

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

САПР РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.01
ББК 34.41
С75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «21» февраля 2023 г.,
протокол № 10

Составитель канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Рецензент ст. преподаватель Ю. С. Романович

Изложены цели, содержание и порядок выполнения лабораторных работ
для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехни-
ка» очной формы обучения.

Учебное издание

САПР РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ № .

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Основы работы в САПР	5
2 Лабораторная работа № 2. Интерфейс и настройки САПР	6
3 Лабораторная работа № 3. Моделирование в Компас-3D	8
4 Лабораторная работа № 4. Токарная обработка в Компас-3D	10
5 Лабораторная работа № 5. Выполнение фрезерных операций в Компас-3D	12
6 Лабораторная работа № 6. Анимация движения механизма в Компас-3D	13
7 Лабораторная работа № 7. Прочностной анализ в Компас-3D	15
8 Лабораторная работа № 8. Моделирование в SolidWorks	17
9 Лабораторная работа № 9. Токарная обработка в SolidCAM.....	19
10 Лабораторная работа № 10. Фрезерная обработка в SolidCAM.....	20
11 Лабораторная работа № 11. Анализ движения в SolidWorks	22
12 Лабораторная работа № 12. Прочностной анализ в SolidWorks	24
13 Лабораторная работа № 13. Прочностной анализ в Ansys	25
14 Лабораторная работа № 14. Моделирование в NX.....	28
15 Лабораторная работа № 15. Токарная и фрезерная обработка в NX.....	30
16 Лабораторная работа № 16. Анализ движения в NX.....	34
17 Лабораторная работа № 17. Прочностной анализ в NX.....	35
18 Лабораторная работа № 18. Симуляционное моделирование движения в MSC.ADAMS	39
Список литературы	41

Введение

Методические рекомендации составлены в соответствии с рабочей программой по курсу «САПР робототехнических систем» для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» очной формы обучения.

Целью изучения дисциплины является подготовка на основе теоретических знаний в области построения САПР специалистов, владеющих современными методами автоматизации проектирования робототехнических систем и технологических процессов, средствами автоматизации производства с применением электронно-вычислительной техники для решения актуальной проблемы машиностроения – сокращение сроков, трудоемкости и повышения качества технологической подготовки производства.

Процесс автоматизированного проектирования исключает индивидуальные ошибки проектировщиков и конструкторов, непродуманность конструкции и обеспечивает учет не только прошлого опыта, но и новых тенденций развития данной области техники.

Система автоматизированного проектирования – организационно-техническая (человеко-машинная) система. В ней объединены средства методического, организационного, информационного, программного и технического обеспечения. Принцип построения системы блочно-модульный (например, блок кинематического анализа, модуль прочностного расчета, блок построения и исследования динамических характеристик и т. п.) [1].

В методических рекомендациях в краткой форме изложены цель, содержание и порядок выполнения лабораторных работ.

Отчет по лабораторной работе содержит: цель, выполненное задание, выводы.

Целью методических рекомендаций является помощь студентам для самостоятельной подготовки к лабораторным занятиям по дисциплине «САПР робототехнических систем».

1 Лабораторная работа № 1. Основы работы в САПР

Цель работы: ознакомление с основами работы в САПР.

Теоретические основы

Основные элементы интерфейса AutoCAD предназначены для работы в системе. Панель быстрого доступа, на которой расположены часто используемые команды для работы с чертежами (Сохранить, Новый и т. д.). На данную панель можно добавлять любые команды на усмотрение пользователя. Строка состояния содержит функции точности построения, а также инструменты для работы с масштабом, аннотациями и привязками. Видовой куб представляет собой переключатель между 3D-видами. На вкладках ленты находятся все основные инструменты для работы.

Объектная привязка позволяет строить новые точки на чертеже, привязываясь к характерным точкам существующих объектов или относительно них. Все режимы объектной привязки могут быть использованы в любой комбинации из раскрывающегося списка.

Размер – это особая конструкция, которая содержит следующие составные элементы: размерную линию, стрелки, выносные линии, размерный текст и т. д.

Порядок выполнения работы

Создать рамку с основной надписью листа формата А3 (297 × 420 мм) [2].

1 Запускаем инструмент «Прямоугольник» (Рисование – Прямоугольник) или нажимаем на пиктограмму на панели «Рисование». Размеры прямоугольника вводим набором с клавиатуры. Для переключения между полями используем запятую или клавишу «Tab».

2 Аналогично строим рамку чертежа и границу основной надписи чертежа. В полученном поле листа рисуем основную рамку чертежа.

3 Строим таблицу основной надписи чертежа, используя координаты вершин и длины сторон прямоугольников.

4 Производим построение внутренних линий таблицы, воспользовавшись инструментом «Отрезок» (Рисование – Отрезок).

5 Используя инструмент «Отрезок», строим недостающие линии рамки основной надписи чертежа. Размеры полей выполняем в соответствии с ГОСТ 2.104–2006.

6 Используя инструмент «Выделить рамкой», выделяем все линии основной надписи чертежа. Затем, используя падающее меню, устанавливаем вес линий 1 мм. Аналогично изменяем толщину тонких линий основной надписи, назначив им вес 0,5 мм.

7 Для заполнения полей основной надписи используем инструмент «Многострочный» (Рисование – Текст – Многострочный) или нажимаем на пиктограмму «А» на панели «Рисование». Для редактирования введенного текста дважды щелкаем по нему левой кнопкой мыши, выделяем фрагмент для редак-

тирования и устанавливаем требуемые параметры. Если текст по длине не помещается в ячейку, то нужно воспользоваться полем «Степень сжатия». Заполняем остальные блоки таблицы в соответствии с рисунком 1.1.

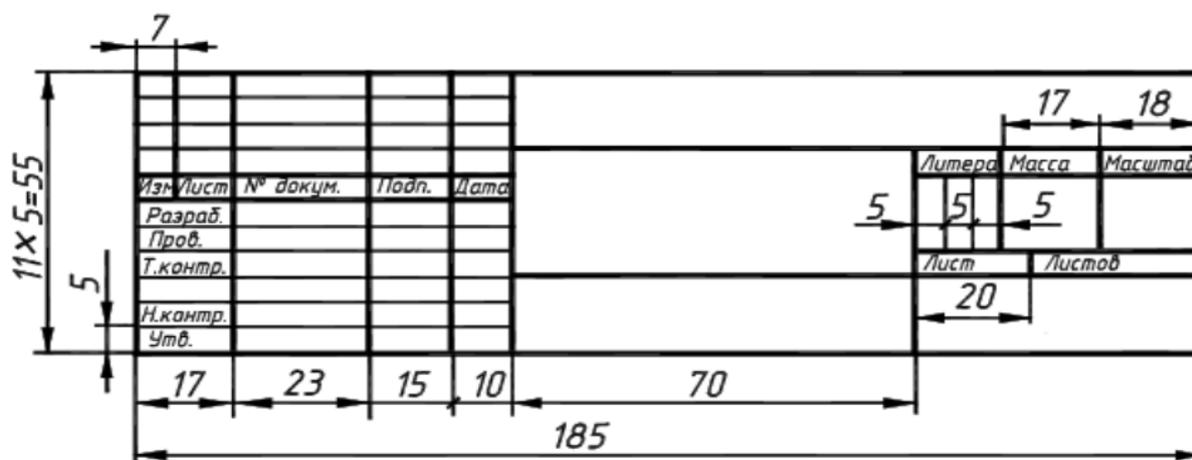


Рисунок 1.1 – Основная рамка чертежа ГОСТ 2.104–2006

8 Сохраняем чертеж рамки с основной надписью в качестве шаблона чертежа (формат *.dwt). Для этого необходимо выполнить Файл – Сохранить как – Шаблон чертежа AutoCAD.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как настроить размерный стиль в AutoCad?
- 2 Как настроить слои в AutoCad?
- 3 Перечислите основные примитивы в AutoCad.
- 4 Что такое ассоциативный размер?
- 5 Как нанести линейный размер в AutoCAD?
- 6 Как нанести угловой размер в AutoCAD?
- 7 Как нанести допуски в AutoCAD?

2 Лабораторная работа № 2. Интерфейс и настройки САПР

Цель работы: ознакомление с интерфейсом программы, меню, панелями, настройкой параметров.

Теоретические основы

Главный экран Компас-3D приведен на рисунке 2.1.

Заголовок содержит название, номер версии системы, имя текущего документа, кнопку системного меню, а также кнопки управления окном системы.

Главное меню служит для вызова команд системы. Состав Главного меню зависит от типа текущего документа и режима работы системы [3].

Инструментальные панели содержат кнопки вызова команд системы.

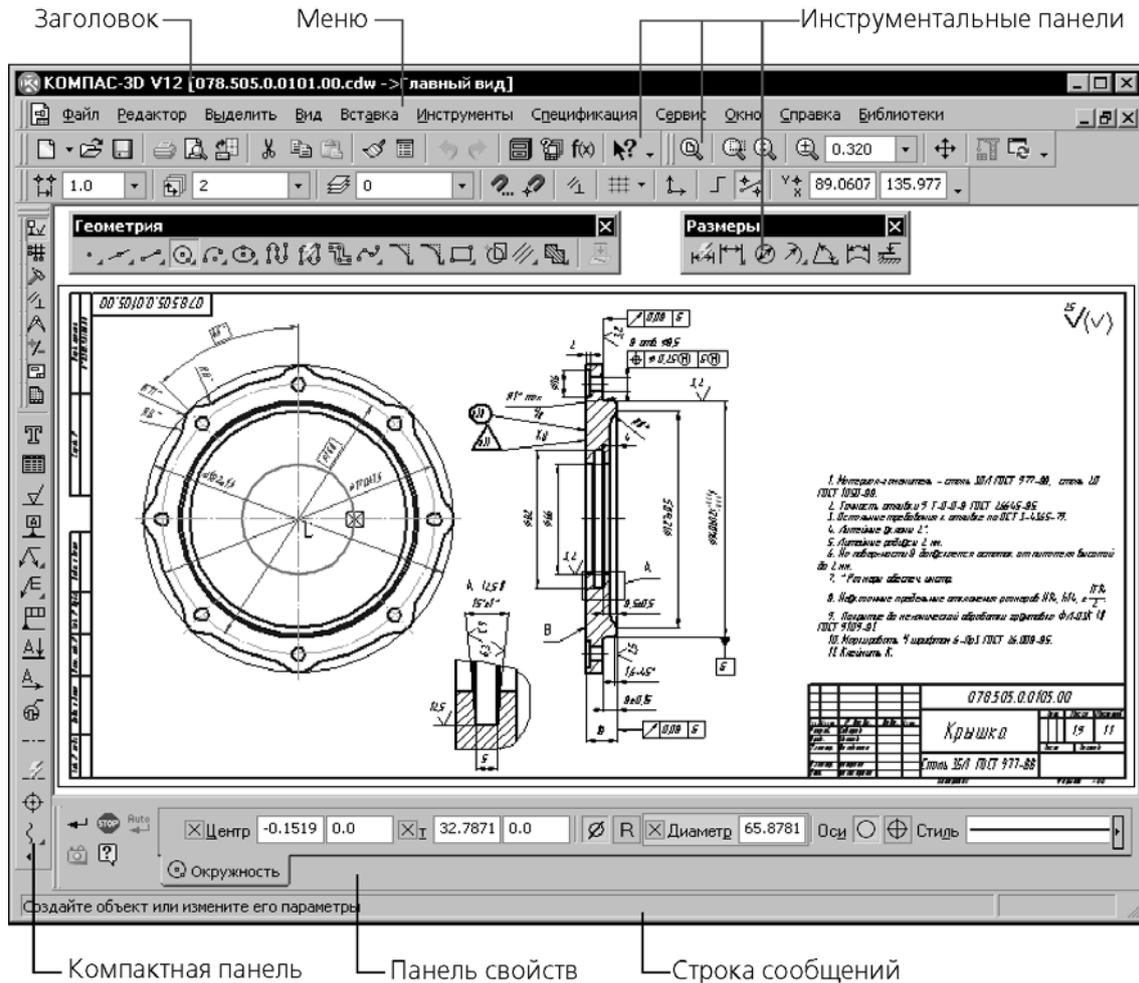


Рисунок 2.1 – Главный экран Компас-3D

Компактная панель содержит несколько инструментальных панелей и кнопки переключения между ними. Состав компактной панели зависит от типа активного документа.

Окно переменных служит для работы с переменными и выражениями.

Менеджер библиотек служит для работы с Компас-библиотеками.

Панель свойств служит для настройки объекта при его создании или редактировании.

Строка сообщений содержит сообщения системы, относящиеся к текущей команде или элементу рабочего окна, на который указывает курсор.

Дерево документа отражает порядок создания модели (чертежа) и связи между ее элементами и компонентами. Может располагаться только внутри окна документа.

Чтобы приступить к настройке интерфейса, вызовите команду Сервис – Настройка интерфейса. На экране появится настроечный диалог с раскрытым разделом Экран – Настройка интерфейса. Раздел содержит следующие пункты:

команды; панели инструментов; утилиты; клавиатура; меню; параметры; размер значков.

Компас-3D позволяет настроить цвета, используемые для отображения документов на экране. Чтобы настроить цвет фона для графических, текстовых документов и спецификаций, вызовите команду Сервис – Параметры ... – Система – Экран – Фон рабочего поля. В появившемся диалоге вы можете задать цвет фона документов и цвет фона редактирования текста. Цвет фона редактирования текста – это цвет, на котором отображаются во время создания и редактирования следующие объекты: текст и таблицы на чертеже, надписи, входящие в состав обозначений, таблицы в текстовом документе, объекты спецификации.

В Компас-3D используется стандартная метрическая система мер. По умолчанию единица измерения длины – миллиметр.

В Компас-3D пользователь всегда оперирует реальными размерами объектов (в масштабе 1:1), а размещение изображения на чертеже нужного формата выполняется путем выбора подходящего масштаба вида.

