, которые они смогут применить на практике.

### Твердотельные элементы

Твердотельные элементы являются трехмерными элементами и позволяют моделировать поведение толстых пластин и тел. Основные твердотельные элементы это шестисторонний СНЕХА, пятисторонний СРЕМТА и четырехсторонний СТЕТКА. Твердотельные элементы соединяются только по перемещениям, по вращательным степеням свободы эти элементы не соединяются.

СНЕХА – шестисторонний твердотельный элемент. Этот элемент рекомендуется применять для общего использования. Точность элемента

уменьшается, когда элемент имеет сдвиг и используется в случае, когда изгибные деформации преобладают. В большинстве других ситуациях использование этого элемента превосходит все другие 3D элементы. В СНЕХА соединяются восемь узловых точек или до двенадцати узловых точек, если включить средние точки на ребрах.

Напряжения элемента вычисляются в центре и также экстраполируются на угловые узлы.

Геометрия элемента показана на рис. 12. Узловые точки от G1 до G4, соединенные последовательно, образуют четырехугольную плоскость. Узлы от G9 до G20 являются необязательными. Любой из них может быть удален. Угловые узлы не могут быть удалены.

Компоненты напряжений  $\sigma x$ ,  $\sigma y$ ,  $\sigma z$ ,  $\sigma xy$ ,  $\sigma yz$ ,  $\sigma zx$  выводятся в координатной системе, заданной для материала. Эта система определяется PSOLID-свойствами.



Рис. 12. Расположение узлов в СНЕХА элементе

Система координат для СНЕХА показана на рис. 13. Оси координат этой системы обозначены как R, S, T, которые проходят через центры противоположных поверхностей. Начало координатной системы располагается на пересечении осей координат.



Рис. 13 Расположение системы координат для СНЕХА элемента

СРЕМТА – пятисторонний твердотельный элемент. Этот элемент используется для моделирования переходных зон от твердого тела к пластинам или оболочкам. Если треугольные поверхности находятся не на противоположных сторонах элемента, то можно получить его завышенную жесткость.

В этом элементе используется то 6 до 15 узловых точек. Напряжения вычисляются для центра и экстраполируются на угловые точки.

СТЕТКА – четырехсторонний твердотельный элемент. Этот линейно-деформируемый элемент часто используется для заполнения круглых отверстий, которые появляются в моделях, выполненных из СНЕХА элементов.

В этом элементе соединяются четыре узла без средних узлов или до 10 узлов со средними узлами. Напряжения вычисляются в середине элемента и экстраполируются на угловые узлы. Геометрия показана на рис. 14.



Рис. 14. Четырехсторонний СТЕТКА элемент

Компоненты напряжений определяются и выводятся для анализа в системе координат материала элемента. Эта координатная система задается в свойствах элемента (PSOLID-строка в исполняемом файле). Координатная система состоит из трех векторов R, S, T, которые пересекаются в средних точках противоположных ребер (рис. 15). Начало координатной системы располагается в G1.



Рис. 15. Координатная система для CTETRA элемента

### Статический расчёт детали (LUG-проушина)

### Исходные данные

E = 2.105 H/мм2 - модуль упругости Юнга для стали;

v =0,3 – коэффициент Пуассона.

Нагрузка приложена к внутренним поверхностям отверстий на длине полуокружностей от точки *а* до точки *b* . нагрузка распределена по закону

$$P = 15 \cdot 10^3 \cdot (|x| - \pi r)^2$$
, (H/MM<sup>2</sup>).

Деталь жёстко закреплена на неподвижном основании по площади А.

Выполнить статический расчёт. Проанализировать напряжённодеформированное состояние, определив области, в которых напряжения превышают предел текучести  $\sigma_{\rm r}$ =200 Н/мм2. Сформулировать предложение о величине допустимой нагрузки, которую можно приложить к отверстию.



Рис. 16. Аксонометрическая проекция детали (проушина)

В данной задаче модель будет построена при помощи инструментов САD-моделирования MSC.Patran.

#### Создание новой базы данных

1. В главном меню выбрать File > New. Появляется панель New Database.

2. Ввести имя базы данных в окно Filename > Lug, Ok.

3. Появляется панель New Model Preference. Убедиться, что MSC.Patran работает с MSC.Nastran и нажать Ok.

#### Создание геометрической модели

Рекомендуется перед тем, как создавать модель продумать план выполнения операций, выполнение которых приведёт к результату. Поскольку модель имеет прямоугольную форму, то основной заключительной операцией, после того как создана поверхность, будет операция **Extrude** по оси *z*.



Рис. 17. Эскиз детали и размеры

Предлагается следующий план выполнения операций:

1. Построить в плоскости *YOX* контур детали, который отражает конфигурацию боковой поверхности детали с учётом выреза. Построение осуществляется обычными средствами, используемыми при построении геометрических фигур (построение точек, линий, дуг окружностей, окружностей).

2. После построения контура необходимо построить плоскости, причём необходимо иметь две раздельные плоскости (или несколько плоскостей), которые позволят построить вырез.

3. После построения вспомогательной плоскости детали в плоскости *YOX* системы координат осуществим операцию **Extrude** – передвинем плоскость (a', b', 1, 2, b, a) на расстояние 5 мм в направление осей z и -z. Таким образом построим часть детали, ограниченную сверху вырезом.

4. Операцией **Translate** перенесём плоскости, соответствующие боковой поверхности детали на 5 мм по оси z и -z, а затем с помощью

**Extrude** передвинем их на 5 мм по оси z и -z, чтобы построить проушины (правую и левую).

После таких операций твёрдотельная модель будет построена.

Далее рассмотрим подробно все операции по созданию геометрической модели. Модель будет создаваться в единицах измерения – миллиметрах.

При задании свойства материала необходимо представить соответствующие константы в мм.

1. Ввести точки *a*[40 0 0], *b*[40 150 0], *c*[40 160 0] Geometry

**Action:** Create

#### **Object:** Point

Method: XYZ

В поле ввода вводить координаты точек, отметку Auto Execute не снимать.

2. Построить точки a', b', c', для этого в панели Geometry заменить

Action > Transform, Object > Point, Method > Translate. Установить в поле ввода Translate Vector <-80 0 0>, что означает перемещение точек по оси X на расстояние -80. В поле ввода Point List указать точки на экране, которые соответствуют точкам a, b, c.

3. Построить контуры боковой поверхности детали путём соединения построенных точек. В панели **Geometry**, заменить **Action** > **Create**, **Object** > **Curve**, **Method** > **Point**; последовательно указывая на экране соединяемые точки, построить незамкнутую прямоугольную фигуру (последовательность точек a, b; b, c; a, a'; a', b'; b', c'.)

4. Построить дугу окружности радиусом 40 с центром в точке «О». В панели Geometry, выбрать Action > Create, Object > Curve, Method 2D Arc 2 Point. Указать в полях ввода центральную, начальную и конечную точки.

5. Построить окружность радиусом 15мм.

В панели Geometry, выбрать Action > Create, Object > Curve, Method > 2D Circle, в поле ввода Circle Radius задать радиус -15, указать центр дуги, предварительно поместив курсор в поле ввода Center Point List, и указав точку на экране.

6. Чтобы построить точки 1 и 2 на окружности, необходимо провести линию b' b известным способом, а затем найти точки пересечения окружности с этой линией. Для этого в панели Geometry выбрать Action > Create, Object > Point, Method > Intersect, в полях ввода Curve List указать пересекаемые окружность и прямую линию, Apply.

После получения точек пересечения ими необходимо разрезать прямую линию, чтобы затем удалить средний сегмент 1-2 линии. В панели Geometry, Action > Edit, Object > Curve, Method > Break (сломать). В поле ввода Curve List указать окружность, а в поле ввода Break Point List указать полученные пересечением окружности с линией b' b точки, сначала одну, а затем другую. При этом на запрос Delete Original Curves (удалять первоначальные линии?) ответить утвердительно.

7. Удалить сегмент 1–2 линии b' b. На панели Geometry выбрать Action > Delete, Object > Curve и в поле ввода Curve List указать удаляемый сегмент, Apply.

8. Поскольку в дальнейшем необходимо строить поверхности, состоящие из нескольких сегментов, то необходимо «разрезать» окружность точками 1 и 2. Выполняется это указанным выше способом, только в качестве кривой (**Curve**) указывается окружность. После выполнения этого действия окружность будет состоять из трёх сегментов.

9. Чтобы получить нетриммированные поверхности проведём две вертикальные линии, соединяющие точки 1 и 2 с точками, которые будут располагаться на линии a' a и которые нужно создать проецированием этих точек на прямую a' a. Для этого в панели Geometry необходимо выбрать Action > Create, Object > Point, Method > Project (проецировать). В поля ввода Point List и Curve List ввести соответствующие точки и кривую a' a, нажать Apply.

10. Получив точки на прямой a' a, её нужно «разрезать» на сегменты по этим точкам, для этого в панели Geometry, установить Action > Edit, Object > Curve, Method > Break и указать в поле ввода Curve List «разрезаемую» прямую, а в Break Point List точку «разрезания».

11. Соединим три поверхности по двум линиям. В панели Geometry установить Action > Create, Object > Surface, Method > Curve. В полях ввода Starting Curve List ввести линии b' 1 и указать сегмент, полученный на ребре a' a, нажать Apply. Повторить всё для сегмента 1–2 и для сегмента 2 b.

12. Получим плоскости для верхней части фигуры выше линии b' b.

Предварительно нужно спроецировать точки *c*' и *c* на окружность. Проекция точки *c*' уже имеется, а проецирование точки *c* осуществляется уже известным способом. После проецирования точки *c* и получения её проекции на дуге, её необходимо разрезать этой точкой на сегменты.

