



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

**А.А. Кальченко**  
**К.Г. Пащенко**

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск  
2017

**Рецензенты:**

кандидат технических наук, доцент,  
директор,  
ООО «Магнитогорсквнешэкономсервис»  
**Б.И. Губанов**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры механики,  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
**Ф.Г. Ибрагимов**

**Составители: Кальченко А.А., Пащенко К.Г.**

**Компьютерные технологии в машиностроении** [Электронный ресурс] : учебное пособие / Александр Андреевич Кальченко, Константин Георгиевич Пащенко ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (0,97 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

В представленном учебном пособии отражены основные цели и задачи изучаемой дисциплины. Указания предназначены для ознакомления студентов с возможностями трех программных продуктов: Matlab, APM WinMachine, КОМПАС в деле расчета, проектирования и моделирования сложных технических систем.

Методические указания содержат описание 16 работ, для каждой работы раскрыты цели расчетов и построений, описаны методики расчетов, дана характеристика результатам. Для каждой работы имеется задание для студентов.

Рецензируемые методические указания помогут студентам получить навыки работы с указанными программными продуктами, а в дальнейшем рационально организовать самостоятельную работу над курсовыми проектами и итоговой квалификационной работой.

Пособие соответствует учебной программе и требованиям квалификационной характеристики выпускника. Учебное пособие отличается от существующих изданий комплексным представлением изучаемого материала. Материалы учебного пособия соответствуют высокому научному уровню. Пособие посвящено актуальной прикладной теме – восстановлению и упрочнению деталей машин. Материал учебного пособия изложен доступным для студентов техническим языком.

УДК 004.9

© Кальченко А.А., Пащенко К.Г., 2017  
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский  
государственный технический  
университет им. Г.И. Носова», 2017

## Содержание

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                              | 4  |
| CAx .....                                                                                                                                                   | 6  |
| CAM.....                                                                                                                                                    | 6  |
| CAD .....                                                                                                                                                   | 7  |
| CAE.....                                                                                                                                                    | 9  |
| НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЁННЫЕ CAE-СИСТЕМЫ.....                                                                                                                  | 9  |
| РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ С<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....                                               | 10 |
| МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ И ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК<br>.....                                                                                      | 11 |
| РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ .....                                                                                                               | 13 |
| ПРОГРАММЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ<br>МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА .....                                                              | 13 |
| ЧИСЛОВОЕ ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ .....                                                                                                      | 14 |
| ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ .....                                                                                                                                | 15 |
| БАЗЫ ДАННЫХ .....                                                                                                                                           | 17 |
| СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В<br>ПРОИЗВОДСТВЕ .....                                                                         | 19 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ И АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА<br>ПРОДУКЦИИ.....                                                                                     | 20 |
| РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВОЛОЧЕНИЯ.....                                                                                                               | 21 |
| АРМ TRANS -МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ВРАЩЕНИЯ<br>.....                                                                                     | 21 |
| АРМ DRIVE - МОДУЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДА.....                                                                                          | 24 |
| АРМ STRUCTURE3D - МОДУЛЬ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО<br>СОСТОЯНИЯ, УСТОЙЧИВОСТИ, СОБСТВЕННЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ<br>ДЕТАЛЕЙ И КОНСТРУКЦИЙ ..... | 25 |
| АРМ STUDIO - МОДУЛЬ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО И ПОВЕРХНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ<br>.....                                                                                  | 27 |
| АРМ GRAPH - ПЛОСКИЙ ЧЕРТЕЖНЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР .....                                                                                                    | 28 |
| АРМ BEAR - МОДУЛЬ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕИДЕАЛЬНЫХ<br>ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ .....                                                                         | 30 |
| АРМ JOINT - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН .....                                                                                          | 31 |
| АРМ SHAFT - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАЛОВ И ОСЕЙ.....                                                                                                         | 33 |
| АРМ CAM - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ.....                                                                                                  | 34 |
| АРМ PLAIN - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ПОДШИПНИКОВ<br>СКОЛЬЖЕНИЯ.....                                                                                  | 34 |
| АРМ SPRING - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН .....                                                                                            | 35 |
| АРМ SCREW - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕИДЕАЛЬНЫХ ВИНТОВЫХ ПЕРЕДАЧ<br>.....                                                                                     | 36 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ «КОМПАС» ДЛЯ ДВУХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ<br>.....                                                                                      | 37 |
| СОЗДАНИЕ ДЕТАЛИ В СИСТЕМЕ КОМПАС-3D.....                                                                                                                    | 38 |
| МАТЛАБ – SIMULINK. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ.....                                                                                                                     | 39 |
| МАТЛАБ – SIMULINK. УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА И ЕГО ВЫПОЛНЕНИЕ.....                                                                                       | 42 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....                                                                                                                              | 47 |

## ВВЕДЕНИЕ

Ряд тем посвящены знакомству с APM WinMachine – CAD/CAE системой автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения.

APM WinMachine – CAD/CAE система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения, разработанная с учетом последних достижений в вычислительной математике, области численных методов и программирования, а также теоретических и экспериментальных инженерных решений. Эта система в полном объеме учитывает требования государственных стандартов и правил, относящихся как к оформлению конструкторской документации, так и к расчетным алгоритмам.

APM WinMachine обладает широкими функциональными возможностями для создания моделей конструкций, выполнения необходимых расчетов и визуализации полученных результатов. Использование этих возможностей позволит сократить сроки проектирования и снизить материалоемкость конструкций, а также уменьшить стоимость проектных работ и производства в целом.

- Проектирование механизмов и деталей машин
- Прочностной анализ деталей и конструкций
- Проектирование соединений

Имеющиеся в системе APM WinMachine расчетные и графические инструменты позволяют решать обширный круг прикладных задач:

- Рассчитывать механическое оборудование и его элементы с использованием инженерных методик
- Проводить анализ напряженно-деформированного состояния (с помощью метода конечных элементов) трехмерных объектов любой сложности при произвольном закреплении, статическом или динамическом нагружении
- Создавать конструкторскую документацию в соответствии с ЕСКД
- Использовать при проектировании поставляемые базы данных стандартных изделий и материалов, а также создавать свои собственные базы под конкретные направления деятельности предприятия
- Использовать возможности интеграции со сторонними графическими пакетами для работы с ранее созданными чертежами и пространственными моделями

Состав APM WinMachine: APM Structure 3D APM Graph APM Studio, APM Bear APM Cam APM Drive, APM Joint APM Plain APM Screw , APM Shaft APM Spring APM Trans, APM Base.

Темы посвященные программному продукту «Кóмпас». «Кóмпас» — семейство систем автоматизированного проектирования с возможностями оформления проектной и конструкторской документации согласно стандартам серии ЕСКД и СПДС.

Разрабатывается российской компанией «Аскон». Название линейки является акронимом от фразы «комплекс автоматизированных систем», в торговых марках используется написание заглавными буквами — «КОМПАС».

Программы данного семейства автоматически генерируют ассоциативные виды трёхмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже.

Стандартные виды автоматически строятся в проекционной связи. Данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, масса) синхронизируются с данными из трёхмерной модели. Имеется возможность связи трёхмерных моделей и чертежей со специфика-

циями, то есть при «надлежащем» проектировании спецификация может быть получена автоматически; кроме того, изменения в чертеже или модели будут передаваться в спецификацию, и наоборот.

Существует большое количество дополнительных библиотек к программам семейства, автоматизирующих различные специализированные задачи. Например, библиотека стандартных изделий позволяет добавлять уже готовые стандартные детали в трёхмерные сборки (крепежные изделия, подшипники, элементы трубопроводов, шпонки, уплотнения), а также графические обозначения стандартных элементов на чертежи (обозначения отверстий), предоставляя возможность задания их параметров.

Компанией «Аскон» разработаны различные приложения в области трёхмерного моделирования, дополняющие функциональные возможности системы «Компас-3D» инструментарием для решения специализированных инженерных задач. Модульность системы позволяет пользователю самому определить набор необходимых ему приложений, обеспечивающих только востребованную функциональность.