При расчете массоинерционных характеристик можно управлять представлением результатов, назначая нужные единицы измерений (килограммы или граммы – для массы; миллиметры, сантиметры, дециметры или метры – для длины).

Порядок выполнения работы

Выполнить настройку интерфейса (по заданию преподавателя):

- настроить цвет фона;
- назначить другую единицу измерения.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Для чего служит Главное меню?
- 2 Как выполнить настройку интерфейса?
- 3 Как изменить цвет фона для графических документов?
- 4 Как изменить единицы измерения?

3 Лабораторная работа № 3. Моделирование в Компас-3D

Цель работы: изучить операции по созданию твердотельных моделей.

Теоретические основы

Элемент выдавливания образуется путем перемещения сечения по прямой линейной направляющей в одну или в обе стороны на заданное расстояние. Например, на рисунке 3.1, а показан элемент, образованный выдавливанием эскиза в направлении, перпендикулярном его плоскости.

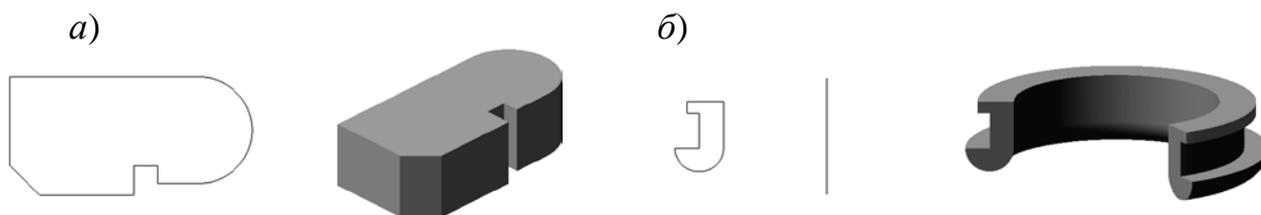


Рисунок 3.1 – Операция выдавливания эскиза

Элемент выдавливания может быть самостоятельным телом, а может быть приклеен к телу или вырезан из него [3].

Для создания нового тела выдавливания или приклеивания элемента выдавливания к имеющемуся телу (т. е. для добавления материала) служит операция «Элемент вдавливания», а для вырезания элемента выдавливания из тела (т. е. для удаления материала) – операция «Вырезать выдавливанием».

В качестве сечения элемента выдавливания может использоваться грань, эскиз, ребро или пространственная кривая.

Элемент вращения образуется путем поворота сечения вокруг оси в одну или в обе стороны на заданный угол. Например, на рисунке 3.1, б показан элемент, образованный поворотом эскиза на 270° вокруг оси, лежащей в его плоскости.

Элемент вращения может быть самостоятельным телом, а может быть приклеен к телу или вырезан из него.

Для создания нового тела или приклеивания элемента вращения к имеющемуся телу (т. е. для добавления материала) служит операция «Элемент вращения», а для вырезания элемента вращения из тела (т. е. для удаления материала) – операция «Вырезать вращением».

В качестве сечения элемента вращения может использоваться грань, эскиз, ребро или пространственная кривая.

Порядок выполнения работы

На базе эскиза, приведенного на рисунке 3.2, построить модель вала.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как создать элемент выдавливания?
- 2 Для чего служит команда «Вырезать выдавливанием»?
- 3 Укажите параметры команды выдавливания.
- 4 Какие команды применяются для построения элемента вращения?
- 5 Что можно использовать в качестве сечения элемента вращения?

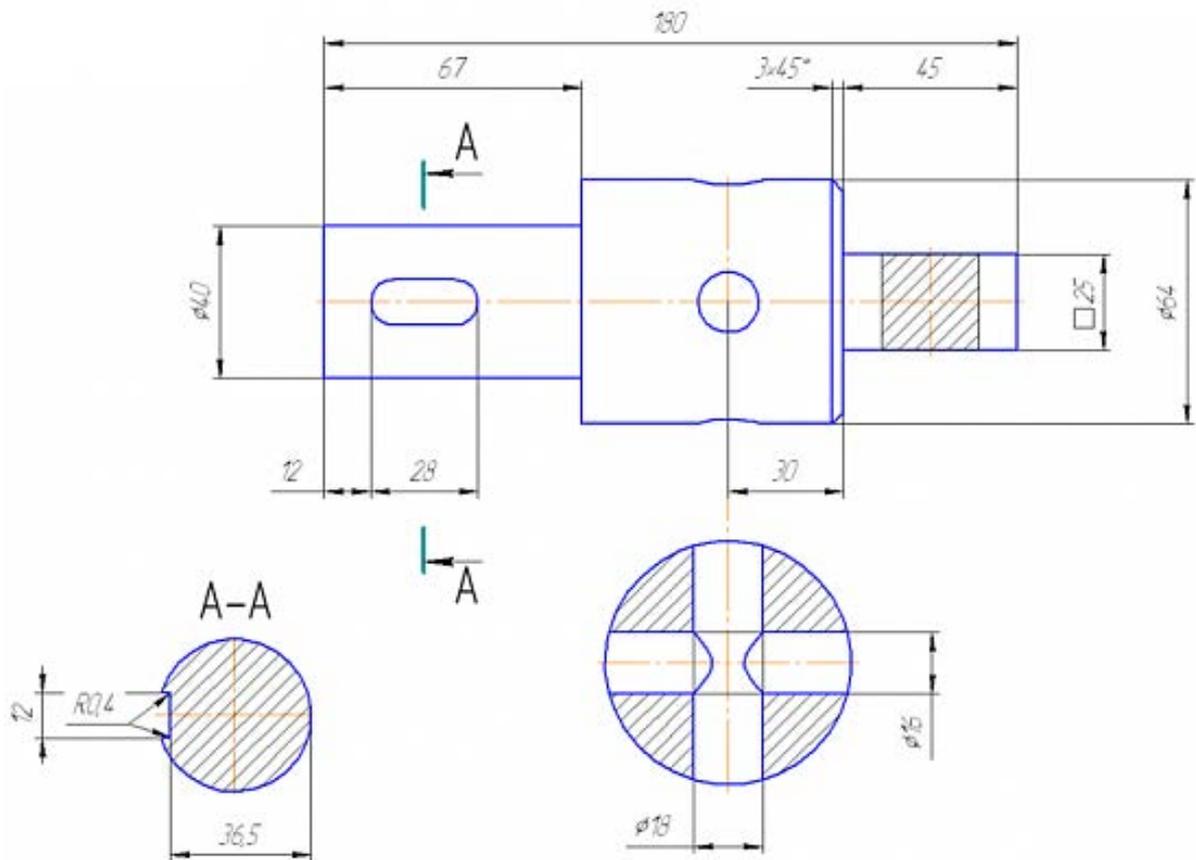


Рисунок 3.2 – Эскиз вала

4 Лабораторная работа № 4. Токарная обработка в Компас-3D

Цель работы: освоить выполнение токарных операций в среде Компас-3D («Модуль ЧПУ. Токарная обработка»).

Теоретические основы

Последовательность операций и переходов обработки разрабатывают в САМ-приложении Компас-3D «Модуль ЧПУ. Токарная обработка». Такую последовательность называют «Планом токарной обработки». «План токарной обработки» составляют для каждого установка заготовки при обработке на станке. В пределах одного плана используется одна система координат и один и тот же постпроцессор, который выбирают в начале составления операционной технологии.

Для создания управляющей программы обработки необходимо привязать к детали координатную систему, которую используют для определения положения детали в координатной системе станка. Для этого нажимают вкладку «Локальная система координат» – ЛСК и выбирают способ построения (вкладка «Способ») «По объекту», в качестве которого курсором указывают торец детали. При необходимости можно выполнять перенос и поворот координатных

осей созданной системы координат, используя динамические маркеры этой системы или вкладки меню рядом с ними в графической области САМ.

Для программирования обработки следует указать нулевую точку программы, которую привязывают к ранее построенной локальной системе координат. Нажимают вкладку «Система ЧПУ», затем в качестве нулевой точки указывают начало созданной ранее системы координат (ЛСК 1), из доступных систем ЧПУ станков выбирают требуемую.

Для создания заготовки используют вкладку «Заготовка, инструменты». В раскрывшемся меню «Контур заготовки» во вкладке «Способ задания заготовки» доступно четыре варианта её создания: «По эскизу», «По модели», «Открыть модель заготовки», «Прокат».

Затем в том же меню раскрывают вкладку «Таблица инструментов». В каждую строку появившейся таблицы записывают наименования режущих инструментов в соответствии с последовательностью их участия в обработке поверхностей заготовки в каждом установе.

При обработке заготовки используются различные инструменты и для их безопасной смены и подхода к зоне обработки необходимо задать исходную точку.

Выполняют выбор приспособлений для обработки.

Затем раскрывают вкладку «Зона безопасности», которая обеспечит безопасное перемещение инструмента относительно заготовки при выполнении вспомогательных перемещений. Задают значения X и Z, чтобы они располагались за пределами заготовки и получают отображение плоскостей безопасности в графической части системы.

Закрывают вкладку «Заготовка. Инструменты» и переходят к операционной технологии обработки заготовки в первом установе. Доступны для программирования следующие виды обработки: сверление, нарезание резьбы резцом, нарезание резьбы плашкой, многопроходная (для продольного точения и подрезания торцов), контур (для чистового однопроходного точения контура), отрезка, канавка и др.

Порядок выполнения работы

Выполнить токарную обработку вала, построенного в ходе выполнения лабораторной работы № 3.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие виды токарной обработки можно применить в «Модуль ЧПУ. Токарная обработка»?
- 2 Как выбирается станочная база и базируется деталь в приспособлении?
- 3 Как задаются заготовка и инструменты в «Модуль ЧПУ. Токарная обработка»?

5 Лабораторная работа № 5. Выполнение фрезерных операций в Компас-3D

Цель работы: освоить выполнение операций фрезерования в среде Компас-3D («Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка»).

Теоретические основы

«Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка» – САМ-приложение, интегрированное в систему трехмерного моделирования Компас-3D. Приложение предназначено для программирования 3-координатной обработки на фрезерных станках с ЧПУ.

Приложение позволяет сформировать план обработки начиная с выбора постпроцессора, заготовки, инструмента и приспособлений, заканчивая генерацией управляющей программы с помощью постпроцессора.

Все операции выполняются в рабочем пространстве системы Компас-3D с использованием элементов ее интерфейса. Автоматически распознаются элементы обработки по 3D-модели, что облегчает формирование трехмерной области обработки. Распознаются такие элементы, как карманы, сквозные пазы, отверстия, фаски. Реализовано автоматическое определение зон остаточного материала от предыдущих обработок на Z-уровнях. Определяется остаточный материал в углах или в местах области обработки, где фреза не прошла по диаметру. В качестве опорных элементов можно использовать грани и ребра модели, трехмерные кривые и кривые в эскизе. В случае изменения модели приложение изменит и программу для станка с ЧПУ.

Поддерживаемые стратегии фрезерной обработки:

- фрезерование на Z-уровнях – фрезерование карманов и пазов с разбивкой области обработки на горизонтальные уровни. На каждом уровне формируется траектория обработки с возможностью применения трех схем: эквидистантная, зигзаг, строчка;

- фрезерная доработка на Z-уровнях – удаление остаточного материала после фрезерования на Z-уровнях;

- плоскость – фрезерование горизонтальных плоскостей (частный случай фрезерования на Z-уровнях);

- контур – обработка вдоль трехмерного контура. Стратегию можно использовать также для выбора траектории, заданной вручную (например, нарисованной в эскизе или построенной трехмерными кривыми), в том числе и для 3-координатной обработки;

- обработка отверстий – обработка одного или нескольких отверстий, а также круглых колодцев;

- нарезание резьбы в отверстиях.

Порядок выполнения работы

Выполнить фрезерную обработку вала, построенного в ходе выполнения лабораторной работы № 3.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как задать сверление глухого отверстия в «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка»?
- 2 Какие виды фрезерования можно применить при обработке паза в «Модуль ЧПУ. Фрезерная обработка»?
- 3 Как выбирается станочная база и базируется деталь в приспособлении?
- 4 Как посмотреть управляющую программу в приложении «Модуль ЧПУ: Фрезерная обработка»?

6 Лабораторная работа № 6. Анимация движения механизма в Компас-3D

Цель работы: получение практических навыков работы с анимацией движения механизма в Компас-3D.

Теоретические основы

В режиме сборки при создании анимации к компонентам можно применять следующие действия:

- перемещение элемента или элементов сборки по траектории, которую можно задать с помощью 3D-сплайнов и 3D-ломанных;
- вращение компонента вокруг осей;
- управление прозрачностью элемента;
- использование переменных;
- создание траектории любой точки.

Для режима перемещения и вращения в отдельном диалоге могут задаваться такие параметры, как направление, скорость, время.

Режимы анимации Перемещение и Вращение могут быть применены в сборках над деталями и подсборками. Если в сборке присутствует подсборка, то применить какое-либо действие к ее компонентам невозможно, только к самой подсборке, потому что фактически все детали этой подсборки считаются зафиксированными.

Библиотека анимации вызывается нажатием кнопки «Менеджер библиотек» и находится в разделе «Прочие».

Пункт Возврат в исходное состояние возвращает модель после очередной визуализации в исходное состояние, т. е. все исключенные сопряжения включаются в расчет, тем самым возвращая компоненты в исходные точки с наложенными между ними связями. Вручную снова накладывать сопряжения очень долго, поэтому таким способом не только возвращается начало сценария, но и сама сборка возобновляет все связи и перестраивается в исходное положение.

Порядок выполнения работы

Рассмотрим простейший пример анимации – перемещение шайбы вдоль оси болта [4]. Перед тем как приступить к созданию сценария анимации, необходимо создать сопряжения данных элементов, а также построить траекторию перемещения шайбы.