После этого необходимо создать три поверхности, указав линии: дугу c' c и дугу созданную спроецированными на внутреннюю окружность точками. Далее необходимо создать поверхности, определяемые отрезками c' b', c b и противоположными сегментами окружности.

Таким образом, проделав указанные операции, получена фигура, изображённая на рис. 18. На этом рисунке видны шесть отдельных поверхностей.

13. В соответствии с чертежом необходимо создать четыре твёрдых тела путём «выдавливания» поверхностей по направлению оси *z* на соответствующие расстояния.

Поскольку построена только срединная поверхность, то сначала создадим два твёрдых тела, которые располагаются между проушинами путем Extrusion плоскостей 1,2,3 на 5 и -5 мм по оси z.

В панели Geometry, Active > Create, Object > Solid, Method > Extrusion (выдавливание). В появившейся панели в поле ввода Translation Vector введём значения <0 0 5>, что означает перемещение по оси z на 5 мм. В поле ввода Surface List необходимо ввести номера поверхностей путём указания курсором мыши по перемещаемым поверхностям (поверхности 1, 2, 3), нажать Apply.



Рис. 18. Полученная фигура

На запрос удаления первоначальных поверхностей отвечать отрицательно.

Повторить то же, только переместить поверхности по оси z на расстояние <0 0 –5>. Таким образом, получены два твёрдых тела.

14. Для того чтобы построить проушины необходимо сначала переместить средние плоскости (6 штук) сначала на величину 5 мм, а затем –

5мм. Это осуществляется в панели Geometry. В появившейся панели настроить Action > Transform, Object > Surface, Method > Translate. В появившейся панели в поле ввода Translation Vector указать <0 0 5> и в Surface List указать номера перемещаемых поверхностей (их шесть). Тоже повторить для <0 0 –5>. В данном случае при запросе на удаление первоначальных поверхностей нужно отвечать утвердительно.

15. Построить по полученным поверхностям твёрдые тела (проушины) путём выдавливания этих поверхностей на величины их толщин. После выполнения операций получена фигура, изображённая на рис. 19.



Рис. 19. Полученная фигура

Можно удалить средний контур, используемый для построения, но сначала рекомендуется сохранить первоначальную модель в специальной группе (Group).

В главном меню выбрать **Group**, в появившемся меню выбрать **Create**, нажать на эту запись, появится панель, в которой в поле ввода **New Group Name** ввести новое имя изображения модели, например **gr1**. затем в левой части найти меню фильтрации элементов и нажать на кноп-

ку Solid, тем самым указав, что на экране курсор мыши будет выделять только Solids.

В поле ввода Entity Selection (выбор геометрических элементов) ввести номера твёрдых тел, составляющих фигуру или деталь. Для этого поместить курсор в поле ввода и с помощью указателя мыши последовательно указать на экране все твёрдые тела, предварительно придерживая кнопку Shift, чтобы в поле вводе происходило суммирование номеров твёрдых тел. По окончании нажать Apply.

В главном меню нажать Group, в появившемся меню указать Post (просмотр). В появившейся панели в окне Select Groups to Post выделить только gr1 и нажать Apply. На экране появится изображение только твёрдых тел.

Если нужно показать и то и другое можно выделить сразу два имени.

#### Нанесение сетки конечных элементов на созданную модель

Нажать кнопку Elements в появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Mesh (сетка КЭ), Type > Solid, Elem > Shape (форма элемента) > Hex (прямоугольный элемент), Mesher (генератор сетки) Iso Mesh, Topology > Hex8 (восьмиугольный элемент).

В поле ввода Solid List указать номера твёрдых тел (их должно быть 18). Если не снимать скобку в окне Automatic Calculation, то в окне (величина) появится цифра, указывающая размер ребра элемента. Если нажать Apply, то произойдет нанесение сетки конечных элементов рис. 20.

В окне **Output ID List** (список выходных данных) в поле **Node** указывается количество узлов, например 2793, а в поле **Element** – количество элементов, например 1033.

После этого необходимо выполнить проверочные операции.

Первая, «сжать» лишние узлы с помощью операции Equivalence. В панели указать Action > Equivalence, Object > All (все), Method > Tolerance Cube (поле допуска в форме куба). В поле Equivalencing Tolerance указан допуск – размер ребра куба, по умолчанию 0,005 мм. Далее нажать Apply. В строке сообщений появится надпись: Geometric equivalencing completed. 1172 nodes deleted. (операция завершена, 1172 узла удалено). Нажав на кнопку Refresh Graphics можно обновить изображение после удаления узлов.

Эту операцию необходимо делать всегда, когда модель состоит из некоторого количества твёрдых тел несвязанных между собой.

Следующей важной операцией является оптимизация матрицы жёсткости модели. Для этого установить Action > Optimize, Object > Nodes, Method > Both (оба метода оценки ширины ленты матрицы). Нажать Apply.



Рис. 20. Нанесенная сетка конечных элементов

На экране появится таблица, в которой указаны размеры ширины ленты матрицы до сортировки Sorted FEM и после сортировки двумя методами. Если сравнить цифры в правой последней колонке RMS Wavefront (среднеквадратическое значение ширины ленты), то можно заключить, что ширина ленты уменьшается после сортировки в 5–6 раз, или более. Таким образом, обеспечивается уменьшение машинного времени на решение задачи. Нажать Ok и после этого можно задавать нагрузки, граничные условия, свойства элементам и т.п. для решения задачи.

#### Создание новой координатной системы

1. Нажать в главном меню кнопку Geometry.

2. В появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Coord (координатная система), Method > 3Point (по трём точкам).

3. Изменить в строке Coord ID List (список ID номеров координатных систем) на 99, ввести Enter Origin  $[0\ 0\ 0]$ , Point on the Axis 3 =  $[0\ 0\ 1]$  и Point on Plane 1-3 (точка на плоскости 1-3) =  $[1\ 0\ 0]$ . Нажать Apply. Появится прямоугольная координатная система в точке *O* детали.

### <u>Создание сетки конечных элементов под твёрдотельные элемен-</u> ты

Будет использоваться элемент **Tet10** (треугольная пирамида с 10 узлами).

1. В главном меню нажать кнопку Elements.

2. В появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Mesh, Type > Solid.

3. Изменить Global Edge Length на 0.005, выключив предварительно Automatic Calculation.

4. Выбрать **Tet Mesh** в поле **Mesher**.

5. В поле **Тороlоду** выбрать **Tet10**.

6. Поместить в поле ввода **Input List** курсор и выбрать твёрдотельные элементы на экране, нажав левую кнопку мыши и не отпуская её, окружить прямоугольником модель на экране. В поле ввода должна появиться надпись **Solid 1 2**. Нажать **Apply**. Когда на модели появиться сетка, необходимо объединить рядом расположенные узлы твёрдотельных элементов. Для этого нужно выполнить **Equivalencing**.

7. На верхней части панели Finite Elements выбрать Action > Equivalence, Object > All, Method > Tolerance Cube, нажать Apply. В строке сообщений будет указано, сколько узлов было удалено.

### Моделирование материалов

1. В главном меню выбрать кнопку Materials.

2. На появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Isotropic, Method > Manual Input.

3. В строке Material Name панели набрать слово steel, потому что будут введены параметры материала, соответствующие стали.

4. Нажать кнопку Input Properties на панели Materials.

5. На появившейся панели Input Options заполнить строки под названием Elastic Modulus и Poisson Ratio цифрами 2e11 и 0.3 соответственно.

6. Нажать Ok на панели Input Option и Apply на панели Materials.

### Назначение элементам их свойств

1. В главном меню нажать кнопку Properties.

2. В появившемся меню выбрать Action > Create, Object > 3D, Type > Solid.

3. В строку **Property Set Name** ввести имя файла, например **prop\_1**.

4. Нажать на панели Element Properties кнопку Input Properties.

5. Поместить в поле ввода Material Name курсор и выбрать steel из окна Material Property Set внизу панели Input Properties, в поле ввода Material Name появится запись m:steel. Нажать Ok.

6. На панели Elements Properties поместить курсор в поле ввода Select Members выбрать на экране все элементы, имеющие заданные свойства и нажать Add. В окне Application Region должны появиться название элементов, например Solid 1 2.

7. Нажать Ok, чтобы закрыть панель Input Properties и нажать Apply на панели Element Properties.

#### Создать РСL функцию, описывающую условия нагружения

По условию задачи нагрузка, приложенная к проушине, распределяется по закону

 $15 \times 10^3 \times (x - 31, 4)^2$ , H/MM<sup>2</sup>

или

 $15 \times 10^9 \times (x - 0.0314)^2 \text{ H/m}^2$ .

1. В главном меню выбрать кнопку Fields.

2. На появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Spatial (пространство), Method > PCL Function (функция, записанная на PCL).

3. В поле ввода Field Name набрать имя файла quadratic loading или другое, выбрать под Field Type > Vector.

4. Под разделом Coordinate System Type выбрать Real и ввести Coord 99 в поле ввода Coordinate Systems.

5. В поле ввода Second Component ввести уравнение 15e9\*(abs('x-0.0314)\*\*2.0

(убедитесь, что целое число 2 имеет десятичную точку).

6. Нажать Apply.

#### Моделирование нагрузок и граничных условий

1. В главном меню нажать кнопку Loads/BCs.

2. На появившейся форме выбрать Action > Create, Object > Force,

**Type** > Nodal. В поле ввода New Set Name ввести имя contact load или другое и нажать на кнопку Input Data.

3. В появившейся панели **Input Data** поместить курсор в поле ввода Force (сила) и в окне Spatial Fields выбрать Quadratic loading, нажать Ok.

4. Нажать кнопку Select Application Region на панели Loading **Boundary Conditions**.