«Компас-Shaft 3D» — проектирование валов с элементами механических передач и зацеплений;

«Компас-Spring» — система проектирования пружин;

«Трубопроводы 3D» — система проектирования трубопроводов;

«Кабели и жгуты 3D» — 3D-моделирование электрических кабелей и жгутов и выпуск конструкторской документации на них;

«Металлоконструкции 3D» — автоматизация типовых работ по проектированию каркасов и рам из металлопроката;

«Компас—Электрик» — проектирование электрических схем;

«Стандартные Изделия: Крепёж» — включает крепежные изделия 2D и 3D по ГОСТ, ОСТ 92, ISO, DIN;

«Пресс-формы 3D»;

«3D-библиотека деталей и узлов штампов»;

«3D-библиотека деталей пресс-форм»;

«APM FEM» — система прочностного анализа для «Компас-3D»;

Темы посвященные работе в среде автоматизации математических расчетов Matlab, а точнее знакомству с инструментом "Simulink". Здесь использован материал учебника И.В.Черных. "Simulink: Инструмент моделирования динамических систем".

Simulink - интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем. Он дает возможность строить графические блок-диаграммы, имитировать динамические системы, исследовать работоспособность систем и совершенствовать проекты. Simulink полностью интегрирован с MATLAB, обеспечивая немедленный доступ к широкому спектру инструментов анализа и проектирования. Simulink также интегрируется с Stateflow для моделирования поведения, вызванного событиями. Эти преимущества делают Simulink наиболее популярным инструментом для проектирования систем управления и коммуникации, цифровой обработки и других приложений моделирования.

Программа Simulink является приложением к пакету MATLAB. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно общих знаний требующихся при работе на компьютере и, естественно, знаний той предметной области в которой он работает.

Simulink является достаточно самостоятельным инструментом MATLAB и при работе с ним совсем не требуется знать сам MATLAB и остальные его приложения. С другой стороны

доступ к функциям MATLAB и другим его инструментам остается открытым и их можно использовать в Simulink. Часть входящих в состав пакетов имеет инструменты, встраиваемые в Simulink (например, LTI-Viewer приложения Control System Toolbox – пакета для разработки систем управления). Имеются также дополнительные библиотеки блоков для разных областей применения (например, Power System Blockset – моделирование электротехнических устройств, Digital Signal Processing Blockset – набор блоков для разработки цифровых устройств и т.д).

При работе с Simulink пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создавать свои собственные, а также составлять новые библиотеки блоков.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Преимущество Simulink заключается также в том, что он позволяет пополнять библиотеки блоков с помощью подпрограмм написанных как на языке MATLAB, так и на языках C++, Fortran и Ada.

### **CAx**

**CAx** — термин, означающий совокупность систем автоматизированного проектирования (САПР или CAD), CAE- и CAM-систем. Этот термин описывает применение современных компьютерных технологий для разработки, внедрения и производства изделия или продукта. Комплексные CAx системы позволяют осуществить 2D/3D-разработку продукта, произвести оценку механических и материаловедческих свойств продукта на основе компьютерной модели, подготовить необходимый набор инструкций для ЧПУ и т. п.

#### **Примеры CAD**

Creo Parametric

NX Unigraphics

SolidWorks

SolidEdge

#### **Примеры CAM**

TopSolid

SprutCAM

MasterCAM

ADEM-CAM

EdgeCAM

#### **Примеры CAE**

Ansys

FlowVision

### **CAM**

CAM (англ. *Computer-aided manufacturing*) — подготовка технологического процесса производства изделий, ориентированная на использование ЭВМ. Под термином понимаются как сам процесс компьютеризированной подготовки производства, так и программно-вычислительные комплексы, используемые инженерами-технологами.

Русским аналогом термина является АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства. Фактически же технологическая подготовка сводится к автоматизации программирования оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ)

- 2-х осевые лазерные станки,
- 3-х и 5-осевые фрезерные станки с ЧПУ;
- токарные станки,
- обрабатывающие центры (в том числе использующие шесть степеней свободы);
- автоматы продольного точения и токарно-фрезерной обработки;
- ювелирная и объёмная гравировка.

Как правило, большинство программно-вычислительных комплексов совмещают в себе решение задач CAD/CAM, CAE/CAM, CAD/CAE/CAM.

## CAD

**CAD Система автоматизированного проектирования** — автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования<sup>[1]</sup>, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.<sup>[2][3]</sup> Также для обозначения подобных систем широко используется аббревиатура **САПР**.

- *Система автоматизированного проектирования.* Наиболее популярная расшифровка. В современной технической, учебной литературе и государственных стандартах аббревиатура САПР раскрывается именно так.

- *Система автоматизации проектных работ.* Такая расшифровка точнее соответствует аббревиатуре, однако более тяжеловесна и используется реже.

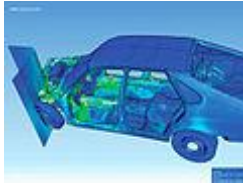
- *Система автоматического проектирования.* Это неверное толкование. Понятие «автоматический» подразумевает самостоятельную работу системы без участия человека. В САПР часть функций выполняет человек, а автоматическими являются только отдельные проектные операции и процедуры. Слово «автоматизированный», по сравнению со словом «автоматический», подчёркивает участие человека в процессе.

- *Программное средство для автоматизации проектирования.* Это излишне узкое толкование. В настоящее время часто понимают САПР лишь как прикладное программное обеспечение для осуществления проектной деятельности. Однако в отечественной литературе и государственных стандартах САПР определяется как более ёмкое понятие, включающее не только программные средства.

Для перевода САПР на английский язык зачастую используется аббревиатура CAD (англ. *computer-aided design*), подразумевающая использование компьютерных технологий в проектировании. Однако в ГОСТ 15971-90 это словосочетание приводится как стандартизированный англоязычный эквивалент термина «автоматизированное проектирование». Понятие CAD не является полным эквивалентом САПР как организационно-технической *системы*. Термин САПР на английский язык может также переводиться как CAD system, automated design system, CAE system.

В ряде зарубежных источников устанавливается определённая соподчиненность понятий CAD, CAE, CAM. Термин CAE определяется как наиболее общее понятие, включающее любое использование компьютерных технологий в инженерной деятельности, включая CAD и CAM.

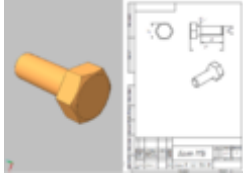
Для обозначений всего спектра различных технологий автоматизации с помощью компьютера, в том числе средств САПР, используется термин CAx (англ. *computer-aided technologies*).



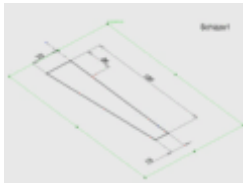
- Визуализация результатов моделирования столкновения, выполненная в NTNU



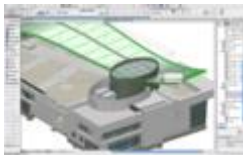
- Анимированная модель поршневого двигателя в Autodesk Inventor



- 3D-модель болта и чертёж на её основе



- Создание 3D-модели в САД трёхмерного геометрического проектирования



- Пример работы в ArchiCAD



- 3D-модель, созданная и визуализированная в CATIA

Структура САПР по ГОСТ

В соответствии с ГОСТ, в структуре САПР выделяют следующие элементы:

- *КСАП* САПР — комплекс средств автоматизации проектирования САПР
    - подсистемы САПР, как элемент структуры САПР, возникают при эксплуатации пользователями КСАП подсистем САПР.
    - *КСАП-подсистемы* САПР — совокупность ПМК, ПТК и отдельных компонентов обеспечения САПР, не вошедших в программные комплексы, объединённая общей для подсистемы функцией.
      - *ПТК* — программно-технические комплексы
        - компоненты обеспечения ПТК САПР
      - *ПМК* — программно-методические комплексы
        - компоненты обеспечения ПМК САПР
      - компоненты обеспечения САПР, не вошедшие в ПМК и ПТК
- Совокупность КСАП различных подсистем формируют КСАП всей САПР в целом.

CAE (англ. Computer-aided engineering) — общее название для программ и программных пакетов, предназначенных для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов. Расчётная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (см.: метод конечных элементов, метод конечных объёмов, метод конечных разностей и др.).

Современные системы автоматизации инженерных расчётов (CAE) применяются совместно с CAD-системами (зачастую интегрируются в них, в этом случае получаются гибридные CAD/CAE-системы).

## CAE

CAE-системы — это разнообразные программные продукты, позволяющие при помощи расчётных методов (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов) оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Помогают убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

В русском языке есть термин САПР, который подразумевает CAD/CAM/CAE/PDM.

### НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЁННЫЕ CAE-СИСТЕМЫ

- T-FLEX Анализ — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- APM WinMachine 2010 — отечественная универсальная система для проектирования и расчета в области машиностроения, включающая КЭ анализ с встроенным пре-/постпроцессором;
- APM Civil Engineering 2010 — отечественная универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором для проектирования и расчета металлических, железобетонных, армокаменных и деревянных конструкций;
- ABAQUS — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- ANSYS — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- Autodesk Simulation — комплекс универсальных систем КЭ анализа со встроенными пре-/постпроцессорами (в комплекс входят Autodesk Simulation CFD — программа вычислительной гидрогазодинамики, Autodesk Simulation Mechanical — программа для механического и теплового анализа изделий и конструкций, Autodesk Simulation MoldFlow — программа моделирования процесса литья пластмассовых изделий под давлением);
- ESAComp — программная система конечно-элементных расчетов тонкостенных многослойных пластин и оболочек;
- MSC.Nastran — универсальная система КЭ анализа с пре-/постпроцессором MSC.Patran;
- CAE Fidesys — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;
- HyperWorks (HyperMesh, RADIOSS, OptiStruct, AcuSolve и др.) — универсальная программная платформа систем конечно-элементного анализа;
- Moldex3D — программная система конечно-элементного моделирования литья армированных пластмасс под давлением;
- NEiNastran — универсальная программная система конечно-элементного анализа;
- NX Nastran — универсальная система МКЭ анализа;
- SAMCEF — универсальная система КЭ анализа с пре-постпроцессором SAMCEF Field.
- OpenFOAM — свободно-распространяемая универсальная система КО пространственного моделирования механики сплошных сред;

- SALOME — платформа для проведения расчётов МСС (подготовка данных — мониторинг расчёта — визуализация и анализ результатов);
- CAElinux — дистрибутив операционной системы Линукс, включающий в себя ряд свободных CAE-программ, в том числе OpenFOAM и SALOME.
- STAR-CD — универсальная система МКО анализа с пре-/постпроцессором;
- STAR-CCM+ — универсальная система МКО анализа с пре-/постпроцессором;
- ADAMS<sup>[5]</sup> — система моделирования и расчёта многотельной динамики;
- Универсальный механизм (UM) — программный комплекс предназначен для моделирования динамики и кинематики плоских и пространственных механических систем;
- EULER (Эйлер) — программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем;
- ФРУНД — комплекс моделирования динамики систем твёрдых и упругих тел;
- Femap — независимый от САПР пре- и постпроцессор для проведения инженерного анализа методом конечных элементов;
- QForm 2D/3D — специализированный программный комплекс для моделирования и оптимизации технологических процессов объёмной штамповки;
- MBDyn — система комплексного анализа и расчётов нелинейной динамики твёрдых и упругих тел, физических систем, «умных» материалов, электрических сетей, активного управления, гидравлических сетей, аэродинамики самолётов и вертолётов. Распространяется на условиях лицензии GNU GPL 2.1.;
- SimulationX — программный комплекс для моделирования и анализа динамики и кинематики автомобилей, промышленного оборудования, электро-, пневмо- и гидроприводов, ДВС, гибридных двигателей и т. д.
- FEM-models — программный комплекс для моделирования и анализа методом конечных элементов. Специализация программы — геотехнические расчёты, совместные расчёты систем здание-основание.
- Simmakers CAE Platform — программная платформа для выполнения численного моделирования физических и технологических процессов со встроенным пре-/постпроцессором.

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Начальным этапом разработки или проектирования изделия машиностроения, как и других областей, является построение структурной схемы или алгоритма выполнения поставленной задачи. Современные программные обеспечения значительно упрощают задачу разработчика, ускоряют процесс разработки, делают его более наглядным. Из большого многообразия ныне существующего программного обеспечения, которое можно использовать для этих целей, разработчик имеет возможность выбрать наиболее ему подходящий, в зависимости от поставленной задачи. Среди таких программ:

Visio;

Splan.

Visio представляет собой инструментальный для построения бизнес-диаграмм, временных шкал, алгоритмов, схем и блок-схем.

Visio имеет следующие достоинства:

Предлагает гибкую платформу с тысячами фигур для использования в разных областях. Благодаря технологии SmartShapes любой пользователь может изменить существующую или создать новую фигуру в соответствии со своими личными потребностями.

Работу пользователя облегчают отличные средства помощи, сопровождающие его на всех этапах создания диаграмм. Во-первых, имеется контекстно-чувствительная подсказка.

Также пользователю показывается подробное описание объекта, если он на несколько секунд остановит над этим объектом указатель мыши.

Любая из тысяч фигур Visio может быть изменена в соответствии с корпоративными или отраслевыми стандартами. Имеется возможность рисовать и программировать новые фигуры, сохраняя их в трафаретах и шаблонах для последующего использования в диаграммах.

Visio поддерживает возможность создания "интеллектуальных" фигур. Создавая формулы в табличном окне ShapeSheet., можно связывать фигуры с данными или иным образом изменять их поведение. В фигурах, изображающих сетевое оборудование, предусмотрены свойства для указания производителя и другой информации (готовые фигуры уже включают примеры таких данных).

Имеется возможность использования уже готовых фигур. Независимо от области специализации можно всегда найти в Visio подходящую для себя схему. Можно создавать блок-схемы, организационные диаграммы, временные шкалы, планы размещения офисного оборудования и т.д. Схемы могут создаваться даже по данным, хранящимся в файлах Microsoft Excel, Microsoft Access и Microsoft Project. Можно легко создавать и модифицировать схемы Visio непосредственно внутри других программ Office.

Splan - программа, наряду с возможностью построения электрических и функциональных схем, удобна при построении алгоритмов и структурных схем. Поскольку имеет все необходимые для этих целей возможности.

Главным ее достоинством является простой, доступный разработчику разного уровня интерфейс, что особо актуально при условии отсутствия времени для освоения более сложного программного обеспечения.

Так же Splan содержит приличную и сравнительно компактную (около 250 КБ) библиотеку готовых условно-графических изображений радиоэлементов и символов, а также набор рамок и штампов чертёжных форматов А4, А3, А2, А1 и бланки перечней элементов, соответствующих русским ГОСТам и употребляемых при черчении электрических и функциональных схем. Библиотеку можно редактировать и пополнять. Программа немного похожа на условно бесплатный QuickPic. Она создаёт более экономичные по размерам файлы с чертежами схем, а также умеет экспортировать их в графические файлы с расширением bmp, автоматически проставлять нумерацию и номиналы (марку) элементов (радиодеталей) и в соответствии с этими данными формировать спецификацию (список элементов) и импортировать её в формат редактора Word (\*. rtf). На основе готовых рамок и штампов позволяет подготавливать схемы (чертежи) соответствующие русским ГОСТам, печатать их и масштабировать без искажения. Максимальный размер листа 999мм x 999мм. Имеется режим авто сохранения, примеры чертежей схем, линейки. Программа не требует инсталляции. [1]

По сравнению с Visio, Splan более простая для освоения программа, доступна специалисту любого уровня подготовки, имеет русский интерфейс, не требует инсталляции. Таким образом, если время на освоение программного продукта и ресурсы компьютера ограничены, а структурная схема или алгоритм достаточно просты, предпочтение стоит отдать программе Splan.

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ И ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Усложнение систем и объектов машиностроительного комплекса влечет за собой более сложные и трудоемкие расчеты конструктивных параметров изделий, точностных и динамических характеристик объектов. Появление современных компьютерных технологий позволяющих быстро и эффективно выполнить математические расчеты, решить сложные уравнения и даже промоделировать процессы значительно упростило и облегчило задачу разработчиков. Для решения такого рода задач можно применять:

MATLAB;

Mathematica;

MatCAD;

Excel.

Mathematica- система символьной математики для ПК. Центральное место в системах класса Mathematica занимает машинно-независимое ядро математических операций - Kernel. Для ориентации системы на конкретную машинную платформу служит программный интерфейсный процессор Front End.

После загрузки интерфейсного процессора появляется скромная панель главного меню системы и пустое окно редактирования документов. В нем можно начинать вычисления

Характерной особенностью является объединение исходные данных, описания алгоритмов решения задач, программ и результатов решения в самой разнообразной форме (математические формулы, числа, векторы, матрицы, графики).