Для начала вставляем в сборку в начало координат элемент «Болт М8×16g×35 ГОСТ 7798–70», чтобы он сразу зафиксировался. Далее вставляем в сборку элемент «Шайба С.8.37 ГОСТ 11371–78» и настраиваем связи. Два элемента должны быть соосны. Можно также связать эти детали совпадением соответствующих плоскостей, чтобы шайба не вращалась относительно оси болта. Лишим шайбу всех степеней свободы, создав сопряжение на расстоянии от шляпки болта равное 40 мм. В контексте сборки построим эскиз с отрезком, который начинается от проекции одной из граней шайбы длиной заведомо больше, чем расстояние сопряжения на расстоянии. Это делается для того, чтобы в дальнейшем продемонстрировать, как работает функция соударения компонентов.

Следующий этап – добавление компонента, который будет подвергаться перемещению. В меню Компоненты и переменные выбираем пункт Добавить компоненты – В дереве сборки. Выбираем в дереве построения шайбу (элемент в окне сборки подсвечивается красным цветом). Также элемент можно выбрать в окне модели, нажав, к примеру, на любую из его граней. Шайба появляется в дереве анимации в соответствующем шаге.

Чтобы построить траекторию, необходимо выделить в дереве анимации шайбу (в окне сборки она подсвечивается желтоватым цветом) и войти в меню Параметры. Выбираем пункт Добавить траекторию – В дереве сборки и указываем в окне сборки левой клавишей мыши отрезок. В появившемся диалоговом окне настраиваем направление (прямое или обратное), скорость перемещения или время, за которое шайба должна пройти данный путь.

Как уже упоминалось ранее, в этом примере можно описать функцию соударения компонентов при движении. Для этого в меню Соударения выбираем пункт Выбрать компоненты и в дереве построения или окне сборки указываем шайбу и болт. В меню Анимация – Настройки необходимо включить опцию Останавливать при соударении. После запуска анимации, как только шайба коснется шляпки болта, сборка выделяется красным цветом и анимация останавливается, что указывает на соударение компонентов. Это частный случай, когда специально было сделано преднамеренное превышение пути перемещения. В реальности такая функция носит более значимый характер – она служит для выявления коллизий при взаимном движении узлов и деталей в механизмах машин.

Для воспроизведения анимации воспользуемся меню Воспроизведение.

Для анимации вращения потребуется всего один шаг. В данном примере необходимо добавить в дерево анимации компонент «Коленчатый вал» и выбрать ось вращения. Для этого требуется зайти в меню Параметры и выбрать пункт Вращение – Ось вращения – В дереве сборки.

В функционале Компас-3D, помимо позиционирующих сопряжений, присутствуют сопряжения механической связи: вращение – вращение, вращение – перемещение, кулачок – толкатель. Перемещение компонентов между собой происходит с учетом ограничений, налагаемых позиционирующими сопряжениями. Данные сопряжения позволяют немного увеличить потенциал операций вращающего и перемещающего при создании анимации.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Для чего используется анимация в Компас-3D?
- 2 Какие действия можно применить к компонентам сборки при создании анимации?
- 3 Как применить в сборке эффект вращения?
- 4 Какие применяются сопряжения механической связи для анимации?

7 Лабораторная работа № 7. Прочностной анализ в Компас-3D

Цель работы: изучить операции и команды по проведению прочностного анализа в Компас-3D.

Теоретические основы

Библиотека «APR FEM» позволяет выполнять прочностные расчеты деталей и сборок – она создает карты напряжений, нагрузок, деформации и распределения температур в изделии, позволяет оценить его собственные частоты колебаний. При этом можно изменять способы закрепления изделия, задавать различные нагрузки, ускорения и температуры для его компонентов.

Порядок выполнения работы

Необходимо создать 3D-модель кронштейна, загрузить полученную модель, получить эпюру напряжений и определить возможность разрушения кронштейна [5].

Построение 3D-модели кронштейна начинается с построения эскиза угольника 63 × 32 мм с толщиной стенок 7 мм, который выдавливается на глубину 40 мм. На фронтальной поверхности угольника выдавливается бобышка высотой 18 мм и диаметром 30 мм, центр которой находится на расстоянии 50 мм от основания угольника. В бобышке вырезается сквозное отверстие диаметром 22 мм (рисунок 7.1, а).

Далее задается материал кронштейна. Для этого в дереве модели выбираем «Деталь» и нажимаем правую кнопку мыши – в открывшемся меню выбираем пункт «Свойства модели». В появившейся внизу панели свойств выбираем «Параметры МЦХ» – «Материал» – «Выбрать материал из списка». Из списка материалов выбираем сталь 40.

Запускается модуль прочностного анализа: «Менеджер библиотек» – папка «Расчет и построение» – «АРМ FEM: прочностной анализ».

Закрепление детали осуществляется с помощью кнопки . После ее нажатия надо указать базовую грань кронштейна, по которой происходит его фиксация (отмечается зелеными стрелками).

а)

б)

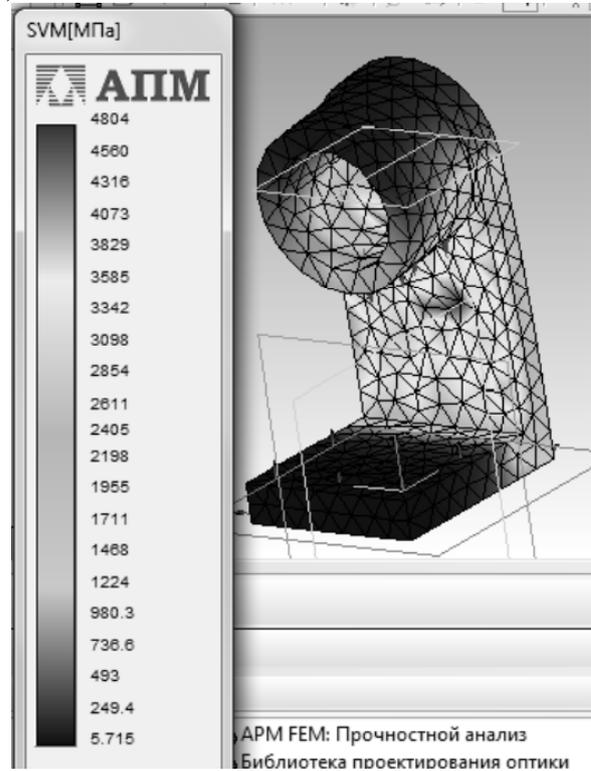


Рисунок 7.1 – Исследуемый кронштейн

К нижней части отверстия прикладывается распределенная сила. Для этого нужно нажать одноименную кнопку и в панели свойств указать только составляющую силы, направленную по оси, перпендикулярной основанию кронштейна (ось z), и равную 200 Н. Если нагрузка задана правильно, на модели появятся красные стрелки, направленные вниз.

Нажав кнопку «Разбиение и расчет» нужно выбрать пункт «Генерация сетки» и запустить моделирование кнопкой «Расчет». В окне выбора типа расчета указать «Статический расчет». Для правильного расчета нужно, чтобы на каждую грань детали приходилось не менее пяти элементов сетки.

Посмотреть результат можно, нажав кнопку «Результаты» – «Карта результатов» и выбрав из появившегося меню тип эпюры «Напряжения» (рисунок 7.1, б). Из эпюры видно, что в некоторых точках кронштейна напряжения превышают 4200 МПа. Предел прочности стали марки 40 не превышает 580 МПа. Следовательно, кронштейн не выдерживает приложенную нагрузку.

На рисунке 7.2 приведены задания для самостоятельной работы.

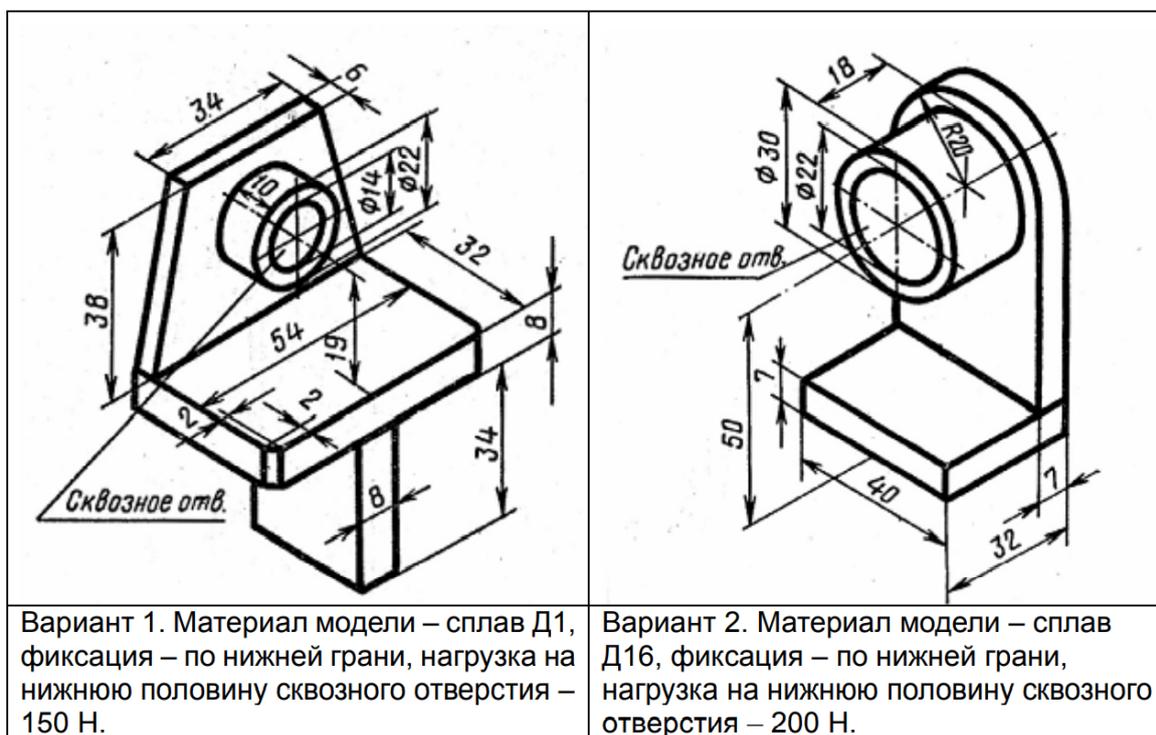


Рисунок 7.2 – Задания для самостоятельной работы

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как задать грани и поверхности модели, по которым будет осуществляться ее фиксация?
- 2 Как задать поверхности модели, на которые будет действовать нагрузка?
- 3 Как сгенерировать сетку для анализа модели?
- 4 Как получить пространственную эпюру распределения напряжений?

8 Лабораторная работа № 8. Моделирование в SolidWorks

Цель работы: получение практических навыков моделирования в SolidWorks.

Теоретические основы

Система трехмерного проектирования SolidWorks предназначена для создания конструкторской и технологической документации. В данной системе возможно создание трехмерных моделей деталей, сборочных единиц и рабочих чертежей.

При запуске SolidWorks по умолчанию открывается среда разработки. Для создания новой детали, сборки или чертежа необходимо воспользоваться командой «Файл – Создать» либо кнопкой «Создать».

После создания детали на экране отображается поле для проектирования, с левой стороны поля изображается дерево проектирования. В модели новой

детали в дереве проектирования доступны для работы плоскости «Спереди», «Сверху», «Справа», а также исходная точка, расположенная в центре модели.

Для создания эскизов следует выбрать одну из доступных плоскостей, щелкнув на плоскости в дереве проектирования левой клавишей мыши. Создание нового эскиза осуществляется при помощи команды «Вставка – Эскиз» либо при помощи кнопки «Эскиз». Во время нахождения в режиме эскиза становятся доступными команды создания и редактирования элементов эскиза «Линия», «Дуга», «Окружность», «Сплайн», «Прямоугольник», «Точка», «Осевая линия», «Преобразование объектов», «Зеркальное отражение», «Скругление», «Фаска», «Смещение объектов», «Отсечь», «Вспомогательная геометрия», «Прямоугольный массив», «Круговой массив».

Для создания простых трехмерных объектов следует воспользоваться командой «Вытянутая бобышка/основание». Данная команда позволяет на основании эскиза построить твердотельное изображение элемента, сечение которого определяется эскизом. Эскиз должен быть замкнут, линии эскиза не должны пересекаться.

Для редактирования эскиза необходимо выбрать в дереве проектирования соответствующий элемент и нажать правую клавишу мыши, выбрать из контекстного меню команду «Редактировать эскиз».

Эскизы можно создавать не только на плоскостях дерева проектирования, но и на плоских поверхностях твердотельных изображений деталей.

Для построения изображений необходимо использовать команды работы с эскизами и трехмерными моделями, такие как зеркальное отражение, скругление, фаска, смещение, отсечь, удлинить, прямоугольный и круговой массив.

Рисование прямоугольника:

- нажмите на Corner Rectangle (Угловой прямоугольник) на панели инструментов «Sketch» (Инструменты эскиза);

- нажмите на исходную точку эскиза, чтобы начать рисование прямоугольника и переместите указатель вверх и вправо, чтобы создать прямоугольник, нажмите еще раз кнопку мыши, чтобы закончить рисование прямоугольника.

Добавление размеров:

- нажмите кнопку Smart Dimension (Автоматическое нанесение Размеров) на панели инструментов «Dimensions / Relations» (Размеры/взаимосвязи);

- нажмите на текстовую область над линией, где указан размер. Появится диалоговое окно Modify (Изменить). Введите требуемый размер.

Изменение значений размеров: дважды нажмите на редактируемый размер. Появится диалоговое окно Modify (Изменить).

Порядок выполнения работы

Построить твердотельную модель по эскизу на рисунке 8.1. Толщину детали задать самостоятельно.