5. В панели Select Application Region под разделом Geometry Filter выбрать Geometry.

6. Поместить курсор в поле ввода Select Geometric Entities и, используя указатель мыши, выделить на экране проушину детали (место приложения к ней нагрузки) или напечатать Solid 2.3. Нажать Add и потом **Оk**.

7. Нажать Apply на панели Loads/Boundary Condition.

### Задание граничных условий

1. В главном меню нажать кнопку Loads/BCs.

2. На появившейся форме выбрать Action > Create, Object > Displacement, Type > Nodal.

3. Ввести в поле New Set Name имя support.

4. Нажать на кнопку **Input Data**.

5. В появившейся панели в поле ввода Translations ввести <0, 0, 0>, что означает отсутствие перемещений по направлениям x, y, z, оставить пустым поле ввода **Rotations**, что означает свободное вращение вокруг осей x, y, z, нажать **Ok**.

6. Нажать кнопку Select Application Region.

7. В появившейся форме под Geometry Filter выделить Geometry.

8. Поместить курсор в поле Select Geometry Entities. Пользуясь указателем мыши выделить на экране нижнюю поверхность детали (места закрепления в пространстве), нажать Add и затем Ok.

9. Нажать Apply в панели Loads/Boundary Conditions.

Создание входного файла для решения задачи в MSC.Nastran

Создание раздела(Bulk Data) во входном файле.

1. В главном меню нажать кнопку Analysis.

2. На появившейся панели выбрать Action > Analysis, Object > Entire Model, Method > Analysis Deck.

3. Нажать на кнопку Solution Туре (тип задачи).

4. На появившейся форме выбрать Linear Static, так как по заданию необходимо выбрать статический расчёт, нажать Ok.

5. Нажать **Apply** в форме **Analysis**. На экране появится окно программы MSC.Nastran с соответствующими сообщениями, через несколько секунд окно исчезнет, что означает конец работы программы MSC.Nastran.

#### <u>Передача результатов решения в MSC.Patran для их дальнейше-</u> го представления

1. На панели Analysis выбрать Action > Attach XDB, Object > Result Entities, Method > Local.

2. Нажать кнопку **Results File**.

3. Выбрать в появившейся панели файл lug.xdb и нажать Ok.

4. Нажать Apply на панели Analysis.

### Обработка результата постпроцессором

Создание **Fringe**-изображения и деформированной модели.

1. В главном меню нажать кнопку Results

2. В появившейся панели выбрать Action > Create, Object > Quick Plot.

3. В окне Select result Cases выбрать Default, Static Sub Case.

4. В окне Select Fringe Result выбрать переменную в имеющемся списке, например, Stress Tensor (тензор напряжений).

5. В окне Select Deformation Result выбрать Displacement, Translation, чтобы просмотреть перемещения.

6. Нажать Apply.

На экране появится цветное изображение распределения перемещений элементов деталей, т.е. её деформация.

Для просмотра напряжений нужно выбрать Stress Von Mises.

Просмотрев изображение необходимо найти наиболее деформируемые части детали, оценить их величину. Выполнить отдельно расчёт деформации прямоугольного стержня размером 100×50×20 при заданной суммарной нагрузке по формуле сопротивления материалов и сравнить с полученной в MSC.Nastran величиной. Объяснить разницу значений.

Просмотрев изображение распределений напряжений по детали, найти максимальные напряжения, выполнить расчёт напряжений по формуле сопротивления материалов для прямоугольной детали без проушины и сравнить величины. Объяснить разницу в величинах.

### Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- постановку задачи;
- исходные данные (приложение 5);
- аналитическое решение задач;
- сравнение результатов полученных аналитическим методом и с применением МКЕ;
- выводы по работе.

Задание выполняет группа студентов из 2 человек. Отчёт по проделанной работе предоставляется индивидуально каждым учащимся.

### Лабораторная работа «Построение 3D-моделей формообразующей оснастки»

### Цель работы

Цель практической работы состоит в том, чтобы на примере построения 3D-моделей деталей формообразующей оснастки в CAD/CAM/CAE-системе CATIA:

- изучить методы и средства виртуального моделирования изделий в CAD/CAM/CAE-системе CATIA;
- ознакомиться с технологиями виртуального моделирования необходимыми для решения задач проектирования сложной технологической оснастки;
- получить практические навыки создания 3D-моделей с помощью CAD/CAM/CAE- системы CATIA.

В лабораторной работе будут рассмотрены отдельные возможности модуля Part Design (Проектирование деталей), предназначенного для проектирования 3D-моделей деталей.

Практическая работа проводится с использованием CAD/CAM/CAEсистемы CATIA.

### САД/САМ/САЕ-система САТІА

Важнейшей современной тенденцией развития PLM-технологий является повышение роли 3D-моделей, их «смещение» от CAD/CAM и CAE-систем к PDM-системам и системам моделирования производственных процессов. Для этого необходимо обеспечить использование виртуальных моделей на всех этапах процесса проектирования и изготовления нового изделия, изменить само представление о работе технологических отделов, перевести ее на качественно новый уровень – PLM. Использование трехмерных моделей в работе технолога имеет своей целью не только упрощение чтения конструкторской информации, но и оптимизацию процесса технологического проектирования. На современных отечественных предприятиях инженеры-технологи зачастую оказываются исключены из процессов автоматизации, хотя на их долю приходится значительный объем проектных задач, таких как создание операционных заготовок, управляющих программ для станков с ЧПУ, технологических процессов.

С помощью электронной модели изделия можно сократить время, затраченное на подготовку производства, повысить качество чертёжноконструкторской документации. Точная и актуальная информация доступна на любом уровне, каждая стадия разработок четко регламентирована, и любой этап может быть своевременно проконтролирован. Всё это в купе с использованием оборудования нового поколения, позволяет производить высокоточные сложнопрофильные изделия в максимально короткие сроки.

CAD/CAM/CAE-система CATIA является неотъемлемой частью PLM решения:

- САТІА обеспечивает основу для концептуальной разработки, определения изделия, его производства, моделирования и после продажного обслуживания на различных этапах жизненного цикла изделия.
- САТІА снабжает несколько этапов жизненного цикла спецификациями и геометрическими данными, связанными с изделием.

САD/САМ/САЕ-система САТІА это программный комплекс проектирования машиностроительных изделий. Представляет собой инструменты параметрического твердотельного моделирования на основе примитивов. В САТІА можно создавать полностью ассоциативные 3D твердотельные модели с ограничениями или без них, использующие автоматические или определяемые пользователем зависимости и обеспечивающие соответствие изделия техническому заданию на его проектирование.

Проектирование деталей в CATIA осуществляется при помощи модуля Part Design. Part Design разработан в целях решения задач трехмерного проектирования и конструирования деталей для всех отраслей машиностроения и обеспечения их использования для инженерного анализа, технологической подготовки производства, графического документирования и других задач машиностроительного предприятия.

Модуль Part Design содержит мощные инструменты для проектирования трехмерных деталей, ассоциативные функции, основанные на элементах, и средство динамического построения эскизов. Позволяют пользователям добавлять спецификации к создаваемым проектам как в процессе работы, так и после завершения проектирования. Древовидная структура графически представляет организацию иерархии элементов, что позволяет ясно представлять влияние на проект вносимых в него изменений. В процессе изменения проекта пользователи могут выделять, копировать и добавлять целые группы элементов

Работая в рамках машиностроительного проектирования, пользователь CATIA может решать следующий круг задач:

- твердотельное и каркасно-поверхностное моделирование деталей и сборочных единиц;
- формирование чертежно-конструкторской документации;
- простановка допусков и обозначений на модели с их контролем;
- импорт моделей призматических деталей с восстановлением дерева компонентов;
- проверка корректности и «лечение» импортируемой геометрии;

- проектирование формообразующих элементов пресс-форм и штампов;
- проектирование конструкции (пакетов) формообразующей оснаст-ки;
- конструирование изделий из листового металла;
- проектирование сварных конструкций;
- проектирование сборок на основе каталогов и пользовательских библиотек;
- проектирование конструкций из листового металла в авиастроении;
- проектирование деталей из композитных материалов с использованием баз знаний;
- функциональное проектирование изделий из пластмасс (т.е. с учетом их назначения, на соответствующем семантическом уровне).

САD-модели все чаще применяются наряду с чертежами. В PDMсистемах вместе с другой конструкторской информацией изделия сопровождаются 3D-моделями. При реализации совместных проектов компании обмениваются электронными копиями, как чертежей, так и САDмоделей. На данный момент времени 3D-модели все шире применяются для обработки на станках с ЧПУ, быстрого прототипирования и автоматизированного контроля.

Существенную часть ТПП составляет проектирование и изготовление средств технологического оснащения (пресс-формы, штампы, литейные модели и формы), которые характеризуются сложными формами поверхностей и высокой трудоемкостью производства. В условиях отсутствия автоматизации, длительный срок разработки формообразующей оснастки является одним из основных факторов, сдерживающих производительность ТПП. Использование системы САТІА обеспечивает высокое качество и значительное сокращение продолжительности процесса проектирования и изготовления средств технологического оснащения.

Все рассмотренные выше задачи по проектированию сложных изделий и систем в CATIA решаются в трехмерном пространстве, на уровне виртуальных моделей. Таким образом, CATIA устраняет необходимость физического макетирования деталей и узлов для анализа их форм, компоновки, прочностных характеристик и т.д. Это экономит предприятию материальные ресурсы, сокращает время проектирования и подготовки производства изделий. В конечном счете, виртуальное макетирование снижает стоимость продукции предприятия и сокращает время выхода этой продукции на рынок.