Основными достоинствами системы являются:

Возможность не только выполнения сложных численных расчетов с выводом их результатов в самом изысканном графическом виде, но и проведение особо трудоемких аналитических вычислений и преобразований.

Средства Mathematica позволяют готовить документы в стиле Notebook на самом высоком полиграфическом уровне воспроизведения текстов, математических формул и графиков.

Так же в новых версиях Mathematica появилась возможность подготовки документов в виде, непосредственно пригодном для их отправки по сети Интернет.

Отличительной особенностью является не типичная по сравнению с аналогичными пакетами оболочка Mathematica.

Основное достоинство системы MATLAB в наличии огромного числа операторов и функций, которые решают множество практических задач, для чего ранее приходилось готовить достаточно сложные программы. Например, это функции обращения или транспонирования матриц, вычисления значений производной или интеграла и т.д. и т.п. Число таких функций с учетом пакетов расширения системы уже достигает многих тысяч и непрерывно увеличивается.

Характерной особенностью системы MATLAB является то, что она имеет входной язык, напоминающий Бейсик (с примесью Фортрана и Паскаля). Запись программ в системе традиционна и потому привычна для большинства пользователей компьютеров. К тому же система дает возможность редактировать программы с помощью любого привычного для пользователя текстового редактора. Имеет она и собственный редактор с отладчиком.

Язык системы MATLAB в части программирования математических вычислений намного богаче любого универсального языка программирования высокого уровня. Он реализует почти все известные средства программирования, в том числе объектно-ориентированное и визуальное программирование.

Преимуществом системы по сравнению с аналогичными является, входящая в состав MATLAB программа Simulink, которая дает возможность имитировать реальные системы и устройства, задавая их моделями, составленными из функциональных блоков. Simulink имеет обширную и расширяемую пользователями библиотеку блоков и простые средства задания и изменения их параметров.

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

Геометрическое моделирование машиностроительного объекта- первый этап разработки конструкторской документации. На этапе проектирования он, как правило, занимает большую часть времени. Производители программных обеспечений, зная трудоемкость и важность данного процесса, в связи с тем, что с каждым годом технологические и конструкционные параметры разрабатываемых изделий все более усложняются, постоянно усовершенствуют, создают новые, расширяют функциональные возможности уже существующих программных продуктов, всячески облегчая задачу разработчиков. В том случае, если устройство содержит не только механическую часть, в комплект документации будут включены электрические и функциональные схемы электрической или электронной части, чертежи печатных плат.

Конструкторскую документацию в электронном виде, по сравнению с документацией выполненной вручную на бумаге, легче тиражировать, удобнее и эффективнее вносить изменения, поскольку современные графические пакеты дают возможность сквозного проектирования.

### **ПРОГРАММЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА**

Среди программных средств, которые наиболее часто применяются для геометрического моделирования машиностроительного объекта можно выделить:

AutoCAD;

Solid Works.

AutoCAD- программный пакет для подготовки конструкторской документации, разработанный фирмой Autodesk.

Любые задачи автоматизации в соответствии с конкретными нуждами и уникальными требованиями могут решаться пользователем, применяя средства AutoCAD гибко и эффективно.

Разные ветви семейства продуктов AutoCAD обеспечивают продуктивное их использование в решении проектных и графических задач любой сложности, пользователем с различным опытом, при оправданных в каждом конкретном случае финансовых затратах.

AutoCAD имеет следующие достоинства:

Данный пакет позволяет пользователю создавать различные виды конструкторской документации с помощью различных геометрических примитивов: линий, окружностей, дуг, точек разного вида, прямоугольников, многоугольников и т.д. AutoCAD представляет также возможности автоматической штриховки области любой формы и заливки любой области.

Пакет предоставляет широкие возможности по расстановке размерных и осевых линий, меток, характеризующих точность и способы обработки поверхностей. Эти линии привязываются к конкретному объекту и при изменении его параметров автоматически пересчитываются.

Позволяет создавать и трехмерные изображения, часто используемые при проектировании инженерных или архитектурных объектов. При построении трехмерных моделей можно использовать различные виды формообразования поверхностей.

Имеет гибкий механизм обмена создаваемыми изображениями с другими рабочими станциями обработки их как собственными средствами, так и с помощью других программ.

Характерной особенностью является возможность сохранять созданные документы более, чем в 10 векторных графических форматах, что делает его эффективным и удобным не только в области создания конструкторской документации.

Solid Works- Система твердотельного параметрического моделирования разработана американской компанией Solid Works Corporation. Система конструирования среднего класса,

базирующаяся на параметрическом геометрическом ядре ParaSolid. SolidWorks максимально использует все преимущества операционных систем Windows 95/98 и NT. [9]

Solid Works имеет следующие достоинства:

Предоставляет пользователю полный набор функций геометрических построений и операций редактирования, содержит высокоэффективные средства твердотельного моделирования, основанные на постепенном добавлении или вычитании базовых конструктивных тел.

Кроме создания твёрдых тел, в SolidWorks существует возможность построения различных поверхностей, которые могут быть использованы как для вспомогательных построений, так и самостоятельно.

Предоставляет возможности создания твердотельных моделей стандартных деталей на основе управляющих таблиц с типоразмерами будущих элементов библиотеки, а также средства организации их в иерархически упорядоченную структуру с общим интерфейсом.

Средства SolidWorks позволяют объединять в одной сборке сотни разнотипных деталей и подборок, строить необходимые сборочные единицы, не выходя в режим создания деталей. Встроенные средства оформления чертежа, позволяют отслеживать ассоциативную связь между моделью и ее чертежом. Характерной чертой Solid Works является то, что после создания твердотельной модели существует возможность автоматического получения рабочих чертежей детали или сборки с изображениями основных видов, проекций, простановкой основных размеров и обозначений. Для оформления в полном соответствии с ЕСКД рабочие чертежи передаются в чертёжно-графический редактор КОМПАС 5. Процесс построения чертежа упрощается за счет автоматического формирования сложных разрезов и выносок.

## **ЧИСЛОВОЕ ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Числовое программное управление (ЧПУ) — компьютеризованная система управления, управляющая приводами технологического оборудования, включая станочную оснастку. Оборудование с ЧПУ может быть представлено:

станочным парком, например, станками (станки, оборудованные числовым программным управлением, называются станками с ЧПУ): для обработки металлов (например, фрезерные или токарные), дерева, пластмасс, для резки листовых заготовок, для обработки давлением и т.д.

приводами асинхронных электродвигателей, использующих векторное управление; характерной системой управления современными промышленными роботами.

Несколько станков с ЧПУ могут объединиться в гибкую автоматизированную производственную систему (ГПС), которая, в свою очередь, может быть дополнена гибким автоматизированным участком (ГАУ) и войти в состав автоматической линии (производства масштаба участка либо цеха), ГАП.

Аббревиатура ЧПУ соответствует двум англоязычным — NC и CNC, — отражающим эволюцию развития систем управления оборудованием.

1. Системы типа NC (англ. Numerical control), появившиеся первыми, предусматривали использование жестко заданных схем управления обработкой — например, задание программы с помощью штекеров или переключателей, хранение программ на внешних носителях. Каких-либо устройств оперативного хранения данных, управляющих процессоров не предусматривалось.

2. Более современные системы ЧПУ, называемые CNC (англ. Computer numerical control), — системы управления, позволяющие использовать для модификации существующих/написания новых программ программные средства. Базой для построения CNC служат современные (микро)контроллер или (микро)процессор: 1. микроконтроллер,

2. контроллер с программируемой логикой,

3. управляющий компьютер на базе микропроцессора.

Возможна реализация модели с централизованным автоматизированным рабочим местом (например, ABB Robot Studio, Microsoft Robotics Developer Studio) с последующей загрузкой программы посредством передачи по промышленной сети.

Структурно в состав ЧПУ входят:

пульт оператора (или консоль ввода-вывода), позволяющий вводить управляющую программу, задавать режимы работы; выполнить операцию вручную. Как правило, внутри шкафа пульта современной компактной ЧПУ размещаются её остальные части;

дисплей (или операторская панель) — для визуального контроля режимов работы и редактируемой управляющей программы/данных; может быть реализован в виде отдельного устройства для дистанционного управления оборудованием;

контроллер - компьютеризированное устройство, решающее задачи формирования траектории движения режущего инструмента, технологических команд управления устройствами автоматики станка, общим управлением, редактирования управляющих программ, диагностики и вспомогательных расчетов (траектории движения режущего инструмента, режимов резания);

ПЗУ - память, предназначенная для долговременного хранения (годы и десятки лет) системных программ и констант; информация из ПЗУ может только считываться;

ОЗУ — память, предназначенная для временного хранения управляющих программ и системных программ, используемых в данный момент.