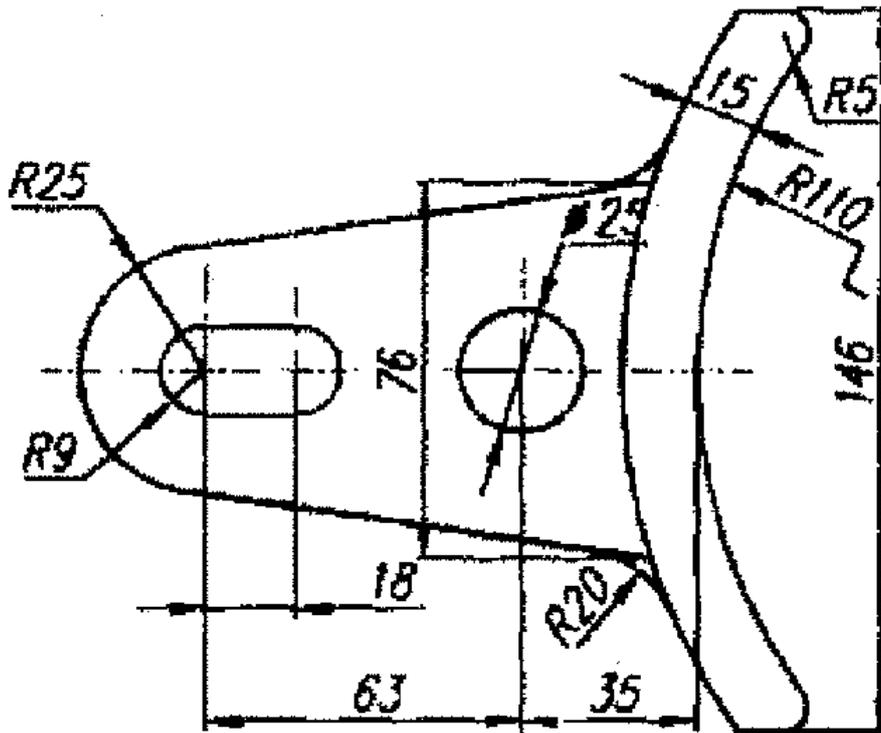


Рисунок 8.1 – Задание для самостоятельного решения

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как создать новый эскиз?
- 2 Как отредактировать эскиз?
- 3 Как проставить линейный размер?
- 4 Как создать твердотельную модель методом вытягивания?
- 5 Какие требования к эскизу для создания элемента вращения?

9 Лабораторная работа № 9. Токарная обработка в SolidCAM

Цель работы: освоение выполнения операций торцового, наружного и внутреннего точения, а также нарезания резьбы и точения канавок в среде SolidCAM.

Теоретические основы

Для добавления нового токарного перехода щелкните правой кнопкой мыши по имени только что созданного перехода сверления в браузере SolidCAM Менеджер и выберите команду Точение из подменю Добавить.

С помощью этой операции вы можете проводить как продольное, так и торцевое точение.

Нажмите кнопку «Выбрать» в поле Геометрия для того, чтобы определить геометрию для обработки.

Теперь необходимо задать инструмент, который будет использован в текущей операции. Нажмите кнопку Режимы в поле Инструмент. Появится диалоговое окно Параметры резания.

Теперь необходимо задать технологические параметры обработки в диалоговом окне Переход точения. Переключитесь на вкладку Технология. Для задания основного направления обработки установите параметр Торцевое в поле Точение. Для задания стороны обработки установите параметр Спереди в поле Вид обработки. Установите Тип обработки – Контур.

Переключитесь на вкладку Уровни диалогового окна Переход точения. Задайте величину Безопасного расстояния, которая влияет на начальное и конечное положение инструмента и определяет безопасное расстояние от материала в начале и конце операции, на котором находится инструмент.

Нажмите кнопку Сохранение/Расчет. При этом будет рассчитана траектория движения инструмента.

Аналогично можно задать обработку наружного и внутреннего точения цилиндрических поверхностей, точения канавок.

Выбор технологических параметров нарезания резьбы.

Переключитесь на вкладку Технология. Установите тип Точения – Продольное; тогда продольное нарезание резьбы будет выполняться там, где ось Z является основным направлением обработки.

Для нарезания внутренней резьбы установите тип Резьбы. Задайте Тип обработки – Многопроходный; тогда нарезание резьбы будет проходить за несколько шагов. Установите Шаг резьбы в единицах Шаг / Дюйм.

Порядок выполнения работы

Выполнить токарную операцию для вала, чертеж которого приведен на рисунке 3.2.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как назначить технологические параметры точения?
- 2 Как выбрать инструмент для обработки?
- 3 Как назначить нарезание резьбы?

10 Лабораторная работа № 10. Фрезерная обработка в SolidCAM

Цель работы: ознакомление с выполнением операций фрезерования в среде SolidCAM.

Теоретические основы

Для запуска SolidCAM, нажать Инструменты в меню SolidWorks и выбрать SolidCAM – Новая – Фрезерование.

Выберите станок с ЧПУ. Щелкните по стрелке в области Станок ЧПУ, чтобы вывести на экран список постпроцессоров, установленных в Вашей системе.

Модель заготовки необходимо определить раньше, чем систему координат, поскольку последняя будет создана на основе заготовки. Начните создание заготовки нажатием на кнопку Заготовка в разделе Указать.

Система SolidCAM создает заготовку, имеющую форму параллелепипеда и описывающую модель с указанными допусками. В разделе Припуск на сторону задайте значение Z. Этот допуск будет использоваться при первом зажатии заготовки. Щелкните по твердотельной модели. Выделенная грань подсвечивается, отображается описывающий модель параллелепипед.

Нажмите на кнопку Ноль детали в области Указать, чтобы определить систему координат. На экран выводится диалоговое окно Ноль детали. В списке Выбор опций выберите вариант Задать.

В SolidCAM Менеджере, правой кнопкой Переходы и выбрать Обработка поверхности из подменю. Для обработки верхней грани будет использоваться переход типа Обработка поверхности.

На экран выводится диалоговое окно Геометрия поверхности. Используя выбранную по умолчанию опцию Модель. Нажмите на кнопку «Задать» в разделе Базовая геометрия и выберите грань трехмерной модели. В диалоговом окне Модифицировать геометрию поверхности определите отступ. На эту величину инструмент будет выходить за границы заготовки.

Выберите для выполнения этого перехода Торцевую фрезу и отредактируйте следующие параметры: длина до хвостовика; режущая часть.

Система SolidCAM позволяет определить различные держатели инструментов, что может быть полезно для проверки и предотвращения контактов между системой крепления инструмента и заготовкой.

Перейдите на страницу Уровни диалогового окна Переход обработки поверхности. Нажмите на кнопку Глубина для задания глубины прохода.

Перейдите на страницу Технология диалогового окна Переход обработки поверхности. В разделе Технология используйте выбранный по умолчанию вариант Растровая (линейная).

Перейдите на страницу Подвод/Отвод, при помощи которой можно определить параметры подвода и отвода инструмента от материала.

Нажмите на кнопку Визуализация в диалоговом окне Переход обработки поверхности. На экран выводится диалоговое окно Визуализация. Перейдите на вкладку SolidVerify и запустите визуализацию нажатием на кнопку «Старт».

Порядок выполнения работы

Выполнить фрезерную операцию для вала, чертеж которого приведен на рисунке 3.2.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как задать поверхность для обработки?
- 2 Как определить систему координат?
- 3 Как назначить инструмент для обработки?

11 Лабораторная работа № 11. Анализ движения в SolidWorks

Цель работы: получение практических навыков в проведении кинематического анализа в SolidWorks.

Теоретические основы

Для расчета движение компонента в SolidWorks Motion применяется полное кинематическое моделирование.

Исследования движения не изменяют модель сборки или ее свойства. Они моделируют и анимируют движение, указанное для модели. Можно использовать сопряжения SolidWorks для ограничения движения компонентов в сборке при моделировании движения модели.

Можно использовать анализ движения для точного моделирования и анализа движения сборки, принимая в расчет элементы исследования движения (включая силы, пружины, демпферы и трение).

Базовое движение можно использовать для создания примерных эффектов двигателей, пружин, конфликтов и притяжения в сборках. Basic Motion учитывает массу при расчете движения.

В результате анализа можно выполнить следующее.

1 Отследить траекторию движения точки в сборке:

- в исследовании Анализ движения нажмите Результаты и эпюры (панель инструментов MotionManager);
- в PropertyManager в разделе Результат в поле Категория выберите Перемещение / Скорость / Ускорение;
- в параметре Подкатегория выберите Путь отслеживания;
- выберите точку или вершину в сборке.

2 Создать эпюру линейного перемещения, скорости или ускорения движущейся детали при ее движении относительно другой детали или исходной точки сборки:

- в исследовании Анализ движения нажмите Результаты и эпюры (панель инструментов MotionManager);
- в PropertyManager в разделе Результат в поле Категория выберите Перемещение/Скорость/Ускорение;
- выберите Линейное перемещение / Поступательная скорость / Поступательное ускорение;

– в разделе Выбор результирующего компонента выберите параметр Компонент X, Компонент Y или Компонент Z для расчета величины результата в выбранном направлении;

– выберите одну грань детали или точку или вершину для расчета движения детали по отношению к исходной точке сборки.

3 Создать эпюру углового перемещения, скорости или ускорения детали при ее движении относительно другой детали или исходной точки сборки:

– в исследовании Анализ движения нажмите Результаты и эпюры (панель инструментов MotionManager);

– в PropertyManager в разделе Результат в поле Категория выберите Перемещение / Скорость / Ускорение;

– для параметра Подкатегория выберите Угловое перемещение / Угловая скорость / Угловое ускорение;

– в разделе Выбор результирующего компонента выберите Величина – вычисление величины вдоль результирующего вектора по отношению к глобальным координатам.

Порядок выполнения работы

Смоделируйте механизм (рисунок 11.1) и определите угловую скорость и ускорение всех звеньев (исходными данными задаться самостоятельно).

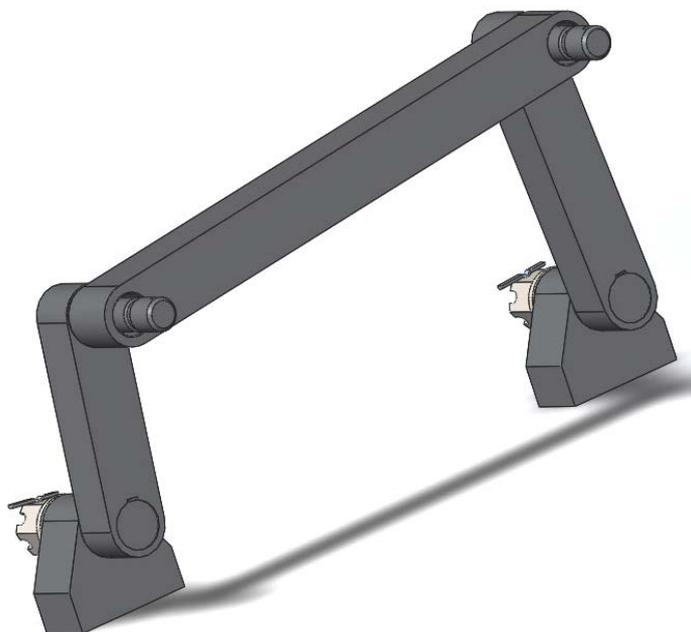


Рисунок 11.1 – Исследуемый механизм

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие задачи решаются в ходе кинематического анализа?
- 2 Как определить скорость точки при поступательном движении звена?
- 3 Как определить ускорение при вращательном движении звена?

12 Лабораторная работа № 12. Прочностной анализ в SolidWorks

Цель работы: приобретение навыков постановки и решения задачи исследования и оптимизации параметров изделия в среде SolidWorks.

Теоретические основы

В процессе формирования модели изделия проектировщик имеет возможность, используя, SolidWorks Simulation, оценить его свойства (массово-габаритные параметры, прочность, частотные характеристики и т. д.) не выходя за рамки среды проектирования.

Порядок выполнения работы

Используя компьютерное моделирование в SolidWorks, необходимо минимизировать массу зубчатого колеса (сателлита) планетарной цевочной передачи типа k-h-v.

Рассмотрим планетарную цевочную передачу типа k-h-v со следующими параметрами: число зубьев зафиксированного колеса (число цевок) $z_2 = 45$; число зубьев сателлита $z_1 = 36$; ширина сателлита $b = 2$ мм; модуль $m = 3$ мм, диаметр цевок $d_{\text{ц}} = 3$ мм; делительные диаметры $d_1 = 108$ мм, $d_2 = 135$ мм. Вращающий момент на сателлите задавался равным 20 Н·м.

Зададим условия оптимизации размеров отверстий на торце сателлита:

- в качестве переменных для оптимизации принимаем диаметр отверстий на торце сателлита (в диапазоне от 22 до 30 мм с шагом 2 мм), радиус окружности, на которой располагаются центра отверстий (в диапазоне от 24 до 34 мм с шагом 2 мм);

- в качестве ограничения установим, что эквивалентные напряжения, возникающие в зубе, должны быть меньше допускаемых, равных 620 МПа;

- цель оптимизации – максимизация величины перемещения зуба под нагрузкой (его деформируемости) при минимальных эквивалентных напряжениях.

Открываем панель типов исследований «Simulation – Исследование». Выбираем для первого приближения «Статическое».

На панели установок данного типа исследования указываем тип контактов компонентов, условия крепления элементов сборки, схему внешнего нагружения.

Результаты оптимизации приведены на рисунке 12.1.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие необходимы условия для решения задач оптимизации с использованием модуля SolidWorks Simulation?
- 2 Каков порядок задания ограничений?
- 3 На что влияют различные параметры модификации сетки?

4 Какие из параметров в наибольшей степени оказывают влияние на результат решения задачи?