### Постановка задачи

В данной лабораторной работе рассматривается система САТІА в рамках решения задачи автоматизации проектирования средств технологического оснащения. В процессе выполнения лабораторной работы необходимо изучить модуль Part Design (Проектирование деталей) и построить 3D-модели деталей формообразующей оснастки. В качестве исходных данные студентам предлагаются чертежи этих деталей (Приложение 6).

### Руководство к проведению лабораторной работы

Лабораторная работа проводится с использованием CAD/CAM/CAE системы CATIA. Поэтому для выполнения работы необходима предварительная установка данного программного обеспечения. Реализация работы осуществляется на базе компьютерного класса кафедры TПС.

## Внимание! Названия файлов создаваемых в системе CATIA должны вводиться латинскими буквами.

Процесс проектирования 3D-моделей деталей состоит из следующих этапов:

- 1. Создание новой детали.
- 2. Выбор основания эскиза.
- 3. Создание геометрии эскиза.
- 4. Создание ограничений в эскизе.
- 5. Создание 3D-примитива.

### 1 Этап. Создание новой детали

При создании новой модели автоматически активируется рабочая среда проектирования детали Part Design. Деталь сохраняется с расширением .CATPart, что отличает ее от других файлов CATIA.

### 2 Этап. Выбор основания эскиза

Документ САТІА состоит из отдельных элементов. Эти элементы получили название *примитивы*. Создавая документ можно добавлять такие примитивы как призмы, карманы, отверстия, ребра, скругления и фаски. Как только примитивы созданы, они немедленно применяются к разрабатываемому изделию.

По методу создания примитивы классифицируются: на основе эскизов (*sketched-based*) и вторичные (*dress-up*). • Примитивы на основе эскизов строятся в 2D эскизе. Как правило, эскиз преобразуется в 3D тело в результате выдавливания, вращения, протягивания.

• Вторичные примитивы создаются непосредственно на теле модели. Скругления и фаски являются примерами такого типа примитивов.

САТІА графически отображает в дереве спецификации модели ее структуру на основе примитивов и другие не графические данные. Дерево спецификации показывает последовательность, в которой примитивы были созданы, и обеспечивает легкий доступ ко всей ассоциированной информации и элементам, лежащим в основе этого примитива.

Основание эскиза – это плоскость, в которой создается эскиз. Эскиз можно создать на вспомогательной плоскости или на плоской грани любой существующей геометрии. В документе любой детали первыми тремя примитивами по умолчанию являются вспомогательные плоскости. Имя каждой происходит от названия плоскости, которой она параллельна относительно системы координат детали (XY, YZ, ZX). Вспомогательные плоскости обеспечивают плоскостную основу, на которой будет создан первый эскиз.

### 3 Этап. Создание геометрии эскиза

Создание каждой новой детали начинается с плоского контура в рабочей среде построения эскиза *Sketcher*. Этот контур используется для построения трехмерных примитивов. Геометрия эскиза создается с помощью инструментов, доступных в панели Profile (Контур):

- User-Defined Profile определяемый пользователем контур.
- Circles окружности.
- Splines \_\_\_\_\_ сплайны.
- Ellipses эллипсы.
- Lines прямые.
- Axes оси.

• Points – точки.

#### Рекомендации к построению первоначального эскиза

Первоначальную геометрию эскиза следует строить как можно ближе к форме и размерам окончательного ограниченного эскиза. Эскиз, сильно отличающийся от требуемого контура, будет деформироваться после применения к нему окончательных размеров. Это может затруднить получение полностью ограниченного контура.

Для модификации существующей геометрии эскиза необходимо использовать панель инструментов операций *Operation*.

### 4 Этап. Создание ограничений в эскизе

На данном этапе необходимо добавить в эскиз размерные и геометрические ограничения. Они служат для математического закрепления геометрии в пространстве координат. Без наложения ограничений созданный примитив становится непредсказуемым и внесение в модель изменений может неблагоприятно сказаться на внешнем виде, компоновке и функционировании сборки в целом. Помимо этого ограничения используются для более точной связи геометрических элементов, позволяя создавать между ними логические взаимосвязи. Ограничения добавляются в геометрию эскиза в рабочей среде *Sketcher*.

*Геометрически ограничения* - ограничения, которые определяют расположение элементов эскиза относительно друг друга и относительно ранее созданной геометрии текущей модели.

*Размерные ограничения* – ограничения, задающие расстояние между двумя элементами. В зависимости от типа участвующих в операции геометрических элементов это расстояние может быть линейным, угловым или радиальным.

Эти ограничения можно установить, используя иконки панели инструментов Constraint (Ограничения).

Завершенный эскиз должен быть полностью ограничен. Размеры и положение эскиза должны быть точно заданы. Не полностью ограниченный эскиз после модификации модели может не соответствовать условиям. Зеленый цвет эскиза показывает, что эскиз полностью ограничен, геометрия фиксирована, и ее нельзя переместить без изменения значений размеров.

Ограничение	Обозначение	Описание		
Геометрические ограничения				
Fix (Фиксация)	j.	Фиксированный элемент нельзя модифицировать		
Coincidence (Совпаде- ние)	×	Выполняет совпадение точки элемента с другим элементом		
Concentricity (Концен- тричность)	•	Делает две дуги концентрич- ными		
Tangency (Касание)		Устанавливает непрерывное касание между двумя эле- ментами		
Parallelism (Парал- лельность)	<u> -11- </u>	Делает две прямые парал- лельными. Для этого сначала необходимо выбрать пря- мую, которая останется фик- сированной, а затем - прямую, которая будет па- раллельна первой.		
Perpendicularity (Пер- пендикулярность)		Делает две прямые перпен- дикулярными друг другу.		
Horizontal (Горизон- тальность)	<u> </u>	Делает прямую горизонталь- ной (параллельной оси Н эс- киза).		
Vertical (Вертикаль- ность)	¥	Делает прямую вертикальной (параллельной оси V эскиза).		
Symmetry (Симметрия)	Ф 16 Ф Н	Делает две прямые симмет- ричными относительно вы- бранного элемента. Для этого необходимо сначала указать две внешние прямые, а затем -элемент, относительно ко- торого они должны быть симметричны.		

Distance (Расстояние)	<_2_>	Вычисляется расстояние ме- жду двумя элементами.
Length (Длина)	/\ 5 ↓	Вычисляется длина элемента, к которому применяется ограничение.
Angle (Угол)	>15°	Вычисляется угол между двумя непараллельными прямыми.
Radius/Diameter (Ради- ус/Диаметр)	D 1,5	Задается радиус или диаметр окружности или дуги

### 5 Этап. Создание 3D-примитивов

Важно начать работу над моделью с создания с устойчивого основания примитива. В дальнейшем модель детали будет формироваться путем добавления или удаления материала из этого начального примитива.

При определении формы базового примитива рекомендуется выбирать базовые элементы, которые выражают первоначальную форму или функциональное назначение детали. Это не означает, что уровень детализации для базового примитива должен быть полностью определен. Например, такие примитивы как скругления, отверстия, карманы, фаски не обязательно создавать изначально как часть эскиза базового элемента детали; они могут быть построены позже.

Для выбора базового примитива необходимо.

1. Определить конструктивные элементы детали.

2. Выбрать один примитив, который станет базовым элементом детали.

3. Определить инструменты CATIA, необходимые для построения примитивов.

4. Построить примитив.

Как только базовый примитив выбран, необходимо определить, в результате какой операции будет формироваться тело добавления или удаления материала.

### Примитивы, которыми добавляется или удаляется материал:

- материал добавляется в результате выдавли-Pad (Призма) вания эскиза. - материал добавляется в результате Shaft (Тело вращения) вращения эскиза. – ребра жесткости создаются в результате вы-Rib (Peopo) давливания и придания толщины незамкнутому контуру эскиза. — отверстие образуется в результате уда-Hole (Отверстие) ления материала цилиндрической формы из твердого тела. Pocket (Карман) - материал удаляется в результате выдавливания эскиза. – материал удаляется в результате враще-Groove (Проточка) ния эскиза. Edge Fillet (Скругление) создается изогнутая грань постоянного или переменного радиуса.
- Chamfer (Фаска) удаляется или добавляется материал плоского сечения на выбранном ребре.
- Draft Angle (Уклон) назначается угловой наклон поверхности детали относительно некоторого ссылочного элемента.
- Thread/Tap (Резьба) примитив определяет геометрию внутренней и внешней резьбы.

### Повторно используемые примитивы

САТІА позволяет создавать различные типы примитивов. Однако, существуют некоторые примитивы, которые многократно встречаются в модели. Чтобы не создавать каждый примитив отдельно, следует применить инструмент дублирования. Это позволит значительно сократить время на проектирование.

Существует два вида инструмента дублирования:



1. Mirror (Зеркальное отражение)

С помощью инструмента Mirror можно созданную ранее одну половину симметричной детали продублировать в другой половине относительно вспомогательного элемента.





Массивы позволяют создавать несколько одинаковых примитивов по одному ранее созданному и тут же указывать их положение в детали.

### Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1. Цель лабораторной работы.
- 2. Исходные данные (см. Приложение 6).
- 3. 3D-модель детали формообразующей оснастки.
- 4. Выводы по проделанной работе.

### Лабораторная работа «Анализ технологических операций сборки в системе Delmia»

### Цель работы

С помощью программного комплекса DELMIA DPM Assembly проанализировать столкновения компонентов сборки, рассмотреть различные варианты конфликтов и способы их устранения, ознакомиться:

- с инструментами анализа геометрии системы DELMIA;
- со способами решения проблемы соударения компонентов сборки;
- с механизмом визуализации конфликтов.

### Постановка задачи

Выполнение практической работы осуществляется в модуле DPM – Assembly Process Simulation системы DELMIA V5.