В роли контроллера выступает промышленный контроллер, как то: микропроцессор, на котором построена встраиваемая система; программируемый логический контроллер либо более сложное устройство управления — промышленный компьютер.

Важной характеристикой CNC-контроллера является количество осей (каналов), которые он способен синхронизировать (управлять) — для этого требуется высокая производительность и соответствующее ПО.

В качестве исполнительных механизмов используются сервоприводы, шаговые двигатели.

Для передачи данных между исполнительным механизмом и системой управления станком обычно используется промышленная сеть (например, CAN, Profibus, Industrial Ethernet).

## **ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Параметрическое программирование можно сравнить с компьютерными языками программирования, такими как Basic, C, Pascal. Однако этот язык присущ ЧПУ и может быть доступен на уровне G - функций, что дает возможность работать с ним, как с объектно - ориентированным.

Становится возможным вариантность, вычисления, применение логических операторов. Работая с проходами инструмента, как с объектами открываются такие возможности, как организация циклов, 3 - D обработка. Во многих версиях параметрического программирования добавляются еще и специфические элементы, расширяющие основные функции. К примеру, Custom Macro предоставляет пользователям доступ к параметрам ЧПУ, хранящих информацию о коррекции инструмента, положении рабочих органов станка в системе координат, значение G - кода, ошибки и прочее из управляющей программы. Подобно компьютерным языкам программирования, в параметрическом программировании их существует несколько версий User Task (Okuma), Q Routine (Sodick), Advanced Programming Language (APL G&L). Достаточно популярен Custom Macro, в системе ЧПУ Fanuc. Но самым глубоким и обширным из всех перечисленных на сегодняшний день является язык макропрограммирования (ЯМ) FMS - 3000. Он из подмножества языка Basic и предназначен кроме перечисленных выше возможностей, операций ввода и вывода на экран текстовой, числовой и графической информации. Также ЯМ позволяет осуществить доступ к системным переменным и ячейкам программы

электроавтоматики, создавать свои собственные функции, которые наиболее полно реализуют управление всех компонентов станка. С его помощью можно разрабатывать диалоговые УП, а при условии отсутствия в тексте функций управления станком (G, M - функций) FMS - 3000 позволяет выполнять программы ЯМ параллельно с отработкой управляющей программы. Данная особенность дает возможность организовать дополнительные информационные окна, систему слежения за дополнительными параметрами, режимы контроля и протоколирования процессов обработки и т.д. Такие программы выполняются в фоновом режиме и в свободное от всех других задач время, при большой загрузке могут временно приостанавливать свою работу.

Используя такие возможности, ЧПУ-программист имеет самый эффективный способ управления ЧПУ.

После того как составлена управляющая программа, оператор при помощи программатора вводит ее в контроллер. Команды управляющей программы размещаются в ОЗУ. В процессе создания или после ввода управляющей программы оператор (в данном аспекте выполняющий роль программиста) может отредактировать ее, включив в работу системную программу редактора и выводя на дисплей всю или нужные части управляющей программы и внося в них требуемые изменения. При работе в режиме изготовления детали управляющая программа кадр за кадром поступает на выполнение. В соответствии с командами управляющей программы контроллер вызывает из ПЗУ соответствующие системные подпрограммы, которые заставляют работать подключенное к ЧПУ оборудование в требуемом режиме — результаты работы контроллера в виде электрических сигналов поступают на исполнительное устройство — приводы подач, либо на устройства управления автоматикой станка.

Управляющая система считывает инструкции специализированного языка программирования (например, G-код) программы, который затем интерпретатором системы ЧПУ переводится из входного языка в команды управления главным приводом, приводами подач, контроллерами управления узлов станка (например, включить/выключить подачу охлаждающей эмульсии).

Разработка управляющих программ в настоящее время выполняется с использованием специальных модулей для систем автоматизированного проектирования (САПР) или отдельных систем автоматизированного программирования (САМ), которые по электронной модели генерируют программу обработки.

Для определения необходимой траектории движения рабочего органа в целом (инструмента/заготовки) в соответствии с управляющей программой используется интерполятор, рассчитывающий положение промежуточных точек траектории по заданным в программе конечным.

В системе управления, кроме самой программы, присутствуют данные других форматов и назначения. Как минимум, это машинные данные и данные пользователя, специфически привязанные к конкретной системе управления либо к определенной серии (линейке) однотипных моделей систем управления.

Программа для станка (оборудования) с ЧПУ может быть загружена с внешних носителей, например, магнитной ленты, перфорированной бумажной ленты (перфоленты), дискеты или флеш-накопителей в собственную память либо временно, до выключения питания — в оперативную память, либо постоянно — в ПЗУ, карту памяти или другой накопитель: жёсткий диск или твердотельный накопитель. Помимо этого, современное оборудование подключается к централизованным системам управления посредством заводских (цеховых) сетей связи.

Наиболее распространенный язык программирования ЧПУ для металлорежущего оборудования описан документом ISO 6983 Международного комитета по стандартам и называется «G-код». В отдельных случаях — например, системы управления гравировальными станками — язык управления принципиально отличается от стандарта. Для простых задач, например,

раскроя плоских заготовок, система ЧПУ в качестве входной информации может использовать текстовый файл в формате обмена данными — например, DXF или HPGL.

## БАЗЫ ДАННЫХ

В отношении проектирования БД осознаны и интегрированы в стройные схемы методы выполнения таких проектных этапов:

- сбор сведений о ПрО (анализ потребностей и описание ПрО с использованием так называемых "процессного" или UP, "usage perspective" подхода и "непроцессного" или ISP, "information structure perspective" подхода);
- выбор языка представления т.н. "семантической" модели для фиксации сведений о ПрО, их последующего анализа и синтеза модели БД;
- анализ собранных сведений о ПрО: классификация, формализация и интеграция структурных элементов описания ПрО, формализация как структурных, так и процедурных ограничений целостности элементов в будущей модели ПрО, определение динамики экземпляров объектов ПрО;
- синтез концептуальной модели БД: проектирование целостной концептуальной схемы БД на выбранном языке семантического моделирования;
- выбор конкретной модели данных и СУБД для реализации БД;
- проектирование логической схемы БД для выбранной СУБД (называющееся также "проектирование реализации");
- разработка физической структуры БД ("физической" или "внутренней" схемы, она же - "схема размещения"), включая размещение БД по узлам;
- разработка технологии и процедур начального создания и заполнения БД;
- разработка технологии и процедур сопровождения БД;
- разработка универсальных программ доступа к БД и соответствующих интерфейсов пользователей;
- информационное обеспечение разработки конкретных программ обработки данных: обеспечение метаинформацией, данными контрольных примеров и др.;
- получение обратной связи от разработчиков прикладных программ и пользователей Информационной Системы (ИС) о полноте и эффективности организации БД;
- тестирование БД, ее развитие и улучшение (настройка) ее структуры.

Проектирование комплексной по предметной направленности, интегрированной и, обычно, большой по размеру БД стало сложной задачей. Наличие целостной методологии проектирования позволило позаботиться о "сапожнике-проектировщике" и начать шить ему сапоги в виде систем автоматизации проектирования БД. Этому способствовало наличие технологического опыта в организации и компьютерной поддержке систем разработки программного обеспечения и, с другой стороны, использование активных интегрированных словарей-справочников данных (DD/D, Data Dictionary/Directory). Так возникли системы CASE (Computer Aided System Engineering) - системы для структурного проектирования БД и связанных с ними ИС, ориентированные на модели данных, реализованные в различных СУБД. Наибольшую популярность получили CASE-системы для реляционных СУБД с SQL-моделями данных, а DD/D переименовался в CASE-репозиторий проектируемой ИС. На этом пути возникло два основных направления развития CASE-систем и технологий проектирования: CASE-системы для проектирования собственно БД (или т. н. Upper-CASE) и интегрированные инструменты, позволяющие и проектировать БД, и разрабатывать использующие их прикладные программы. Важно отметить, что и Upper-CASE в общем случае имеют много средств для описания функций обработки информации (при использовании процессного подхода к сбору и анализу сведений о ПрО) и хранения этих описаний в репозитории. Это подтверждает положение о сильной связи проекта БД и проекта ИС, базирующейся на

этой БД. Вместе с тем, эта связь не абсолютна, и принцип отделения БД от программ сохраняется.