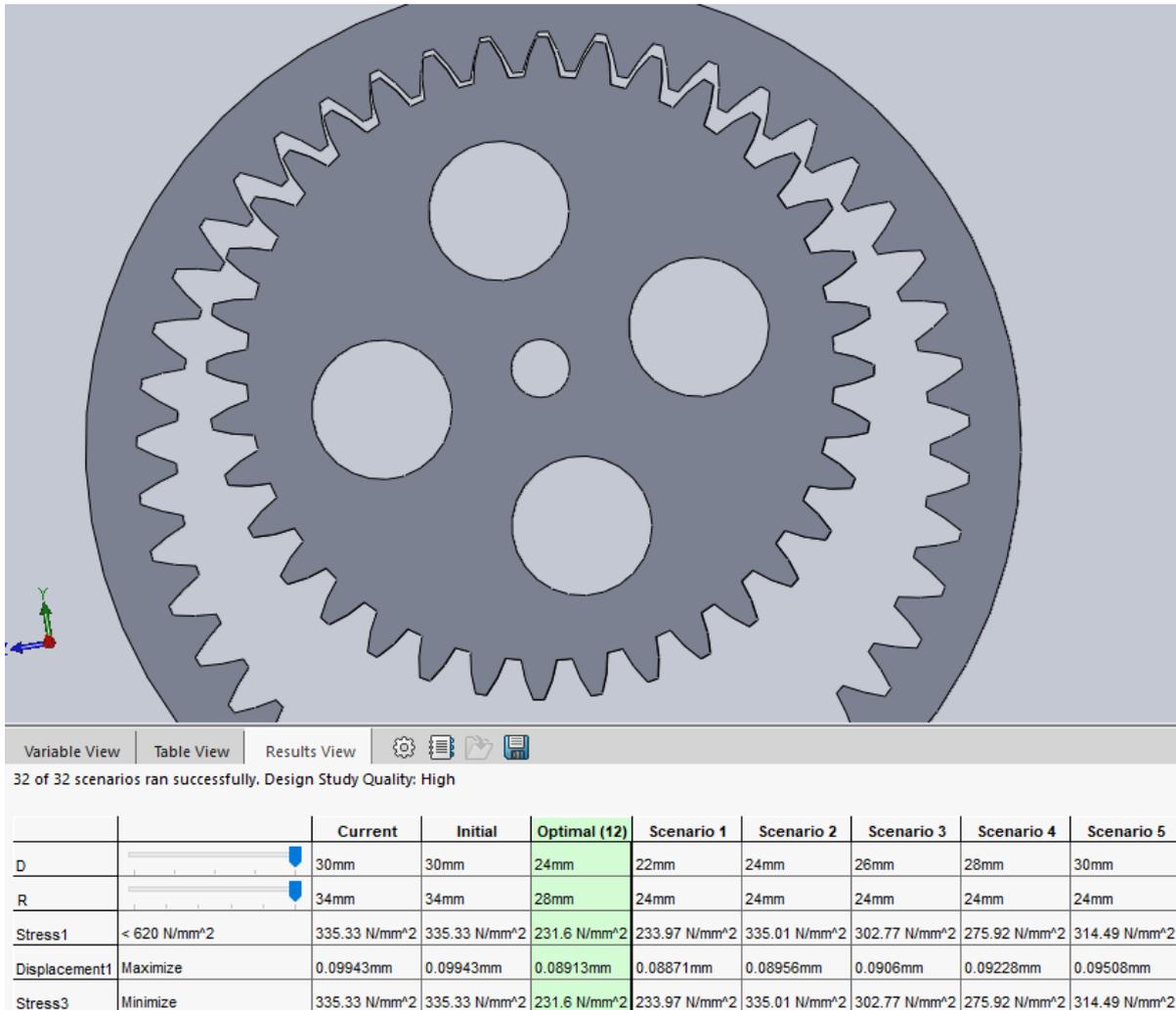


Рисунок 12.1 – Результаты оптимизации

13 Лабораторная работа № 13. Прочностной анализ в Ansys

Цель работы: приобрести навыки расчета на прочность в Ansys.

Теоретические основы

Метод конечных элементов заключается в том, что область исследования разбивается на конечное количество элементов. В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, и ограничивается только возможностями ЭВМ.

Порядок выполнения работы

Рассмотрим стержень болта, нагруженного только внешней растягивающей силой, подобным нагрузкам подвержены крюки грузоподъемных механизмов.

Запустить Static Structural.

Для изменения свойств материала, из которого изготовлена деталь, запустить Engineering Data. Устанавливаем параметры для материала – сталь 20: модуль Юнга – $2,13 \cdot 10^5$ МПа; предел прочности – 410 МПа; предел текучести при растяжении – 245 МПа.

Необходимо добавить модель исследуемого объекта. Сделать это можно двумя способами:

- 1) с помощью модуля Geometry и его средств из эскиза создать модель;
- 2) импортировать готовую модель из другой CAD-системы.

Наиболее простым и распространённым способом моделирования резьбовых соединений является создание модели без резьбы. Самой простой и быстрой для расчета моделью крепежного элемента может служить прямое цилиндрическое тело, реализованное в виде балочного элемента или же в твердотельной постановке. Диаметр цилиндрического тела должен быть равен внутреннему диаметру резьбы.

Заходим в модуль дерева проекта – Model.

Приступаем к генерации конечно-элементной сетки. Для этого переходим на вкладку Mesh. Выбираем тело, для которого будет построена сетка (в нашем случае, это стержень), нажимаем Apply, проверяем, чтобы в графе Method был выбран пункт Automatic. Конечно-элементная сетка будет сгенерирована. Если она будет слишком крупной, расчет может дать неверные результаты, поэтому можно поварьировать параметрами Element size.

Заходим в следующий модуль в дереве проекта – Static Structural.

Добавляем к модели граничные условия: силу Remote Force на один торец стержня и жесткую заделку Fixed support по другому торцу стержня (рисунок 13.1).

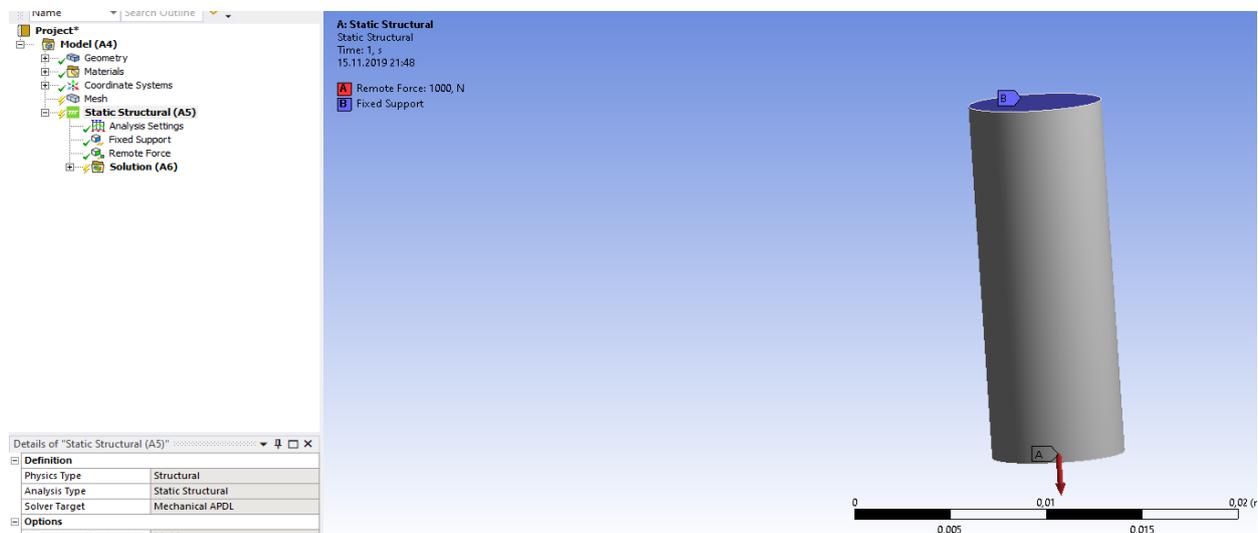


Рисунок 13.1 – Граничные условия и нагрузки

В раздел Solution добавляем результаты для визуализации: полные деформации (Total Deformation), напряжения (Equivalent Stress, Maximum Principal Stress, Normal Stress (вдоль оси вращения)). После этого нажимаем кнопку Solve и ждем окончания решения задачи. Полученные результаты приведены на рисунках 13.2 и 13.3. Для анализа напряжений и коэффициентов запаса прочности используем инструмент Probe и ставим его в точку на некотором расстоянии от заделки, где уровень напряжений выравнивается.

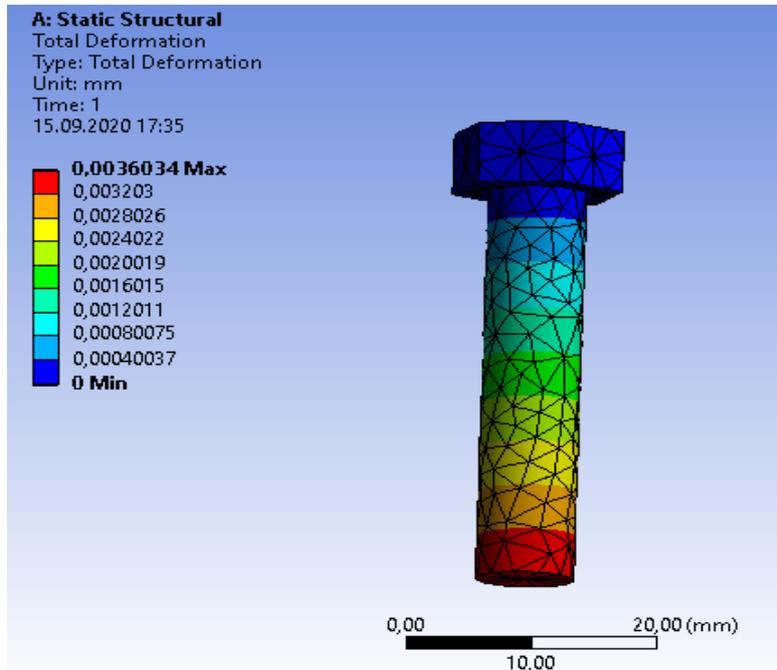


Рисунок 13.2 – Деформация

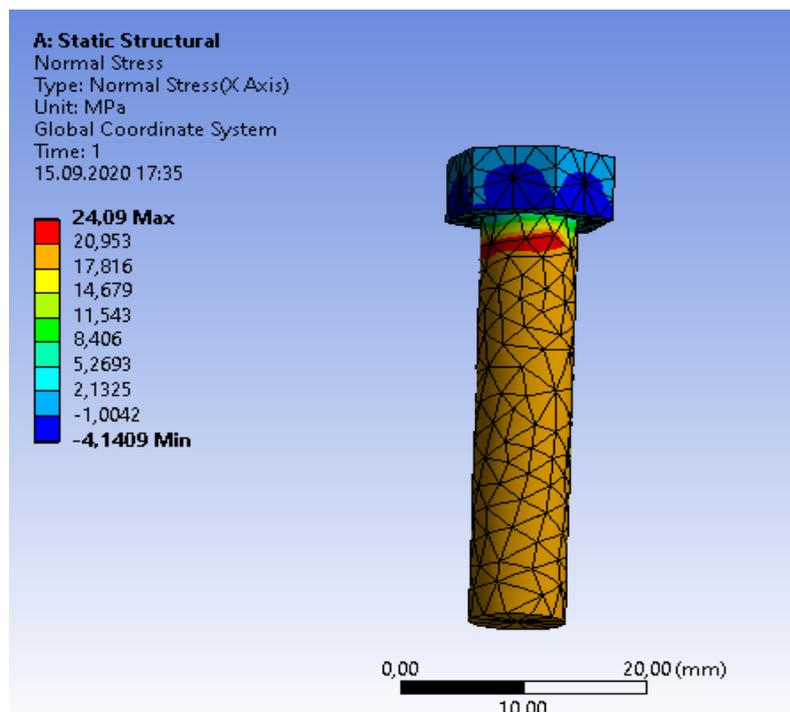


Рисунок 13.3 – Нормальные напряжения

Вопросы для самоконтроля

- 1 В чем заключается метод конечных элементов?
- 2 Как задается сетка при создании конечно-элементной модели?
- 3 Как задаются нагрузки и ограничения?

14 Лабораторная работа № 14. Моделирование в NX

Цель работы: получение практических навыков моделирования в NX.

Теоретические основы

Наряду с примитивами в NX имеется возможность использовать позиционно-зависимые конструктивные элементы, такие как бобышка, карман, ребро жесткости. Использование конструктивных элементов в процессе создания модели значительно сокращает время проектирования, ускоряет обновление модели в случае проведения изменений. Все функции по созданию конструктивных элементов находятся в меню Вставить – Элементы проектирования, доступ к этим функциям также возможен из панели инструментов «Элемент».

Порядок выполнения работы

Создайте файл и включите модуль «Моделирование». Выберите функцию создания элемента «Вытягивание» в панели инструментов или в меню Вставить – Элементы проектирования – Вытягивание [6]. Открывается диалог операции «Вытягивание» и становится активен шаг выбора кривой либо построенного эскиза (рисунок 14.1).

Выберите цепочку кривых построенного эскиза в качестве сечения (во время задания геометрии сечения возможен разумный выбор по контексту).

Добавим скругление на вертикальных ребрах созданного тела. Выберите операцию скругления ребра на панели инструментов «Операции с элементом» либо из меню Вставить – Конструктивный элемент – Скругление ребра. В открывшемся диалоговом окне «Скругления ребра» активен шаг выбора ребер для скругления. Выберите два вертикальных ребра в правой части модели для первого набора ребер (ребра для скругления не обязательно должны соединяться между собой).

Создадим уклон на вертикальных гранях нашего тела. Выберите функцию создания уклона в панели «Операции с элементом» или в меню Вставить – Конструктивный элемент – Уклон. В разделе «Тип» выберите опцию «Из плоскости», для определения направления уклона выберите ось Z базовой системы координат. Перейдите в раздел «Постоянная плоскость» и выберите в качестве начальной плоскости уклона верхнюю плоскую грань тела. Система переходит к выбору граней для уклона.