Для решения поставленной задачи необходимо использовать утилиты:

- Analysis Tools.
- Simulation Analysis Tools.
- Data Views.
- Player.

Необходимо выполнить ряд действий по анализу 3D-моделей в среде DELMIA V5:

- Проанализировать дерево построения DELMIA V5, определить отношение указанных в задании параметров конкретным атрибутам примитивов системы.
- Выполнить моделирование процесса сборки.
- Произвести визуализацию собираемости сборки.

### Руководство по проведению лабораторной работы

Данная лабораторная работа проводится с использованием CAD/CAM/CAE системы DELMIA. Поэтому для выполнения лабораторного практикума необходима предварительная установка данного программного обеспечения. Реализация работы осуществляется на базе компьютерного класса кафедры TПС.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы:

- 3D-модель сборки (3.5 HP engine) и модели рабочего места;
- перечень технологических операций (последовательности сборки).

На рис. 21 представлена модель двигателя, на примере которого необходимо будет смоделировать процесс и провести анализ стоскновений его компонентов.

imulation Analysis Tools

 」 🗞 🤹 🖗 🤌 🦉 🛠 足 追	2 <u>%</u> ?×
Definition Name: Interference.2 Type: Contact + Clash Between two selections	Selection: 1 No selection Selection: 2 No selection
Simulation Control Tools X	× → 0.1 🚔 40.1s

Рис. 21. Исходные данные для анализа столкновений

Перед началом выполнения работы требуется запустить DELMIA и перейти к модулю DPM Assembly Process Simulation (*меню Start / Digital* 

Process for Manufacturing / Assembly Process Simulation) и открыть файл Simulation. CATProcess.

Для анализа столкновений заданных компонентов сборки необходимо выполнить следующую последовательность действий:

- 1. Используя инструмент *Restoring the initial state*, восстановите исходное состояние сборки.
- 2. При помощи утилиты Simulation Analysis выполните Clash Detection, выберите режим стоп.
- 3. Запустите моделирование процесса сборки (Process Simulation)
- 4. Активизируйте инструмент *Clash Analysis*, после появления диалогового окна, выберите режим анализа столкновений:
  - *Contact* + *Clash*;
  - *Clearance* + *Contact* + *Clash*;
  - Authorized penetration;
  - Clash rule.
- 5. После выполнения анализа появиться диалоговое окно *Check Clash*, с результатами анализа. Сохраните полученные результаты в файл.

SYSTEMES	C	lach	Pub	lie	h		
		1451	ii uo	115	11		
	-10						
Heat Shiel	ld vs Blo	ck.1					
C	lash Computatio	n Specificatior	1				
Selecti	ion Mode	Computat	ion Mode				
Between Two	o Selections	Clash + Con	tact				
	Products S	elected					
Se	ection 1	Sele	cuon z				
Se 90_Degree_A	election 1 Heat_Sheild Heat_Sheild ()	Sele Engine_s	Ction 2 Block Rhok 1)				
Se 90_Degree_F /30_Degree_	election 1 Heat_Sheild Heat_Sheild.1)	Sele Engine_i (Engine	otion 2 Block Block.1)				
Se 90_Degree_/ 130_Degree_	election 1 Heat_Sheild Heat_Sheild.1)	Sele Engine_t (Engine	otron 2 Block Block.1)				
Se 30_Degree_r 130_Degree	Heat Sheild Heat Sheild Heat Sheild.1)	Sele Engine_; (Engine	ettan 2 Block <u>Block. 1)</u>				
Se 90_Degree_/ 100 Degree Computati	election 1 Heat_Sheild Heat_Sheild.1)	Sele Engine_J (Engine	ction 2 Block <u>Block.1)</u>				
Se Standard Stand Stand Stand Stand Stand Stand	Hection 1 Heat_Sheild Heat_Sheild.1) ON Resu	Sele Engine_t (Engine) (Engine)	ciion 2 Block <u>Block (1)</u> 1 (clash: 1, conta	act: O, cle	arance: 0)		
Se 90_Degree_f 190_Degree	election 1 Heat_Sheild Heat_Sheild.1)	Sele Engine_J (Engine	otion 2 Block Block. 1)				
Se 90_Degree_f 100_Degree	election 1 Heat_Sheild Heat_Sheild.1)	Sele Engine_i (Engine	ction 2 Block Block.1)				
Se <u>® Degree f</u> <u>® Degree</u> Computati	Hection 1 Heat_Sheild Heat_Sheild.1)	Sele Engine_J (Engine (Engine (Engine	c <i>tion 2</i> Block <u>Block ()</u> Block ()	ıct: O, cle	arance: 0)		
Se St. Degree St. Degree Computati	Heation 1 Heat_Sheild Heat Sheikl.1) On Resu Produ	Sele Engine_1 (Engine (Engine) (Engine) (Engine) (Engine)	Ellock Block Block (1) 1 (clash: 1, conta	ict: 0, cle	arance: 0)	Cfafue	Clas

Result Description - 1

Рис. 22. Аналитический отчет столкновений

Для выбора анализа только между требуемыми компонентами, активизируйте их при помощи инструмента *Analysis Configuration* (рис. 23).

Analysis Con	figuration	
Analysis Available: Heat Shield v Carburetor V Intake Valve Distance.1 Distance Muf Band Heat v Interference	Device Settings s Block. s Muffle vs all.3 fler Loci Fly shie -all.4	Robot Settings ( The set of the s
Analysis level: Verbose		
Visualizacion mode: Highlight		
OK Reset OCancel		

Рис. 23. Утилита Analysis Configuration

Для просмотра всех компонентов сборки, можно использовать инструмент *Explode*, расположенный на панели *Analysis Tools*. Он позволяет разнести все детали сборки на некоторое предустановленное расстояние.

Для отображения результатов анализа столкновений в дереве проекта необходимо активировать атрибут *Applicative data* (Горизонтальное меню / Tools / Options / Digital Process for Manufacturing / Tree and activating).

### Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1. Цель лабораторной работы.
- 2. Постановку задачи.
- 3. Исходные данные (см. Приложение 7).
- 4. Графическое изображение (в формате «\*.bmp») момента столкновения компонентов.
- 5. Отчет анализа столкновений в формате «\*.xml».
- 6. Выводы по проделанной работе.

# Лабораторная работа «Управление перемещением компонентов сборки в системе Delmia»

### Цель работы

С помощью программного комплекса DELMIA DPM Assembly задать траекторию перемещения компонентов сборки, рассмотреть различные варианты и способы реализации, ознакомиться:

- с инструментарием создания траектории перемещения;
- с временными ограничениями перемещения;
- с механизмом визуализации сборочных операций.

### Постановка задачи

Выполнение практической работы осуществляется в модуле DPM – Assembly Process Simulation системы DELMIA V5.

Для решения поставленной задачи необходимо использовать утилиты:

- Simulation Activity Creation.
- Simulation.
- Recorder.
- Manipulation
- Player.

Необходимо выполнить ряд действий по формированию траектории перемещения 3D-моделей в DELMIA V5:

- Проанализировать дерево построения DELMIA V5, определить отношение указанных в задании параметров конкретным атрибутам примитивов системы.
- Задать направления и траектории перемещения компонентов сборки.
- Создать ряд пользовательских параметров.
- Произвести визуализацию собираемости сборки.

### Руководство по проведению лабораторной работы

Данная лабораторная работа проводится с использованием CAD/CAM/CAE системы DELMIA. Поэтому для выполнения лабораторного практикума необходима предварительная установка данного программного обеспечения. Реализация работы осуществляется на базе компьютерного класса кафедры ТПС.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы:

• 3D-модель сборки (3.5 HP engine) и модели рабочего места;
• перечень технологических операций (последовательности сборки). 3D-модели верстака и двигателя, представленные на рис. 24, являются исходными данными.



Рис. 24. Исходные данные: виртуальное рабочее место

Перед началом выполнения работы требуется запустить DELMIA и перейти к модулю DPM Assembly Process Simulation (меню Start->Digital Process for Manufacturing-> Assembly Process Simulation). Открыть файл Disassembly3. CATProcess.

Для задания траектории перемещения компонента необходимо выполнить следующую последовательность действий:

- 2. Выделить операцию, для которой вы хотите задать перемещение.
- 3. Создать перемещение с помощью инструмента *Move Activity* и выбрать тип вставки "*as child*".
- 4. Убедиться, что в окне предварительного просмотра выбрана заданная деталь, нажать *OK* в окне *Edit Shattle*.
- 5. Перетащить в виртуальном пространстве деталь в сторону от модели двигателя, используя компас.
- 6. Зафиксировать положение, нажав кнопку *Record*



7. Повторить предыдущее действие, пока требуемая деталь не окажется на столе (рис. 25).



Рис. 25. Перемещение детали

- 8. Фиксировать каждое положение детали с помощью Record.
- 9. Использовать панель инструментов *Player* для отмены или просмотра перемещений.
- 10. Убедиться, что деталь заняла необходимое положение (размещена на столе), закрыть диалоговое окно *Track* и повторить те же действия для прочих деталей в случае необходимости.

После того, как траектории построены, можно посмотреть симуляцию всего процесса и определить места возникновения проблемных участков, представляющих собой столкновения компонентов и их взаимное пересечение.

Перед созданием перемещения полезно скрыть неиспользуемые компоненты. Они останутся в дереве построения, но будут не видны на сборке (рис. 26).

Для просмотра всех компонентов сборки, можно использовать инструмент *Explode*, расположенный на панели *Analysis Tools*. Этот инструмент позволяет разнести все детали сборки на некоторое расстояние.

Время движения компонента можно редактировать. Возможны варианты задания времени на перемещение либо задание скорости перемещения. Для этого надо выбрать *More* в диалоговом окне *Track* и задать требуемые параметры времени.