Часто интегрированность функций приводит к сильному сращиванию CASE-системы с одной СУБД, на которую ориентированы CASE-средства разработки прикладных программ. Такое сращивание имеет несколько проявлений, например, CASE-репозиторий поддерживается средствами "родной", но единственной СУБД, генерация прикладных программ производится "родными" инструментами разработки этой же СУБД, но только ими. Для таких интегрированных CASE-систем отображение концептуальной модели БД в логическую схему часто делается также только для predetermined СУБД. Последний факт связан с еще одной задачей, которая может ставиться при проектировании БД: проектирование переносимой БД, которая может быть реализована на платформах разных типов компьютеров, операционных систем, СУБД и даже моделей данных, и, при необходимости, переноситься с одной платформы на другую. С учетом сказанного, классическая Мастерская проектировщика БД включает совокупность классических структурных методов проектирования, набор соответствующих инструментов моделирования, реализации, загрузки и сопровождения БД, а также "каскадную" организационную схему выполнения этих работ по принципу "сверху вниз".

Обслуживание производства

Организация и обслуживание рабочих мест

Техническое обслуживание производства:

инструментальное хозяйство предприятия,

ремонтное хозяйство предприятия,

энергетическое хозяйство предприятия.

Транспортно-складское обслуживание производства

Ремонтное хозяйство предприятия.

Зачем нужно ремонтное хозяйство?

В процессе эксплуатации оборудование подвергается физическому износу, из-за чего снижаются его точность, производительность и т.д. Это становится причиной снижения качества продукции, ухудшения технико-эксплуатационных характеристик оборудования и технико-экономических показателей производства. Для компенсации износа и поддержания оборудования в работоспособном состоянии необходимо своевременно заменять износившиеся части оборудования, восстанавливать их первоначальные свойства, производить настройку отдельных агрегатов и выполнять другие виды работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования.

Техническое обслуживание и ремонт оборудования на предприятии осуществляет ремонтное хозяйство. Назначение ремонтного хозяйства предприятия заключается в своевременном и в полном объеме удовлетворение потребностей производственных подразделений предприятия в техническом обслуживании и ремонте оборудования с минимальными затратами.

Какие функции выполняет ремонтное хозяйство?

Ремонтное хозяйство выполняет следующие функции:

- паспортизация и аттестация оборудования;
- разработка технологических процессов ремонта и их оснащения;
- организация и планирование технического обслуживания и ремонта оборудования, труда ремонтного персонала;
- выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту, модернизации оборудования.

Координацию деятельности по техническому обслуживанию и ремонту оборудования на предприятии обычно выполняет главный механик. На небольшом предприятии эта функция может быть возложена непосредственно на управляющего производством.

Транспортно-складское обслуживание производства.

Системы транспортировки и складирования взаимодополняют и взаимозамещают друг друга при организации поставок в технологических целях предприятий. Именно от затрат на хранение и транспортировку зависит выбор схемы снабжения и сбыта и размещения производства, и именно эти затраты имеют решающее значение при принятии многих других решений в области управления операционной деятельностью предприятий.

Транспортно-складская система выполняет важные функции обслуживания основных и вспомогательных процессов на всех уровнях (от рабочего места до уровня компании) в сфере производства, снабжения и сбыта.

В чем назначение транспортного хозяйства?

Вопросы, связанные с транспортировкой, периодически возникают практически у любого предприятия. Если же Ваш бизнес связан с производством, эти вопросы, скорее всего, Вам приходится решать постоянно.

Назначение транспортного хозяйства предприятия заключается в полном удовлетворении потребностей предприятия в грузоперевозках при максимальном использовании транспортных средств и минимальной себестоимости транспортных операций.

Это возможно только на основе правильной организации транспортного хозяйства предприятия и эффективного планирования грузоперевозок.

Какие функции на предприятии выполняет транспортное хозяйство?

Основными функциями транспортного хозяйства предприятия являются перевозки, погрузка-разгрузка и экспедирование грузов. Транспортное хозяйство обслуживает потребности предприятия в грузоперевозках в сфере снабжения, производства и сбыта.

Производственная деятельность предприятия требует перемещения большого объема разнообразных грузов вне и внутри предприятия. На общезаводские склады предприятия и в цехи бесперебойно должны доставляться от внешних поставщиков материальные ресурсы (сырье, материалы, топливо, комплектующие и т.п.). С общезаводских складов предприятия и из цехов непрерывно должна вывозиться готовая продукция для внешних потребителей, а также отходы, предметы утилизации и сбыта. Эти функции выполняет внешний транспорт.

## **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ**

В основе мер обеспечения надежной работы автоматических (автоматизированных) систем лежит непрерывный или периодический контроль за ходом технологических процессов, реализуемых в этих системах. Для реализации этих функций в современном производстве используются микропроцессоры, лазерные системы и др.

Технологическое проектирование технического контроля осуществляется в виде:

систем технического контроля;

процесса технического контроля;

операции технического контроля.

Операции технического контроля разрабатывают для совокупности изделий и технологических процессов и устанавливают в технологической документации на процессы и операции технического контроля.

Систему технического контроля для гибких производственных систем, автоматических (автоматизированных) производств, автоматизированных систем управления технологическими процессами следует разрабатывать в виде системы автоматического (автоматизированного) контроля (САК).

### **Контроль и диагностика в условиях автоматизированного производства**

Контроль — это проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям. Под объектом технического контроля понимаются подвергаемая контролю продукция, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация.

Следовательно, объектом может быть как продукция, так и процесс ее создания.

Важным условием эффективной работы в автоматическом (автоматизированном) режиме и быстрого восстановления работоспособности оборудования является его оснащение средствами диагностики.

### **Организация автоматизированного контроля в производственных системах**

Контроль в АП может быть межоперационным (промежуточным), операционным (непосредственно на стане, агрегате и т.п.), послеоперационным, окончательным. Контролю должны подвергаться все элементы технологической системы: продукт, инструмент, приспособление, само оборудование. Предпочтительными являются методы прямого контроля, хотя методы косвенного контроля шире используются при контроле инструментов, диагностике состояния оборудования.

Контроль в процессе обработки является одной из наиболее активных форм технического контроля, так как позволяет повысить качество выпускаемой продукции при одновременном увеличении производительности труда. Поэтому разрабатываются самонастраивающиеся системы управляющего контроля.

Контроль самонастраивающийся управляющий — это управляющий контроль, при котором на основе информации, получаемой при изменяющихся условиях работы, автоматически изменяются параметры настройки средства контроля до обеспечения заданной точности при произвольно меняющихся внешних и внутренних возмущениях.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ И АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ**

Автоматический контроль — это контроль без участия человека, автоматизированный контроль — с применением средств автоматизации труда контролера. Автоматический контроль в полной мере реализован на заводах автоматах.

Автоматизированный контроль качества продукции является частью системы автоматизированного контроля технологических процессов в производственных системах. Контроль качества продукции на современных предприятиях реализован на MES системах. MES — это программно-аппаратный продукт, расшифровывается как «Система оперативного управления производственными процессами».

Составная часть системы контроля качества анализатор качества — измерительные прибор, измерительная установка или измерительная система, предназначенная для определения геометрических свойств, физико-химических свойств, концентрации, состава или условных характеристик, анализируемых объектов.

Непосредственно на участке обработки осуществляют контроль трех видов:

- установки заготовки в приспособление;
- размера изделия непосредственно на стане, агрегате, станке и т.п.;
- выходной контроль продукции.

Контроль установки заготовки в приспособление может осуществляться на конвейере перед обрабатывающей машиной или на обрабатывающей машине непосредственно перед обработкой. В первом случае могут использоваться датчики положения, расположенные на конвейере, или специальные измерительные установки с роботами. Бесконтактные датчики положения регистрируют отклонение действительного положения измеряемой поверхности от запрограммированного или разность условной базы и измеряемой поверхности (датчики касания).

К бесконтактным датчикам относятся: оптические измерители; лазерные датчики; датчики изображения (технического зрения). Выносной контроль заготовок и деталей в процессе их транспортирования не удлиняет производственного цикла, однако наиболее оперативным является контроль заготовок и деталей непосредственно на стане, агрегате, станке и т.п.. При небольшом увеличении длительности обработки он существенно повышает ее качество, активно воздействуя на процесс обработки.