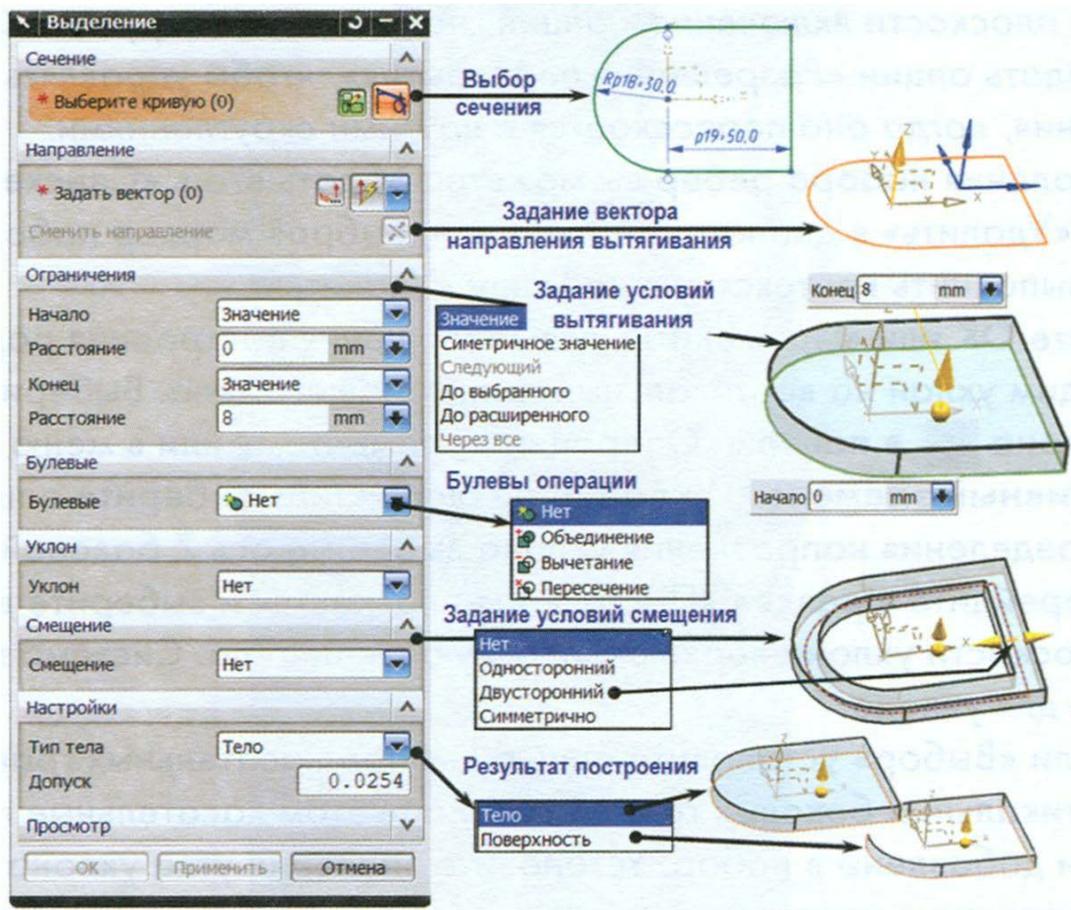


Рисунок 14.1 – Меню создания элемента «Вытягивание»

Теперь нам нужно создать тонкостенное тело. Выберите функцию создания оболочки в панели «Операции с элементом» или в меню Вставить – Смещение / Масштаб – Оболочка. В диалоговом окне «Оболочка» в разделе «Тип» выберите значение опции «Удалить грани», затем «Оболочка».

Выберите функцию создания оболочки в панели «Операции с элементом» или в меню Вставить – Смещение / Масштаб – используя функцию создания прямоугольного паза.

Выберите функцию «Паз» в инструментальной панели «Элемент» или из меню Вставить – Элементы проектирования – Паз. Снимите отметку «Сквозной паз» в диалоговом меню, выберите тип создаваемого конструктивного элемента «Прямоугольный» и нажмите ОК (рисунок 14.2).

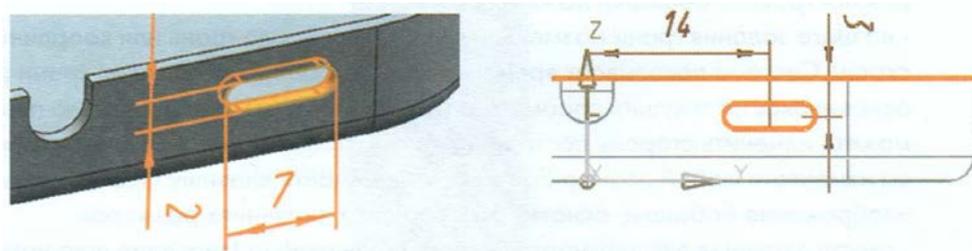


Рисунок 14.2 – Создание элемента «Паз»

Теперь нам нужно создать цилиндрическую бобышку с уступом и с отверстием в центре, расположив ее на плоской внутренней грани корпуса. В панели инструментов «Элемент» выберите функцию «Бобышка» (функцию можно вызвать из меню Вставить – Элементы проектирования – Бобышка).

Создадим отверстие с цековкой в центре бобышки, расположив его на внешней нижней грани корпуса. На инструментальной панели «Элемент» выберите функцию «Отверстие» (вы можете выбрать эту функцию в меню Вставить – Элементы проектирования – Отверстие).

Создадим зеркальную копию построенных элементов «Паз» и «Бобышка». В инструментальной панели «Операции с элементом» выберите функцию «Отражение элемента» (вы можете выбрать эту функцию в меню Вставить – Ассоциативная копия – Зеркальный элемент).

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как создать конструктивный элемент в NX?
- 2 Как создать паз?
- 3 Как создать отверстие?
- 4 Как создать зеркальную копию?

15 Лабораторная работа № 15. Токарная и фрезерная обработка в NX

Цель работы: приобрести навыки по созданию управляющих программ для станков с ЧПУ в NX.

Теоретические основы

Усложнение деталей, а также появление нового класса станков – токарно-фрезерных многофункциональных обрабатывающих центров – ведет к высокой концентрации операций, меняющей традиционную технологию токарной обработки. Эффективная эксплуатация таких станков требует и эффективного их программирования, что невозможно без использования САМ-системы. Актуальным становится контроль столкновений инструмента, детали, узлов станка, отслеживание текущего состояния заготовки между операциями, ассоциативная передача заготовки между токарными и фрезерными операциями и т. д.

Порядок выполнения работы

Рассмотрим разработку управляющей программы на примере детали «Втулка» [7].

Создаем 3D-модель детали «Втулка» и последовательно переходим по вкладкам «Файл» – «Новый» – «Обработка» – «Токарная» – «ОК». Далее пере-

ходим по вкладкам «Сборки» – «Компоненты» – «Добавить компонент...» – «Открыть», после чего указываем место хранения файла модели заготовки; в графе «Позиционирование» отмечаем «Выберите начало» и нажимаем «ОК». В появившемся окне указываем координату по оси X – 30 мм и нажимаем «ОК». В результате на модель детали будет наложена модель заготовки, а ее торец будет смещен относительно торца детали на 30 мм (рисунок 15.1). Этого расстояния должно хватить на закрепление заготовки в патроне и ее отрезку.

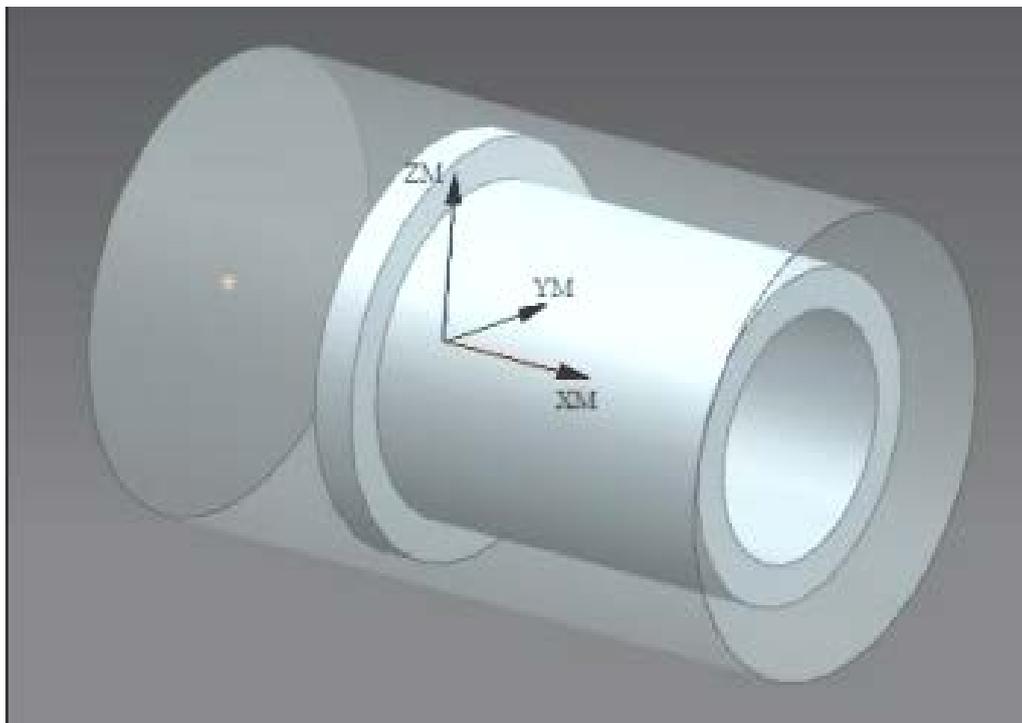


Рисунок 15.1 – 3D-модель детали после наложения на нее модели заготовки

Снизу на панели инструментов «Навигатор» выбираем вкладку «Вид геометрии». Система координат станка здесь называется «MCS_SPINDLE». Геометрическая группа «WORKPIECE» задает геометрию детали и заготовки. Токарная обработка программируется как 2-осевая обработка, при этом используются два плоских контура, определяющих деталь и заготовку. Геометрическая группа «TURNING_WORKPIECE» автоматически вычисляет токарные сечения детали и заготовки, заданные в группе «WORKPIECE».

Сверху на панели инструментов «Вставить» выбираем вкладку «Создание операций».

Для создания первого перехода выбираем функцию «FACING» (подрезка торца), выбираем инструмент «OD_80_L», геометрия – «AVOIDANCE», метод «LATHE_FINISH», далее – «ОК». В появившемся окне в разделе «Области обработки» нажимаем «Изменить». В разделе «Осевая плоскость обрезки 1» в качестве опции предела указываем «Точка» и указываем точку на правом торце детали (рисунок 15.2). Появившаяся вертикальная линия ограничивает область обработки (на данном переходе будет обрабатываться только та часть заготовки, что находится справа от линии).

После возврата в окно «Торцевание» в разделе «Скорости и подачи» можно задать режимы резания для данного перехода. После задания режимов резания, в разделе «Действия» выбираем функцию «Генерировать», после чего на экране отобразится автоматически сгенерированная траектория движения режущего инструмента. Также в этом разделе можно произвести проверку полученной траектории, для этого выбираем функцию «Проверка» и нажимаем «Воспроизвести».

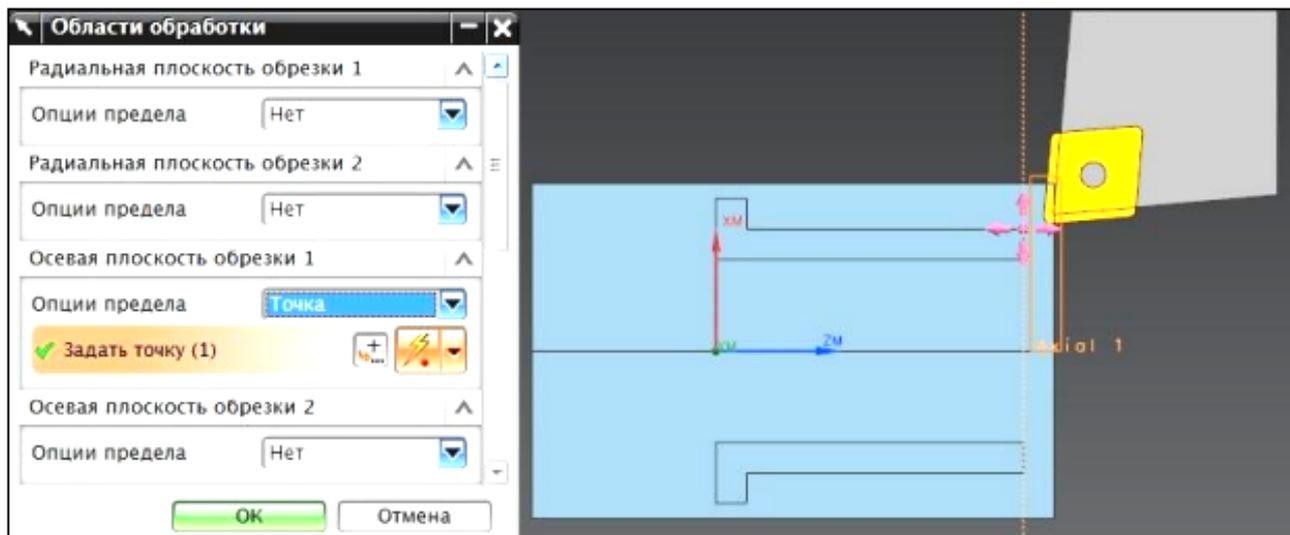


Рисунок 15.2 – Диалоговое окно при задании области обработки

Далее создаем переходы:

- черновое наружное точение;
- чистовое наружное точение.

Для создания следующего перехода необходимо предварительно создать центровочное сверло и поместить его в определенное гнездо револьверной головки. Для этого на панели инструментов «Вставить» выбираем вкладку «Создание инструмента», после чего выбираем функцию «SPOTDRILLING_TOOL» (центровочное сверло).

В появившемся диалоговом окне задаются требуемые размеры режущей части инструмента и держателя и т. д. После создания инструмента приступаем к созданию нового перехода, для этого на панели инструментов «Вставить» выбираем вкладку «Создание операций», выбираем функцию «CENTERLINE_SPOTDRILL» (осевая центровка), инструмент – «SPOTDRILLING_TOOL», геометрия – «AVOIDANCE», метод – «LATHE_CENTERLINE», далее – «ОК». По умолчанию глубина сверления будет задана 3 мм, при необходимости можно изменить это значение и задать режимы резания, после чего необходимо сгенерировать и проверить траекторию движения режущего инструмента.