Рис. 26. Настройка отображения компонентов сборки

#### Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1. Цель лабораторной работы.
- 2. Постановку задачи.
- 3. Исходные данные (см. Приложение 8).
- 4. Графическое изображение (в формате «\*.bmp») результата перемещения.
- 5. 3D-модель DELMIA V5 с результатом работы.
- 6. Выводы по проделанной работе.

# Лабораторная работа «Параметризация 3D-моделей изделий»

# Цель работы

Цель практической работы состоит в том, чтобы на примере управления параметрическим описанием трехмерных моделей изделия в CAD/CAM/CAE системе CATIA:

- познакомиться с технологией DMU (Digital Mock-Up);
- освоить методы задания размеров и отношений на виртуальной модели изделия в виде связей и формул;
- получить дополнительные навыки работы CAD/CAM/CAE системе CATIA;
- познакомиться с существующими возможностями унификации и группирования изделий, получаемыми за счет использования современных средств автоматизации.

Практическая работа проводится с использованием CAD/CAM/CAEсистемы CATIA.

# Формулы и их реализация в САТІА

Возможность управления цифровым описанием изделия в САТІА основывается на том, что каждый создаваемый элемент модели уникален и идентифицируется определенным набором параметров. Каждый из них характеризуется определенным типом, принимаемыми значениями и уникальным именем. Состав параметров зависит от типа геометрического элемента. К параметризуемым элементам модели относятся не только размерные и геометрические ограничения (та информация, которая обычно указывается на чертежах и эскизах), но и так называемы примитивы. Создание трехмерной модели изделия в САD-системе происходит за счет построения последовательности примитивов, причем выделяют два их вида:

- первичные примитивы (строятся на основе двухмерного эскиза; к ним относятся тела вращения, призмы и пр.);
- вторичные примитивы (создаются непосредственно на теле модели; к ним относятся скругления, фаски, уклоны).

Доступ к этим параметрам обеспечивается специальным сервисом – менеджером формул.

Формула – это уравнение, которое накладывает определенные ограничения на множество значений параметра, для которого она задается. Чаще всего формулой задается связь между различными параметрами.

Формулы могут быть использованы для задания:

- управляющих размеров;
- отношений;
- примитивов.

Управляющие размеры - это размеры, используемые для непосредственного построения примитива. Они включают размеры, ассоциированные как с геометрией эскиза, так и собственно с примитивами. Рассмотрим, например, цилиндрическую призму. Диаметр призмы управляется диаметром окружности на эскизе, а ее высота - глубиной, на которую «выдавливается» эта окружность.

Отношения включают в себя такую информацию, как параллельность, касание, концентричность и др. Эти данные в САТІА устанавливаются с помощью инструмента *Constraint Definition* и визуализируются на рисунке с помощью контрольных символов.

Задание формул актуально для реализации в САD некоторых исследовательских технических задач, когда на модели необходимо задавать именно взаимосвязанные размеры. При таком подходе к проектированию упрощается реализация исследовательской (экспериментальной) части работы. Необходимые изменения можно отразить на модели, изменив значения лишь ключевых параметров. Все связанные размеры отредактируются автоматически. Это актуально при проектировании сложных систем.

Область применения формул (в CAD-системах) помимо исследовательских задач распространяется на задачи унификации и группирования промышленных изделий, оптимизации многих технологических процедур. Понятие комплексной детали, хорошо известное из курса «Технологии приборостроения», обретает новую практическую реализацию.

Построение комплексной детали в CAD-системе основывается на использовании множества переменных, принимающих значения в соответствии с таблицей параметров.

#### Постановка задачи

Выполнение практической работы осуществляется в модуле Part Design системы CATIA V5.

Для решения поставленной задачи необходимо использовать утилиты:

- Formulas.
- Formula Editor.
- Part Infrastructure (parameters, relation).
- Parameter and Measure (parameter tree view).

Необходимо выполнить ряд действий по параметризации 3Dмоделей САТІА V5:

- Проанализировать дерево построения CATIA V5, определить отношение указанных в задании параметров конкретным атрибутам примитивов системы.
- Переименовать задействованные в вычислениях параметры построения.
- Создать ряд пользовательских параметров.
- В соответствии с заданием задать отношения между некоторыми параметрами в виде формул.

### Руководство по проведению лабораторной работы

Данная лабораторная работа проводится с использованием CAD/CAM/CAE системы CATIA. Поэтому для выполнения лабораторного практикума необходима предварительная установка данного программного обеспечения. Реализация работы осуществляется на базе компьютерного класса кафедры ТПС.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы:

- чертежи деталей и таблицы исходных данных (Приложение 9);
- 3D-модели деталей.

Файлы с моделями деталей находятся в папке "Варианты заданий", номер папки соответствует номеру варианта.

Рассмотрим выполнение данного лабораторного практикума на примере параметризации *Вала 000.000.023* (рис. 27).



Рис. 27. Вал 000.000.023

В задании требуется:

- 2. Переименовать следующие параметры:
- обозначить длину ступени вала (20 мм, рис. 27) как параметр с;
- обозначить диаметр вала (Ø 10) как параметр **d**;

2. Задать с помощью формул следующие геометрические ограничения:

- диаметр вала **b** должен быть в два раза больше **d**;
- длина ступени вала а должна быть на 8 мм длиннее с.

Перед началом работы необходимо открыть в CATIA V5 3D-модель вала, указанного в задании (модуль *Part Design*).

#### Настройка параметров системы

В первую очередь необходимо откорректировать настройки CATIA V5 для установки опций отображения формул и параметров в дереве проекта. Для этого в горизонтальном меню системы необходимо выбрать: *Tools > Options*. В появившемся окне перейти к редактированию атрибутов закладки *Display (Options/Infrastructure/Part Infrastructure)*. После этого активировать опции *Parameters* и *Relations*.

При активации атрибута *Parameters* в дереве проекта появляется папка с тем же именем, содержащая перечень всех параметров, созданных пользователем в данном проекте. Соответственно при активации атрибута *Relations* в дереве проекта в соответствующей паке выводятся все созданные формулы.

Еще одной настройкой, влияющей на работу с параметрами, является опция *Parameter Tree View (Options/ Parameter and Measure/'закладка' Knowledge*). Здесь возможно задать отображение пользовательских параметров в дереве проекта с указанием его значения/значений (*with value*) и присоединенных формул (*with formula*).

#### Переименование параметров

После настройки параметров рабочей среды необходимо перейти непосредственно к работе с формулами. Согласно первому заданию необходимо переименовать некоторые параметры модели. По умолчанию в САТІА V5 размеры имеют сложные обозначения, с которыми достаточно неудобно работать. Поэтому параметры построения, используемые при создании форму, целесообразно переименовывать. Выполняется это следующим образом (рис. 28):

- Запустить менеджер формул (*Formula*): выбрать иконку Formula на панели инструментов или в горизонтальном меню (*Tools* > *Formula*).
- После загрузки окна *Formulas* указать 3D-элемент вала, для которого существует искомый размер.

Примечание! Если искомый размер не был явно задан при построении эскиза, он не будет отображен в списке параметров модели (Formulas).

- Указать на 3D-модели параметр, обозначение которого планируется изменить (в данном случае длину ступени вала 20 мм).
- Изменить текущее имя параметра (например, *Part-Body\Shaft.1\Sketch.5\Length.16\Length*) в строке ввода *Edit name of the current parameter* на заданное (например, **c**).
- Нажать клавишу Apply (применить).

F	ormulas: Part1			?	Ľ
	Filter On Part1 Filter Name : <b>*</b> Filter Type : <b>Renamed parameters</b>			Import	
	Parameter	Value	Formula	Active	
	c.	20mm			
		5mm			
	a	28			1.11
	Edit name or value of the current parameter				
	a		28	<b>÷</b>	
	New Parameter of type Real	With Single Value	•	Add Formula	
	Delete Parameter			Delete Formula	1
				OK Apply OK Cance	

Рис. 28. Менеджер формул САТІА V5

#### Создание пользовательских параметров

Согласно второй части задания необходимо связать некоторые геометрические параметры вала формулами. Для этого в первую очередь следует создать соответствующие пользовательские переменные (параметры). В данном случае **a** и **b**. Выполняется это следующим образом:

- Запустить менеджер формул (*Formula*): выбрать иконку Formula на панели инструментов или в горизонтальном меню (*Tools* > *Formula*).
- После загрузки окна *Formulas* нажать клавишу *New parameter of type*; система создаст пользовательскую переменную. После этого необходимо задать имя параметра, тип и значение и зафиксировать эти изменения с помощью клавиши *Apply*.

Примечание! Для завершения работы с менеджером формул обязательно необходимо использовать клавишу **ОК**, иначе все произведенные дейст-

вия не сохранятся (даже, если во время работы использовалась клавиша *Apply*).

#### Создание формул

Создание формул включает два этапа:

- Установление соответствия между конкретными размерами детали и пользовательскими параметрами.
- Создание геометрических ограничений согласно поставленной задаче.

Примечание! При создании формул рекомендуется использовать именно пользовательские параметры. Установление размерных связей непосредственно между размерами ограничит возможности пользователя по редактированию полученной параметрической модели.

Назначить переменную на какой-либо размер можно следующим образом:

- Запустить менеджер формул (*Formula*).
- После загрузки окна *Formulas* указать 3D-модель параметризуемой детали.
- Выделить искомый размер (для рассматриваемого примера это с или d).
- Нажать клавишу *Add Formula* в менеджере формул (система активирует меню *Formula Editor*, где выделенному размеру можно присвоить арифметическое выражение).
- В появившемся окне (рис. 29) выбрать (созданную ранее) переменную, с помощью которой планируется управлять редактируемым размером (например, длине ступени вала присваивается параметр **a**, рис. 27).
- Завершить работу менеджера формул, нажав клавишу *OK* для *Formula Editor* и *Formula*.