## **РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВОЛОЧЕНИЯ**

На кафедре МиТ ОД разрабатывалось оборудование и инструмент для волоочильного производства. Рассматривались процессы волочения в монолитной волоке, роликовой волоке, а также бесфильтрное волочение [1-25]. Для процессов волочения проводились физическое моделирование, при этом использовались встроенные функции статистической обработки данных. Также, проводилось моделирование с использованием программных продуктов на компьютере.

## **APM TRANS -МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ВРАЩЕНИЯ**

Передачи вращения предназначены для передачи вращательного движения на расстояние и преобразования механических характеристик этого движения.

Модуль APM Trans позволяет выполнить весь комплекс проектировочных и проверочных расчетов передач, сделать выбор наиболее рациональных параметров этих передач, а также получить рабочие чертежи ведущего и ведомого колес, шкивов, звездочек и т. д. Расчет передач выполняется в соответствии с действующими на настоящий момент ГОСТ Российской Федерации и нормативными документам ряда зарубежных стран.

Модуль APM Trans предназначен для выполнения проектировочного и проверочного расчетов передач наиболее часто встречающихся типов с целью выбора наилучших конструктивных вариантов. Это обеспечивается:

- наличием функций задания произвольного типа нагружения или выбора типового нагружения из базы данных;
- использованием настраиваемых баз данных материалов, допусков, параметров исходного контура и других стандартных параметров при задании исходных данных и в процессе расчета;
- возможностью настройки модуля APM Trans под требуемые стандарты;
- формированием отчетов в формате RTF;
- возможностью сохранения текстовой информации результатов расчета в файлы форматов RTF, INI, XLS, а графической информации – в файлы AGR (формат входящего в систему APM WinMachine графического редактора APM Graph), DXF и SolidEdge (.par).

### **Критерии расчетов**

- Передачи зацеплением проектируются исходя из обеспечения усталостной прочности по контактным напряжениям и напряжениям изгиба.
- Пластмассовые колеса проектируются по износостойкости путем расчета на изгиб.

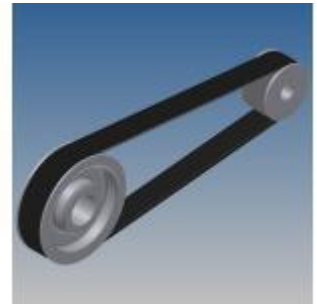
- Цепные передачи проектируются по критерию износостойкости и статической прочности.
- Ременные передачи рассчитывается исходя из нагрузочной способности.
- Типы рассчитываемых и проектируемых передач



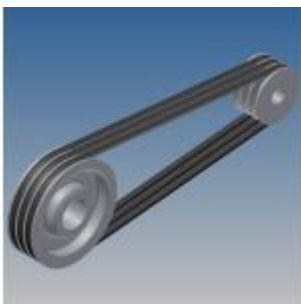
Коническая передача с круговыми зубьями



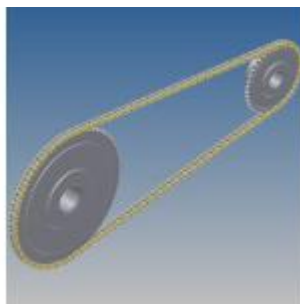
Коническая прямозубая передача



Плоскоремennая передача



Ременная передача



Цепная передача



Цилиндрическая косозубая передача



Цилиндрическая передача с внутренним зацеплением



Цилиндрическая прямозубая передача



Цилиндрическая шевронная передача



Червячная передача

Выполнение работы:

Запустить модуль. В соответствии с заданием преподавателя выбрать тип рассчитываемой и проектируемой передачи из списка:

- Коническая передача с круговыми зубьями
- Коническая прямозубая передача
- Плоскоременная передача
- Ременная передача
- Цепная передача
- Цилиндрическая косозубая передача
- Цилиндрическая передача с внутренним зацеплением
- Цилиндрическая прямозубая передача
- Цилиндрическая шевронная передача
- Червячная передача
- Эвольвентные передачи зацеплением:
  - цилиндрические с прямым зубом внешнего и внутреннего зацеплений;
  - цилиндрические с косым зубом (внешнего зацепления и шевронные);
  - конические ортогональные с прямым зубом (равносмещенные и не равносмещенные);
  - пластмассовые цилиндрические с прямым зубом (внешнего и внутреннего зацеплений);
  - конические с круговыми зубьями для трех известных форм;
  - червячные: с архимедовым, эвольвентным и конволютным червяком; с червяком, образованным торовой и конусной поверхностью, и т. п.
- Передачи гибкой связью:
  - •ремённые: с плоским ремнем, с клиновыми и поликлиновыми ремнями, с зубчатым ремнем;
  - •цепные различных типов и модификаций.

Решаемые задачи

В результате расчета передач зацеплением для произвольно заданного исходного контура получить:

- геометрические размеры передачи по заданным нагрузкам и долговечности;
- все необходимые геометрические параметры передачи;
- силы в зацеплении;
- значения действующих контактных напряжений и напряжений изгиба;
- величины допускаемых усталостных контактных напряжений и напряжений изгиба;
- параметры контроля для всех известных вариантов исполнения передач;
- параметры качества зацепления;
- допуски основных линейных размеров деталей зацепления и передачи в целом;
- величину и допуск бокового зазора и других параметров точности;
- форму эвольвентного зуба, полученную методом обкатки, для контроля заострения/подреза;
- моделирование процесса зацепления колес для проверки отсутствия интерференции;
- автоматически сгенерированные чертежи деталей зацепления.

Результатом расчета передач гибкой связью являются:

В результате расчета передач гибкой связью получить:

- геометрические размеры шкивов и звездочек;
- нагрузки, действующие в рабочем режиме передачи;
- автоматически сгенерированные чертежи шкивов и звездочек.

Виды расчетов:

- Проектировочный, когда по заданным нагрузкам, кинематическим параметрам, материалам, времени работы и режимам нагружения определяются основные геометрические размеры и все остальные параметры передачи
- Проектировочный с ограничениями, когда необходимо спроектировать передачу при ряде фиксированных выходных параметров.
- Проверочный по моменту, когда по заданным геометрическим параметрам определяется передаваемый передачей момент.
- Проверочный по долговечности, когда по заданным геометрическим параметрам рассчитывается долговечность передачи.
- Проверочный геометрический, при котором по ряду геометрических параметров, считающихся заданными, определяются остальные.

Получить чертеж сборочный и чертежи детализировки указанных деталей.

## **APM DRIVE - МОДУЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДА**

вращательного движения произвольной структуры

Для обеспечения движения исполнительного механизма используются двигатели. В большинстве случаев между двигателем и исполнительным механизмом устанавливается передаточный механизм, который преобразовывает исходное вращательное движение двигателя в более тихоходное движение исполнителя. В качестве передаточных механизмов применяются одно- или многоступенчатые редукторы в совокупности с ременными и цепными передачами, коробки скоростей и т. д. Редуктор, как правило, содержит зубчатые передачи, валы и подшипники качения, устанавливаемые в корпусе. Модуль APM Drive предназначен для комплексного расчета и оформления конструкторской документации всех элементов многоступенчатого привода.

Назначение APM Drive

Процесс проектирования привода вращательного движения произвольной структуры с использованием модуля APM Drive сводится к заданию кинематической схемы в специальном редакторе, вводу начальных и конечных параметров привода в целом, а также анализу и корректировке полученных результатов. Этот модуль работает совместно с модулями расчета зубчатых передач APM Trans, валов и осей APM Shaft и подшипников качения APM Bear, так что на выходе можно получить все расчетные характеристики, которые обеспечивают эти модули.

Дополнительно при расчетах используется база данных APM MechanicalData, а для получения сгенерированных соответствующими модулями чертежей проектируемых элементов привода применяется графический редактор APM Graph.

Редактор задания кинематической схемы передаточного механизма

Редактор предназначен для создания кинематической схемы привода. Число ступеней редуктора может быть достаточно большим.

Из множества типов передач, валов и подшипников можно собрать привод произвольной структуры для передачи вращения от двигателя к исполнительному механизму. При этом модуль APM Drive позволит автоматически определить геометрические размеры передач и валов, а также подобрать подшипников качения из базы данных.