Далее создаем переходы:

- осевое сверление;
- обработка наружных канавок (отрезание детали от заготовки).

Рассмотрим разработку управляющей программы на примере детали «Плита» [7].

В группе «WORKPIECE» необходимо задать геометрию детали и заготовки (рисунок 15.3). При задании геометрии заготовки в разделе «Опции выбора» необходимо указать «Автоблок» и задать припуск на обработку верхней грани 2 мм.

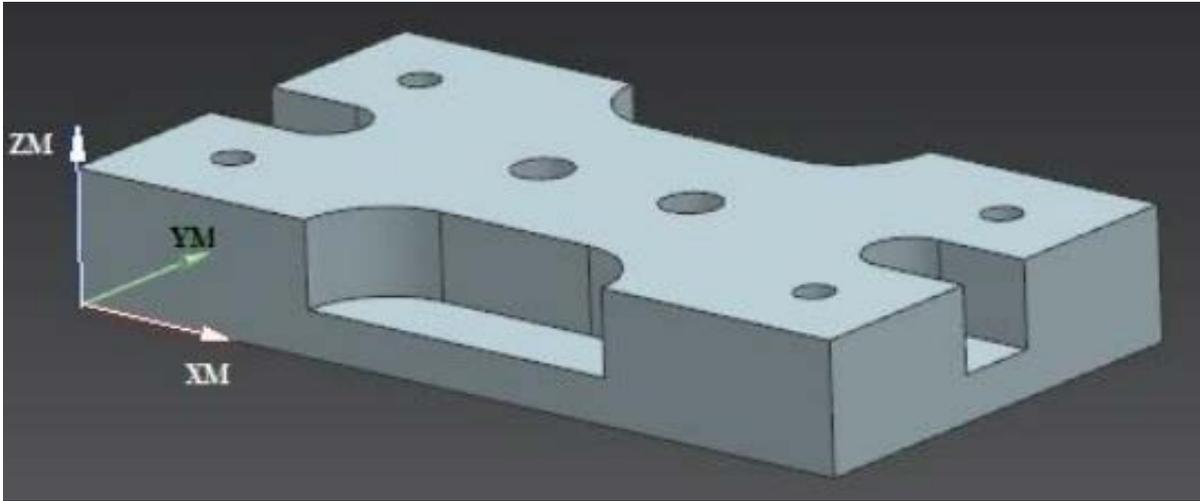


Рисунок 15.3 – 3D-модель детали «Плита»

Снизу на панели инструментов «Навигатор» выбираем вкладку «Вид инструментов», при этом в навигаторе операций отобразится пустой магазин (CARRIER) на 30 позиций. Для создания первого перехода необходимо предварительно создать фрезу и поместить его в определенное гнездо магазина. Для этого на панели инструментов «Вставить» выбираем вкладку «Создание инструмента», после чего выбираем функцию «MILL» (фреза).

После создания инструмента (фрезы), приступаем к созданию первого перехода, для этого на панели инструментов «Вставить» выбираем вкладку «Создание операций», выбираем функцию «FACE_MILLING_AREA», инструмент – «MILL», геометрия – «WORKPIECE», метод – «MILL_FINISH»

В появившемся окне необходимо задать область резания (указывается верхняя грань детали), в разделе «Шаблон резания» необходимо выбрать «Зигзаг», в разделе «Скорости и подачи» задать режимы резания, после чего сгенерировать траекторию резания и произвести ее проверку.

Далее необходимо создать следующие переходы:

- фрезерование пазов;
- центрование отверстий;
- сверление отверстий.

На этом создание переходов завершено. Для того чтобы постпроцессировать программу, в навигаторе операций нажмите один раз на название программы и выберите на панели инструментов «Операции» команду «Постпроцессировать». В появившемся окне выберите станок, для которого необходимо создать программу в G-коде, укажите путь сохранения файла с программой.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Как создать сечение токарной обработки?
- 2 Приведите последовательность создания перехода (операции) на примере чернового наружного точения.
- 3 Как создается режущий инструмент?
- 4 Как создать управляющую программу?

16 Лабораторная работа № 16. Анализ движения в NX

Цель работы: получение практических навыков кинематического анализа.

Теоретические основы

Анализ кинематики (motion simulation) в NX представляет собой интегрированное САЕ-приложение для создания и анализа сложных механических систем (механизмов). Для этих механизмов вы можете получить результаты расчетов движений, сил, моментов, пересечения объектов и сохранить трассировку, то есть объемную траекторию движения тела в пространстве при работе механизма. Механизм в NX состоит из кинематических объектов, которые представляют собой компоненты с присвоенными им сценариями поведения. Кинематическими объектами могут быть узлы, пружины, демпферы, силы, моменты и эластичные втулки. Механизм создается посредством создания кинематических связей, которые добавляют ограничения к геометрии.

При создании симуляции обычно используется следующая последовательность действий:

- создание связей, то есть подвижных частей механизма;
- создание кинематических узлов;
- определение движителей.

Связь (Link) представляет собой неразрываемое тело (rigid body). Создать связь можно командой меню Вставить – Связь или с помощью панели инструментов. В связь вы можете одновременно включать 2D- и 3D-объекты.

Кинематический узел (Joint) описывает возможные движения связей относительно друг друга и создается между двумя связями. Пока не назначено кинематических узлов каждая связь обладает шестью степенями свободы. Кинематический узел в зависимости от типа фиксирует определенное количество степеней свободы.

Движитель добавлен к трем типам узлов: вращательному, ползуну и цилиндрическому. Он всегда ассоциативен кинематическому узлу. Движители могут быть созданы отдельно посредством меню Вставить – Водитель.

Порядок выполнения работы

Сборка состоит из четырех компонентов: mount – подвес для маятника, fiber – нить, на которой подвешен груз, ball – груз и scale – поверхность, над которой висит груз [6].

Добавим связи в механизм. Выберите пункт меню Вставить – Связь, в открывшемся диалоговом окне выберите компонент mount и отметьте пункт «Фиксированная связь». Далее добавьте связи компонентам ball и fiber.

Определим кинематическую пару вращения. Для этого в меню «Вставить» выберите команду «Узел». Укажите в качестве связи в группе «Действие» – L002 (компоненты ball и fiber), точку привязки – центр верхней грани цилиндра, моделирующего нить, систему координат расположите так, как показано на рисунке.

Ограничим движение L001 (компонент mount) так, чтобы центр шара всегда лежал в плоскости XZ. Для этого в меню «Вставить» выберите команду Ограничения – Точка на поверхности. В качестве точки укажите центр сферы, в качестве поверхности – плоскость, определенную на уровне сборки. Нажмите ОК.

Для узла J002 зададим движитель. Сделайте двойной щелчок мышью на узле в Навигаторе и в открывшемся диалоговом окне на закладке «Водитель» установите режим вращения «Артикуляция», нажмите ОК.

Теперь проведем анализ созданного механизма. Добавим маркер к центру сферы. Для этого в диалоговом окне «Маркер» (Вставить – Маркер) выберите в качестве связи L002, в качестве точки – центр сферы и в качестве системы координат – абсолютную.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какова последовательность создания симуляции при кинематическом анализе?
- 2 Как задавать кинематические узлы?
- 3 Как задавать движитель?

17 Лабораторная работа № 17. Прочностной анализ в NX

Цель работы: получение практических навыков прочностного анализа.

Теоретические основы

Решение задачи с применением метода конечных элементов включает следующие основные этапы:

- создание геометрической модели изучаемого объекта, пригодной для использования методом конечных элементов;
- разбиение модели на сетку конечных элементов;

- задание граничных условий (ограничений и нагрузок);
- численное решение системы уравнений;
- анализ результатов решения.

Порядок выполнения работы

Необходимо оценить форму и прочность вала [8] (рисунок 17.1), нагруженного лишь радиальными, а также совместно радиальными и касательными силами. Цилиндрическая шейка диаметром 200 мм нагружена касательной силой, равной 4680 Н, и радиальной силой 1685 Н; на цилиндрическую шейку диаметром 300 мм действуют касательная и радиальная силы, равные 3120 и 1123 Н соответственно. Крайние шейки вала установлены в подшипниках качения, причем один из подшипников лишает вал степени свободы в направлении, совпадающем с осью вала. Материал вала – конструкционная сталь 45.

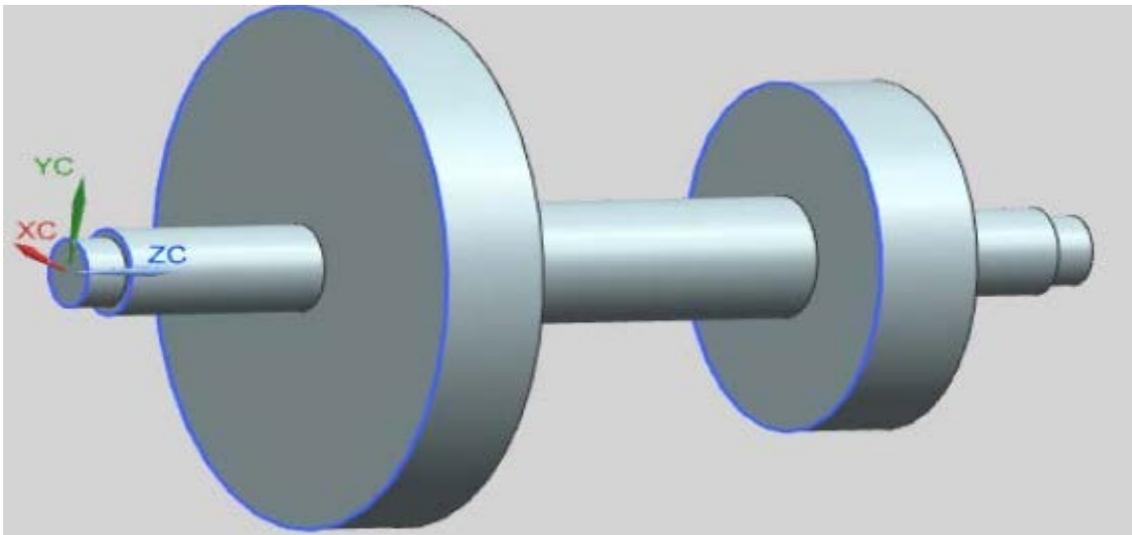


Рисунок 17.1 – CAD-модель ступенчатого вала

Переходят в модуль «Расширенная симуляция».

Для создания конечно-элементной и расчетной моделей выбирают кнопку Новая конечно-элементная модель и симуляция.

Появляется диалоговое окно создания FEM-файла, в качестве Решателя выбирают NX Nastran, тип анализа – Структурный, нажимают ОК. Появляется новое диалоговое окно создания SIM-файла, в окне Решение выбирают Тип решения – «SOL 101 – Линейный статический анализ», нажимают ОК.

Выполняют команду 3D-тетраэдральная сетка (панель инструментов Конечно-элементная модель), указывают: – Выберите тела – выбирают созданную модель вала двойным щелчком мыши. – Тип – выбирают тип элементов, например ТЕТРА(4) – Размер элемента – 8...10 мм, либо нажимают кнопку – Автоматический размер элемента – Убеждаются, что включена опция Автоматическое создание (Коллектор назначения), нажимают ОК.

Задают материал вала – сталь 45. Этот материал отсутствует в библиотеке, поэтому его добавляют в локальную библиотеку, используя на панели «Расши-

ренная симуляция» команду Управление материалами (дает возможность редактировать свойства существующих материалов либо создавать новые материалы).

Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «*...sim1» в окне Вид файла симуляции и открывают расчетную модель. Для задания ограничения на степени свободы выполняют команду Ограничение, задаваемое пользователем (выпадающее меню Тип ограничения панели инструментов «Расширенная симуляция»). Появляется диалоговое окно с опцией Выбрать объект. Для выбора объекта сначала указывают на одну из крайних цилиндрических шеек, нажимают ОК. Поскольку каждая шейка является двойной опорной базой, лишаящей вал двух степеней свободы – перемещений в направлениях осей XС и YС, то параметры DOF (degree of freedom) принимают следующие значения:

- DOF 1 – отсутствие (Фиксировано) перемещения вдоль оси X;
- DOF 2 – отсутствие (Фиксировано) перемещения вдоль оси Y;
- DOF 3 – наличие (Свободный) перемещения вдоль оси Z;
- DOF 4 – наличие (Свободный) вращения относительно оси X;
- DOF 5 – наличие (Свободный) вращения относительно оси Y;
- DOF 6 – наличие (Свободный) вращения относительно оси Z.

Повторяют указанные действия, выбирая в качестве объекта вторую цилиндрическую шейку.

Повторяют команду, выбирая в качестве объекта торцовую поверхность, примыкающую к правой шейке (см. рисунок 17.1). Эта торцовая поверхность, являющаяся опорной базой, лишает вал одной степени свободы – перемещения вдоль оси ZС, поэтому лишь один параметр DOF примет значение Фиксировано – DOF 3 – отсутствие (Фиксировано) перемещения вдоль оси ZС; остальные параметры примут значение Свободный.

Прикладывают к модели вала действующие на него силы, для чего из выпадающего меню Тип нагрузки (панель инструментов «Расширенная симуляция») выбирают команду Сила. Выбирают фасетное ребро одной из цилиндрических шеек диаметром 200 или 300 мм. Вводят значение силы вдоль оси XС.

Выполняют команду Сила, прикладывая радиальную нагрузку к другой шейке вала.

Устанавливают опции и параметры решения задачи, для чего в дереве модели окна Навигатор симуляции указывают правой клавишей мыши на вкладку Solution 1 и выбирают Изменить. В появившемся диалоговом окне Решение устанавливают необходимые параметры, на вкладке Общий устанавливают опцию Итерационный решатель элемента и нажимают ОК.