Formula Editor : PartBody\!	5haft.1\Sketch.5\Offset	.25\Radius	?×
<u>e</u>			× 90
PartBody\Shaft.1\Sketch.5\C	)ffset.25\Radius		=
c			
Dictionary	Members of Parameters	Members of Renamed pa	rameters
Parameters Design Table Operators Pointer on value functions Point Constructors Law	All Renamed parameters Angle Boolean CstAttr_Mode	▲ C d b a	
	Real String	<b>•</b>	
c		20mm	-
		۲	OK 🥥 Cancel

Рис. 29. Механизм создания формул в CATIA V5

Создание геометрических ограничений производится аналогично с назначением переменной на размер. При этом в строке ввода в *Formula Editor пользователем* записывается арифметическое выражение, соответствующее условию конкретной задачи. Например, для выполнения требования «длина ступени вала а должна быть на 8 мм длиннее с», формула будет выглядеть следующим образом:

$$a = c + 8mm$$

где **a** - переменная, соответствующая длине одной из ступенек вала, а **c** – длина другой ступеньки (переименованный параметр).

Примечание! При задании значений пользовательских переменных и при создании форму необходимо помнить, что в CATIA V5 любой размер по умолчанию имеет размерность метры. Для избежания ошибок построения необходимо явно указывать размерности используемых параметров.

Следует отметить, что с помощью формул могут быть заданы не только численные величины, но и логические, имеющие значения *true/false*.

# Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- 1. Цель лабораторной работы.
- 2. Постановку задачи.
- 3. Исходные данные (см. Приложение 9).
- 4. Демонстрации с расширением 3dxml.
- 5. 3D-модели САТІА V5 с результатом работы.
- 6. Выводы по проделанной работе.

# Приложение 1. Чертежи для выполнения заданий



	формат	сол. Гоз.	Обозначение	Наименование	еву Приме- У чание
hernon C			-	<u>Документация</u>	
(lebi)	<i>A</i> 4		000.000.010 CB	Ugolnik (Угольник)	
	╢	-		<u>Детали</u>	
	A4	1	000.000.011	Ugolnik (Угольник)	1
D. N.	A4	2	000.000.012	Vfulka (Bmy/ika) Maapit (Maavium)	7
nin	ля Д4	4	000.000.015 000.000.014	Vint (Buhm)	2
		_			
82					
- 24		+			
משמ					
מו ח מ	H		-		
110					
V~ סעסת	H				
NHO			5		
UHO: W					
D3QM.		_			
משמ					
an. u a	Ц	$\bot$			
//0	Viari.	Лист	№ докум. Падп. Дата	000.000.01	0
. N° NOON.	Разр Проі	105 1		Uaolnik H	ит. Лист Листо 1



8	Фармат Зана	.Edl)	Обозначение	Наименование	ъ У Приме- Чание	
д. примен.				<u>Документация</u>		
Uer	A4		000.000.020	Korpus (Kopnyc)		
<u>0</u> 2	+			<u>Demanu</u>		
øV	A4 A4	1 2	000.000.021 000.000.022	Korpus (Kopnyc) Vtulka (Bmynka)	1 2	
Crpab.	A4.	3	000.000.023	Val (Ban)	1	
מחמ		3 A				
Nođn u č						
1 อิปอีก.	+					
Nº NHÔ N	-					
зам. инв. ,						
Tama B						
Подп. и с					 ?D	
<sup>а</sup> подл.	Изм // Разрс Пров	ucm τδ	№ докци. Подп. Дата			
NHB N	Н коні Утв.	קת		NULPUS	формат <u>1</u> /	

Вариант 3



	фарнат	Зана	RD3.	Обозначение		Наименован	HUE	Кол	Приме- чание
y npumer.				-		<u>Документа</u>	<u>UUR</u>		
(lept	A4			000.000.030 CB	ŀ	Podpytnik (Noðný	amhuk)		
_						<u>Детали</u>			
	A4		1	000.000.031	4	Podpytnik (Nođna	ппник)	1	
D. N.	A4 47		2	000.000.032 000.000.032	/	TUZINA (I IPYXUH Vkladvoch (Pkna	a) Acual	1	
CUDI	74 A4		4	000.000.033	1	/tulka (Bmy <i>n</i> ka)	UBILLI/	1	
3.0									
-									
0000	-							-	
n upor n	F								
100									
HD. Nº O	-				6				
N~ N									
am. uha	-		<u>,</u>						
D D					÷				
п аат									
11001	Изг	1/10	сm	№ доким. Падп Датл		000.000	1.030		
N DODU	Ра. Пр.	эрай ов.	5		Por	lovtnik	<u></u>	Лисп	л Листо. 1

Вариант 4



	Φοριταπ	Зана	Ro3.	Обозначение	Наименование	Кол	Приме- чание
Hawindu (					<u>Документация</u>		
( IEDC	A4			000.000.040 CB	Magnit (Mazhum)		
			<u>.</u>		<u>Demanu</u>	2 <u>02</u>	
	A4		1	000.000.041	Magnit (Mazhum)	1	
D. IV	A4		2	000.000.042	Nakonechnik (Наконечник)	2	
UDC	74 14		J 4	000.000.044	Vtulka (Bmynka)	2	
			6.				
			<u>.</u>				
			2				
DUNN			e.				
110011	-					-	
1000			v v	~			
NHO IN	E		i.				
N 7			·.				
UM. UHL	3		¢.	2			
0	2		÷				
U DOM	-						
110011	Un	м Ли	cm.	N <sup>0</sup> даким Пада Пата	000.000.040		52
N^ DOM.	Ра Пр	1970 1970 198	2		Mannit	Лист	п Листо 1
NHB Nº N	H) H) 4n	иа. Конп пћ	10		Magnit 💾		

Вариант 5



6	Φοριναπ	Зана	RD3.	Обозначение	Наименова	HUE	Приме- чание
			2		<u>Документа</u>	<u>14U9</u>	
	A4		1	000.000.050 CB	Vtulka (Bmynka)	L	3
2 2 2 2 2			<u>.</u>		<u>Детали</u>		
2	4		1	000.000.051	Тгирка (Трубка)	1	
	A4		2	000.000.052 000.000.052	ντυίκα (Βπιγλκα)	/ 7	( )
	14	_	5	נכט.טטט.טיט חחח חחח חבו.	Viulka IBilly/IKW	/	e
	74 74		5	000.000.055	Schaiba (Шайða)	1	1
					6 		
	-	_	<u>.</u>				-
200		-	·	2			
2			A				
5				6 6			_
2	-			-			
	+			6		1367	
			-	-			_
	-		-				
	-	_	·	6			
8							
2				-			
		μ	-				23
	1/2r	1/11	ст	№ доким. Подп Лата	000.000	7.050	
	Ра. Пр.	эрад эв	5		Vtulka	Лит. Ли	cm <u>Aucmo</u> u 1
	Ра. Пр. Н.к Ут	эрад эв ант в	E ID		Vtulka	Aum. Au	5777

Вариант 6



# Вариант б

	форнат	Зана	RD3.	Обозначение	Наименование	Кол	Приме- чание
, npumen,					<u>Документация</u>		
I IEDC	A4		-	000.000.060 CB	Flanec (Фланец)		
			-		<u>Петали</u>		
	A4		1	000.000.061	Flanec (Фланец)	1	
IDUED. IN	14 74		2 3	000.000.062 000.000.063	Trubka (Tpyðka) Zagluschka (Заглушка)	1	
2							
52							
	E						
	-		9				
י בי בינוא							
1001							
טעטוו.	3						
VITUL I						-244	
משמי וא							
L'INCO							
	F		4				
110001.1					000.000.060		
I I DUVI	Изі Ра Пр	1 <u>1/lu</u> 3pai oß	<u>с</u> т. โ	№ dokym. Hadn. Yama		Лист	п Листо. 1
NI IN	H.A	ОНП	Ø		Flanec		

# Приложение 2. Варианты заданий

# Вариант 1

Диаметр Магнита поз. 3 должен соответствовать внутреннему диаметру Втулки поз. 2



Диаметр Вала поз. 3 должен соответствовать внутреннему диаметру Корпуса поз.1



Диаметр Вкладыша поз. 1 должен соответствовать внутреннему диаметру Втулки поз. 2



Ширина Прокладки поз. 3 должна соответствовать расстоянию между Магнитом поз. 1 и Наконечником поз. 2.



Ширина Шайбы поз. 5 должна быть равна расстоянию между Втулкой поз. 3 и Втулкой поз. 3



Высота и ширина Заглушки поз. 3 должны соответствовать высоте и ширине Трубки поз. 3













Задание:

- 1. Измерить расстояние между элементами построить размеры:
- **a**, **b**, **c**, **d**, **e** и **f** произвольным образом;
- g и h в виде цепочки размеров;
- **i**, **j** и **k** от общей базы.
  - 2. Измерить элементы получить значение:
- площади поверхности m;
- длины окружности **n**.
  - 3. Получить следующие характеристики детали:
- массу детали;
- координаты центра масс детали.

# Вариант 2

Задание:

- 1. Измерить расстояние между элементами построить размеры:
- **a**, **b**, **c** и **d** произвольным образом;
- **e**, **f** и **g** от общей базы;
- h, i и j в виде цепочки размеров.
  - 2. Измерить элементы получить значение:
- площади поверхности k;
- периметра паза **m**.
  - 3. Получить следующие характеристики детали:
- массу детали;
- плотность детали.