Оценивают качество конечно-элементной и расчетной моделей. Для этого выполняют команду Анализ – Проверка конечно-элементной модели – Настройка модели. Выполняют проверку корректности задания нагрузок и ограничений, соответствия созданной КЭ-модели геометрической модели и проверку задания материала.

Для запуска решения выполняют команду Решение или Анализ – Вычисления, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку Solution 1 в окне

Навигатор симуляции, в диалоговом окне выбирают опцию Решить и нажимают ОК во вновь появившемся диалоговом окне.

В дереве модели окна Навигатор симуляции выбирают двойным нажатием левой клавиши мыши вкладку Результаты, за счет чего переходят на вкладку Навигатор постпроцессора с загруженными результатами. Для просмотра результатов раскрывают вкладку Solution 1, выбирают нужные параметры, в данном случае Перемещение – По узлам и Напряжения – по элементам / узлам (рисунок 17.2).

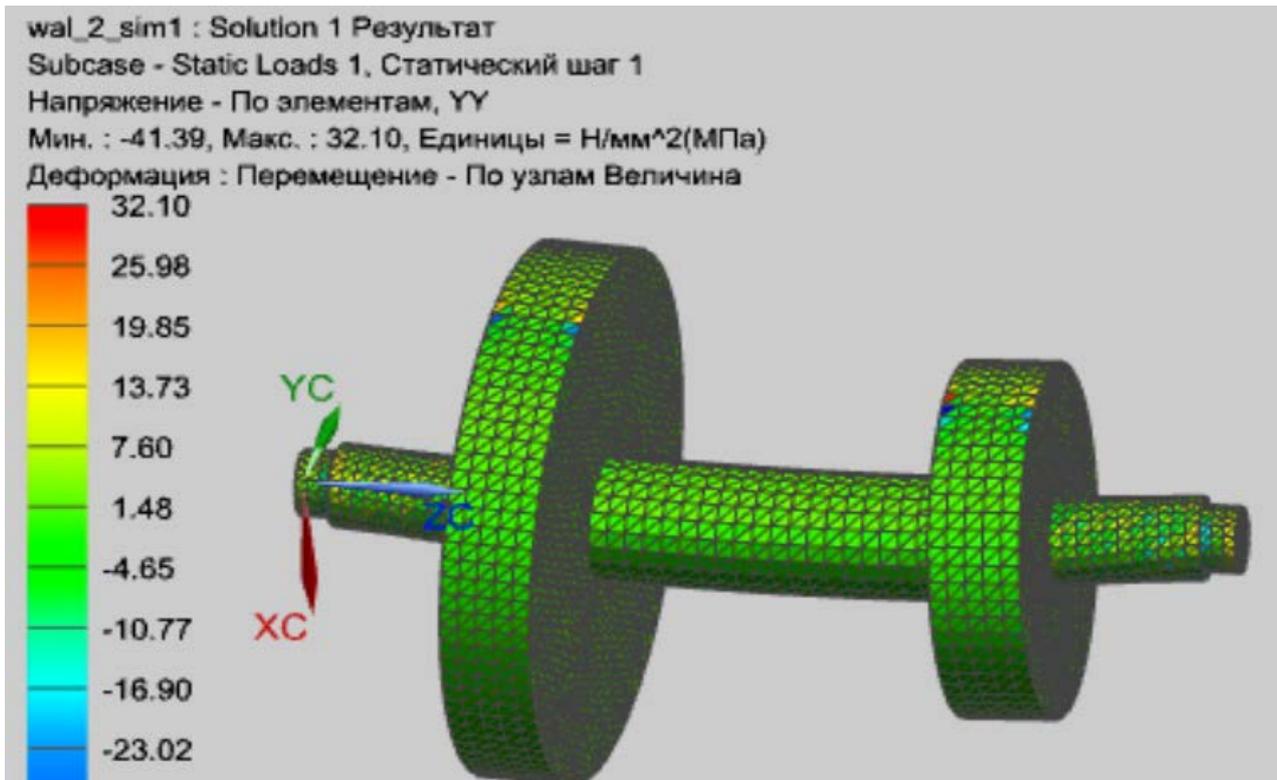


Рисунок 17.2 – Результат вычисления напряжений при нагружении вала радиальными и касательными силами

Вопросы для самоконтроля

- 1 Перечислите последовательность действий при моделировании в среде NX «Расширенная симуляция» формы и напряжений в заготовке и детали.
- 2 В чем заключается сущность метода конечных элементов?
- 3 С какой целью выполняют идеализацию геометрии модели объекта?
- 4 Какие решатели использует модуль NX «Расширенная симуляция»?
- 5 Перечислите последовательность действий при задании ограничений и нагрузок в среде NX «Расширенная симуляция».

18 Лабораторная работа № 18. Симуляционное моделирование движения в MSC.ADAMS

Цель работы: получение практических навыков моделирования в MSC.ADAMS.

Теоретические основы

С помощью ADAMS быстро создается полностью параметризованная модель изделия: она строится непосредственно в предпроцессоре или импортируется из наиболее популярных CAD-систем (например, SolidWorks, Компас и др.). Задав связи компонентов модели, приложив нагрузки, определив параметры кинематического воздействия и запустив расчет, можно легко и быстро получить данные, полностью идентичные результатам натурных испытаний системы.

Выходными данными расчета являются координаты, скорости, ускорения и усилия для любой точки механизма. Программа способна также учитывать деформируемость конструкций, благодаря импорту моделей из ANSYS, NASTRAN и других пакетов.

Порядок выполнения работы

Тело сферической формы (с радиусом $r = 50$ мм) и массой $m = 2$ кг запущено вверх под углом к горизонту $\alpha = 60^\circ$ с начальной скоростью $v_0 = 6$ м/с (рисунок 18.1). Пренебрегая сопротивлением воздуха определить время полета тела до соприкосновения с опорной плоскостью, дальность полета и максимальную высоту, на которую поднимется тело.

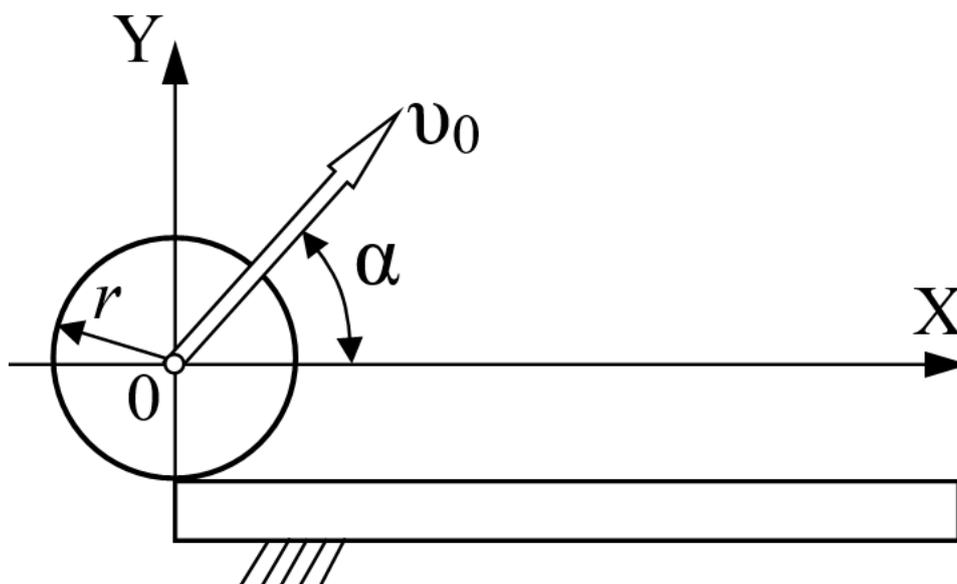


Рисунок 18.1 – Схема для решаемой задачи

Запускаем MSC.ADAMS / View. Выбираем создание новой модели (New Model). Вводим в первой строчке Model Name имя модели: StoneFall.

Во второй строчке указываем направление сил тяжести тел в модели.

В третьей строке устанавливаем единицы измерения (Units) длины, массы, сил, времени и угловых размеров (система MMKS): mm, kg, N, s, deg.

Для того чтобы наглядно видеть координаты для размещения тел в модели нужно запустить координатное окно. Для этого нажимаем View и выбираем там Coordinate Window.

Для настройки сетки нажимаем Settings и выбираем Working Grid.

В ленте инструментов выбираем тела (bodies). Там выбираем Rigid Body: Sphere.

В сгенерированном меню выбираем новое тело (New Part), ставим отметку в поле радиуса (Radius), выставляем размер 50 mm. В центре с координатами (0; 0; 0) создаем тело. Переименуем название тела в модели. По умолчанию ему присваивается имя PART_2, PART_3 и т. д. Под первым телом понимается неподвижное основание, стойка – ground.

Вводим имя Stone (камень) в строке нового имени (New Name). Если предлагается заменить полное имя тела в модели .StoneFall.PART_2 меняем только последнюю часть имени: .StoneFall.Stone.

Из ленты инструментов выбираем инструмент bodies, там находим параллелепипед (RigidBody:Box).

В настройках параллелепипеда устанавливаем неподвижное закрепление с опорной поверхностью (On Ground), ставим отметку напротив длины (Length) и выбираем размер 3500 mm. Так же ставим отметки напротив функций высота (Height) и глубина (Depth) и вводимы размеры 100 mm для обоих.

Используя мышь выбираем координаты (0; -150;0). Это точка принадлежит левому нижнему углу параллелепипеда, ближайшего к плоскости XOY вдоль оси OZ.

В навигаторе кликнем правой кнопкой мыши на папку Bodies, потом выберите тело Stone и выберем функцию «Изменить» (Modify).

Устанавливаем Define mass by на User input. В окне установки массы вводим 2 кг и нажимаем ОК.

Установим категорию, определяющую движение тела (Category), как заданные начальные условия скорости (Velocity Initial Conditions). Под надписью поступательная скорость вдоль оси (Translational velocity along) включаем оси X и Y. В меню набора текста вводим данные для оси X: $(6 \cdot \cos(60^\circ)(m / \text{sec}))$, а для оси Y: $(6 \cdot \sin(60^\circ)(m / \text{sec}))$.

Во вкладке обзора (Browse) навигатора щелкаем правой кнопкой мыши на папку тела (Bodies), потом на по файлу Stone и выбираем функцию измерение (Measure).

В строчке наименование измерений (Measure Name) вводим R_displacement. Устанавливаем характеристики (Characteristic) на CM position (положение центра масс). Устанавливаем необходимую составляющую (Component), как координату X. Ставим метку напротив Component Strip Chart для создания графика изменения этой составляющей.

Выбираем из верхнего меню вкладку симуляции (Simulation) и нажимаем в ней на символ шестерни для запуска интерактивной симуляции.

MSC.Adams / View запускает симуляцию и строит соответствующие графики в окне измерений (R_displacement).

Выбираем вкладку результатов верхнего меню (Result) и нажимаем там на контроль анимации (Animation Control Dialog Box).

С помощью проигрывателя находим кадр, где камень соприкасается с плитой и останавливаем анимацию. Отмечаем время соприкосновения тела и опорной поверхности T_{\max} .

В меню контроля анимации изменяем параметр без трассировки (No Trace) на трассировку с маркером (Trace Marker). Правой кнопкой мыши нажимаем на пустое текстовое поле ниже, там выбираем Marker и дальше выбираем Browse.

В окне навигатора баз данных (Database Navigator) выбираем исследуемое тело (Stone), а под ним выбираем его центр масс (cm) и кликаем по нему 2 раза.

Затем вновь проигрываем анимацию движения тела с появлением траектории его движения.

Для нахождения дальности полета тела правой кнопкой мыши кликаем внутри окна графика (R_displacement), выбираем график Plot: scht1 и выбираем Transfer to Full Plot.

Блок программы Adams/View заменяется на Adams / PostProcessor. Выбираем инструмент отслеживания (Plot Tracking).

Так как мы хотим знать где камень соприкасается с землёй, двигаем курсор по линии до тех пор, пока значение X не совпадёт со временем соприкосновения.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Зависит ли дальность полета, максимальная высота и время полета тела от его массы?
- 2 При добавлении нового тела в MSC.ADAMS / View и закреплении его на опорной поверхности, появится ли это тело в навигаторе?
- 3 За что отвечает функция On Ground при создании объекта?
- 4 Как можно найти максимальную высоту, которую достигнет камень во время полёта?

Список литературы

1 **Ефремов, Г. В.** Инженерная и компьютерная графика на базе графических систем : учебное пособие / Г. В. Ефремов, С. И. Ньюкалова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 264 с.

2 Информатика: методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)» и 1-37 01 07 «Автосервис» дневной и заочной форм обучения: в 2 ч. / Сост. О. А. Пономарева, С. Ю. Билык. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – Ч. 2. – 44 с.

3 **Самсонов, В. В.** Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D: учебное пособие / В. В. Самсонов, Г. А. Красильникова. – Москва : Академия, 2008. – 224 с.

4 **Паньков, М.** Оживляя механизмы. Работа с анимацией в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D / М. Паньков // САПР и графика. – 2014. – С. 106–112.

5 **Иванов, А. Н.** Автоматизированное проектирование и расчет узлов опико-электронных приборов в САПР КОМПАС: учебное пособие / А. Н. Иванов. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2012. – 56 с.

6 NX для конструктора-машиностроителя / П. С. Гончаров [и др.]. – Москва: ДМК Пресс, 2010. – 504 с.: ил.

7 **Сапунов, В. В.** Конструкторско-технологическая подготовка производства в САД-, САМ- и САЕ-системах. Сборник лабораторных работ: учебно-методическое пособие / В. В. Сапунов, А. Д. Евстигнеев. – Ульяновск : УлГТУ, 2021. – 99 с.

8 **Унянин, А. Н.** Моделирование и инженерный анализ с помощью программного комплекса NX : учебное пособие / А. Н. Унянин, А. Д. Евстигнеев. – Ульяновск : УлГУ, 2017. – 212 с.