#### Вариант 3

Задание:

- 1. Измерить расстояние между элементами построить размеры:
- **a**, **b**, **c** и **d** произвольным образом;
- е, f и g в виде цепочки размеров;
- **h**, **i** и **j** от общей базы.
  - 2. Измерить элементы получить значение:
- площади поверхности k;
- длины дуги **m**.
  - 3. Получить следующие характеристики детали:
- массу детали;
- плотность детали.

Задание:

- 1. Измерить расстояние между элементами построить размеры:
- **a**, **b**, **g**, **h**, **n** произвольным образом;
- c, d, e, f в виде цепочки размеров;
- **i, j**, **k**, **m** и **l** от общей базы.
  - 2. Измерить элементы получить значение:
- площади основания k;
- периметра основания **m**.
  - 3. Получить следующие характеристики детали:
- массу детали;
- координаты центра масс.

# Приложение 4. Варианты заданий для самостоятельного выполнения

№ варианта	a (mm)	b (mm)	r (mm)	t (mm)
1	500	130	250	3
2	700	150	250	4
3	800	180	250	5
4	500	130	300	3
5	700	150	300	4
6	800	180	300	5

# Приложение 5. Варианты заданий для самостоятельного выполнения

№ вари-	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)
анта						
1	30	40	200	80	160	140
2	30	40	250	80	210	190
3	40	50	250	100	200	170
4	40	50	300	100	250	220
5	20	30	200	80	170	165
6	20	30	250	80	220	205


## Приложение 6. Варианты заданий для самостоятельного выполнения













## Приложение 7. Варианты заданий для самостоятельного выполнения

Для каждого из вариантов подразумевается задание в виде исходных данных двух компонентов сборки (двигатель, рис. 21), которые необходимо проанализировать на наличие столкновений. Ниже приведены название деталей сборки 3.5 HP engine для каждого варианта:

№ вари- анта	Наименование деталей	
1	Intake Valve (впускной клапан), Carburetor (карбюратор)	
2	Air Filter (воздушный фильтр), Crankshaft (коленчатый вал)	
3	Piston (поршень), Piston Rod (поршневой шток)	
4	Cam (кулачок), Crankcase (картер)	
5	Flywheel (маховик), Cover (крышка)	

# Приложение 8. Варианты заданий для самостоятельного выполнения

В каждом варианте необходимо задать перемещение двух компонентов сборки. Следующая таблица содержит наименования деталей двигателя (рис. 24) в соответствии с вариантом лабораторной работы.

Вариант	Наименования деталей	
1	Intake Valve (впускной клапан), Carburetor (карбюратор)	
2	Air Filter (воздушный фильтр), Crankshaft (коленчатый	
	вал)	
3	Piston (поршень), Piston Rod (поршневой шток)	
4	Cam (кулачок), Crankcase (картер)	
5	Flywheel (маховик), Cover (крышка)	



## Приложение 9. Варианты заданий для самостоятельного выполнения







## Вариант 1

Задание:

- 1. Обозначить радиус матрицы (которому на чертеже соответствует Ø200) как параметр **a**.
- 2. Установить ограничение высоты ступени (заданной на чертеже размером 50 мм, см. вид слева) как 1/2 от радиуса а.
- 3. Создать пользовательский параметр **b**, равный 15°.
- Задать величину помеченных на чертеже углов равной переменной b.
- 5. Создать пользовательские параметры с и d, равные соответственно 3 и 4.
- 6. Задать количество отверстий Ø15,5/Ø6,7 равным переменной с.
- 7. Задать количество отверстий М12-5Н6Н равным переменной **d**.
- 8. Создать пользовательские параметры е и **f** , равные соответственно 1 мм и 45°.
- 9. Принять размеры помеченных на чертеже фасок равными  $e \times f$  (катет фаски равен 1 мм, а угол наклона 45°).
- 10. Дезактивировать с использованием формул на 3D-модели детали отверстие Ø75,7.

## Вариант 2

Задание:

- 1. Обозначить толщину плиты как параметр а.
- 2. Создать пользовательский параметр **b**, равный 15 мм.
- Задать величину помеченной на чертеже глубины паза равной переменной b, а длину этого паза (45 мм на чертеже, см. вид слева) в 3 раза большей b.
- 4. Создать пользовательский параметр с, равный 25°.
- 5. Задать величину помеченных на чертеже углов равной переменной **с**.
- 6. Создать пользовательский параметр **d**, равный 12 мм.
- 7. Задать диаметр резьбы в отверстии, равным переменной **d**.
- 8. Задать количество отверстий Ø16 равным переменной **h**.
- Создать пользовательские параметры f и g, равные соответственно 2 мм и 45°.
- 10. Принять размеры помеченной на чертеже фаски равными  $f \times g$  (катет фаски равен 2 мм, а угол наклона 45°).
- 11. Дезактивировать с использованием формул на 3D-модели детали три паза (R20, см. главный вид).

## Вариант 3

Задание:

- 1. Создать пользовательский параметр **a**, равный 40 мм.
- 2. Задать толщину матрицы равным переменной а.
- 3. Установить диаметр матрицы (которому на чертеже соответствует размер 200 мм, см. вид слева) в пять раз большим **a**.
- 4. Установить длину резьбы М12-5Н6Н в семи отверстиях равной следующему выражению: *a*÷2+8.
- 5. Создать пользовательский параметр **b**, равный 2°.
- 6. Задать величину уклона прямоугольного паза (37,5×59,6) равной переменной **b**.
- 7. Переименовать обозначение ширины паза как с (см. чертеж).
- 8. Создать пользовательский параметр **d**, равный 40°.
- 9. Установить угол наклона фаски (заданной на чертеже 30°, см. главный вид), выполненной в канавке (см. главный вид и вид Б), равным следующему выражению: *d*−10°.
- 10. Задать количество пазов (R12,5) равным пользовательской переменной е.
- 11. Задать радиус скругления стенок прямоугольного паза (37,5×59,6) равным пользовательской переменной **f** (6 мм).
- 12. Дезактивировать с использованием формул на 3D-модели детали семь отверстий M12-5H6H.
- 13. Создать пользовательский параметр g, равный 5 мм.
- 14. Установить величину радиусов скругления в отверстиях Ø16 и Ø20 равной переменной g.

#### Вариант 4

Задание:

- 1. Создать пользовательский параметр **a**, равный 21 мм.
- Задать указанный на чертеже диаметр отверстия (см. главный вид)
  а.
- 3. Создать пользовательский параметр **b**, равный 20°.
- 4. Установить величину наклона отверстия Ø21 равной переменной **b**.
- 5. Установить величину наклона ступени (которой на чертеже соответствует размер 15°, см. главный вид) равной переменной **b**.
- 6. Создать пользовательский параметр с, равный 4 мм.
- 7. Установить диаметр четырех отверстий (помеченных на чертеже как 4 отв. Ø3,6, см. вид слева) равным переменной **с**.
- 8. Переименовать обозначение высоты шибера как **d** (как указано на чертеже).

- 9. Установить ширину шибера (которой на чертеже соответствует размер 48 мм, см. вид слева) равной следующему выражению: *d*+*c*+3. Переименовать обозначение этого размера как **e**.
- 10. Установить радиус сферического паза (которому на чертеже соответствует размер 24,33 мм, см. вид сверху) равным следующему выражению: *e* ÷ 2+0.33.
- 11. Создать пользовательский параметр **f**, равный 10°.
- 12. Установить величину уклонов на внешних диаметрах ∅18,3, ∅24,9, ∅31,32 равной переменной **f**.
- 13. Дезактивировать с использованием формул на 3D-модели детали отверстие М10-5H6H.

## Список литературы

- 1. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. – СПб: Политехника, 2004. – 152 с.
- 2. Сопротивление материалов. Под ред. А.Ф.Смирнова. Учебник для вузов. Изд. 3, М., Высшая школа, 1975.
- 3. Шатров Б.В. Теоретические основы анализа конструкций с применением метода конечных элементов М: МАИ, 1998.
- 4. Яблочников Е.И, Маслов Ю.В. Автоматизация ТПП в приборостроении / Учебное пособие. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2003. – 104 с.
- 5. Яблочников Е.И. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении / Учебное пособие. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2002. 92 с.
- 6. Сайт компании "Би Питрон" www.bee-pitron.com.
- 7. <u>www.catia.ru</u>
- 8. MSC.Patran 2001. User's Guide for Windows.
- 9. MSC.Patran 2000 (r 2), Release Guide.





В 2007 году СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007–2008 годы. Реализация инновационной образовательной программы «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий» позволит выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворить возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях экономики.

#### КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А.П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С.П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он Ленинской премии CCCP. Методы был удостоен группового производства с успехом применяются в промышленности и постоянно развиваются его учениками. Заслуженным изобретателем Российской Федерации Юрием Григорьевичем Шнейдером разрабатаны метод и нанесения регулярного микрорельефа инструментарий на функциональной поверхности.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск специалистов по специальностям "Технология приборостроения" (инженер-технолог, инженер-технолог искусственному инженер-технолог-менеджер, ПО интеллекту в приборостроении) и "Системы автоматизированного проектирования" (инженер-системотехник). Ha кафедре ведется подготовка бакалавров, магистров, инженеров И аспирантов ПО силами профессоров специализациям семи И названным девяти доцентов.

Анна Леонидовна Комисаренко Игорь Викторович Словцов Юлия Николаевна Фомина Михаил Михайлович Шальнов Под ред. к.т.н., доцента Евгения Ивановича Яблочникова

#### Моделирование приборов, систем и производственных процессов

# Приложение I Методические рекомендации по лабораторному практикуму

В авторской редакции		
Зав. редакционно-издательским	Н.Ф. Гусарова	
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.9		
Подписано к печати 08.10.2008		
Отпечатано на ризографе	Тираж 100	Заказ № 1254

#### Редакционно-издательский отдел

Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