**Выполнение работы. Проектирование привода:**

Получить задание с типом проектируемой зубчатой передачи:

- цилиндрические прямозубые, косозубые и шевронные эвольвентного профиля;
- конические с прямым и круговым зубом;
- червячные различных типов;
- планетарные наиболее распространенных типов.

Задать кинематическую схему в редакторе, указать типы используемых подшипников. По заданной кинематической схеме привода выполняется разбиение кинематических и силовых параметров (передаточного отношения, момента и числа оборотов) по ступеням в автоматическом и интерактивном режимах.

Кроме этого в процессе подготовки к расчету необходимо задать:

- режим нагружения привода (постоянный или переменный);
- термообработка материала зубчатых колес;
- материалы валов.

Результатами проектировочного расчета являются:

- параметры зубчатых передач (такие как геометрические размеры, силы в зацеплении, параметры инструмента для нарезания и контроля и т. д.);
- конструкции и размеры валов;
- геометрические размеры подшипников качения, подобранные из базы данных.

Принятые по результатам проектировочного расчета параметры каждого из элементов кинематической цепи можно редактировать для получения более рациональных характеристик привода. При этом предполагается, что сам привод выполнен по развернутой компоновочной схеме, когда все валы размещаются в одной плоскости.

Для планетарных передач помимо обычных прочностных расчетов выполняется подбор чисел зубьев с учетом выполнения условий соседства, соосности и сборки.

При проверочном расчете по заданной геометрии можно рассчитать выходные характеристики при произвольном размещении осей валов в пространстве.

Создание конструкторской документации привода

Работа APM Drive завершается передачей расчетной информации в текстовый файл с расширением RTF и автоматической генерацией сборочного чертежа привода и чертежей отдельных деталей проектируемых элементов в модуле APM Graph. Полученный чертеж необходимо рассматривать как заготовку в том смысле, что предполагается его последующая доработка в ручном режиме в модуле APM Graph. В результате можно получить сборочный чертеж привода и чертежи входящих в него деталей.

### **APM STRUCTURE3D - МОДУЛЬ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, УСТОЙЧИВОСТИ, СОБСТВЕННЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЕТАЛЕЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

Модуль APM Structure3D является базовым расчетным ядром системы APM WinMachine. Он обладает широкими возможностями для создания моделей конструкций, выполнения необходимых расчетов и визуализации полученных результатов. Использование этих возможностей позволит сократить сроки проектирования и снизить материалоемкость объекта, а также уменьшить стоимость проектных работ.

Модуль APM Structure3D предназначен для комплексного анализа трехмерных конструкций произвольной формы. С его помощью можно методом конечных элементов выполнить прочностной расчет произвольно закрепленных моделей, включающих стержневые, тонкие пластинчатые и объемные твердотельные элементы конструкций (включая сборки), а также канаты и произвольные комбинации всех перечисленных выше элементов. Исходные

упруго-деформационные характеристики элементов при этом могут быть линейными, а также геометрически и физически нелинейными.

Анализ полученных результатов и последующая модификация позволяет выбрать наилучшие конструктивные решения, оптимальные по весу и стоимости.

Функциональные возможности модуля APM Structure3D

Линейные решения:

- расчет напряженно-деформированного состояния (статический расчет)
- расчет критических сил и форм потери устойчивости
- тепловой расчет
- расчет термоупругости

Нелинейные решения:

- расчет напряженно-деформированного состояния с учетом геометрической нелинейности
- расчет напряженно-деформированного состояния с учетом физической нелинейности
- расчет напряженно-деформированного состояния для случая контактного взаимодействия

Динамический анализ:

- определение частот и форм собственных колебаний, в том числе с предварительным нагружением
- расчет вынужденных колебаний – определение поведения системы при заданном законе изменения вынуждающей нагрузки от времени с анимацией колебательного процесса
- расчет на вибрацию оснований

Результатами расчетов являются:

- распределение эквивалентных напряжений и их составляющих, а также главных напряжений
- распределение линейных, угловых и суммарных перемещений
- распределение деформаций по элементам конструкции
- карты распределения и эпюры внутренних усилий
- распределение усилий в контактной зоне
- коэффициент запаса устойчивости и форма потери устойчивости
- распределение коэффициентов запаса и числа циклов по критерию усталостной прочности
- распределение коэффициентов запаса по критериям текучести и прочности
- распределение температурных полей и термонапряжений
- координаты центра тяжести, вес, объем, площадь поверхности, моменты инерции модели, а также моменты инерции, статические моменты и площади поперечных сечений
- реакции в опорах, а также суммарные реакции, приведенные к центру тяжести модели конструкции

**Выполнение работы.** Получить задание: чертеж конструкции.

С помощью APM Structure 3D произвести расчеты и получить:

- полностью либо частично подготовить геометрическую модель металлоконструкции, используя при этом библиотеки наиболее распространенных типовых схем
- выполнить проверку несущей способности и автоматически подобрать оптимальное поперечное сечение стержневого элемента (по критериям прочности и устойчивости, а также в

соответствии с требованиями СНиП II-23-81\*) из библиотеки стандартных сечений либо из библиотеки, подготовленной пользователем

- автоматически получить чертежи стандартных узлов соединений металлоконструкций
- провести расчет сварных швов узловых элементов, а также расчет групповых болтовых соединений
- подготовить проекционные чертежи модели конструкции в целом и отдельных ее деталей
- получить таблицу расхода (по материалу и профилям) по элементам металлоконструкции

## **APM STUDIO - МОДУЛЬ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО И ПОВЕРХНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Модуль APM Studio предназначен для создания поверхностных и твердотельных объектов в трехмерном пространстве и подготовки построенных моделей к прочностному и динамическому анализу, а также для выполнения расчетов и визуализации результатов этих расчетов.

В состав APM Studio входят инструменты геометрического моделирования, подготовки сборок к расчёту, задания граничных условий и нагрузок, а также встроенные генераторы конечно-элементной сетки (как с постоянным, так и с переменным шагом) и постпроцессор. Этот функциональный набор позволяет смоделировать поверхностный или твердотельный объект и комплексно проанализировать поведение расчётной модели при различных воздействиях.

Поверхности создаются с помощью операций над плоскими объектами, подготовленными в эскизах. Формирование поверхностей происходит с помощью команд выталкивания и вращения, создания сфер и контурных плоскостей и т. д., а криволинейные поверхности, помимо этого, могут задаваться набором произвольных поперечных сечений. Кроме того, при построении поверхностей можно пользоваться операциями над готовыми поверхностями, такими как пересечение, сшивание поверхностей, удаление поверхностей и др.

Твердые тела создаются при помощи стандартных процедур, таких как выталкивание, вращение, кручение, выталкивание по пути и т. п., производимых над плоскими объектами (замкнутыми контурами), подготовленными в эскизах. Также можно использовать операции объединения, вычитания, пересечения и сборки. Полученная при этом модель будет представлять собой результат выбранного типа операции над существующим и вновь создаваемым объектом.

Выполнение работы:

Импортировать подготовленную в редакторе КОМПАС твердотельную модель. Трехмерные модели можно импортировать в APM Studio через обменный формат STEP. Подготовить к анализу напряженно-деформированного состояния. Отредактировать модель с помощью имеющихся средств, в соответствии с заданием. Подготовить модель к расчетам – закрепить модель и приложить нагрузку. В APM Studio можно смоделировать действие нагрузок различных типов:

- силы, распределенные по длине (погонные);
- давление гидростатического типа;
- давление контактного типа;
- нагрузка, изменяющаяся по произвольному закону;
- температурные градиенты;
- линейные и угловые перемещения.

С помощью APM Studio можно выполнить следующие виды расчетов:

- статической прочности (в том числе с учетом температурных полей);

- статической прочности сборок;
- собственных частот;
- собственных частот с учетом напряженно-деформированного состояния объекта;
- устойчивости;
- стационарной теплопроводности.

Произвести разбиение на конечные элементы. Произвести прочностной анализ.

Получить результаты расчетов:

- распределение эквивалентных напряжений и их составляющих, а также главных напряжений
- распределение линейных, угловых и суммарных перемещений
- распределение деформаций по элементам конструкции
- коэффициент запаса устойчивости и форма потери устойчивости
- распределение коэффициентов запаса и числа циклов по критерию усталостной прочности
- распределение коэффициентов запаса по критериям текучести и прочности
- числовые значения собственных частот и форм колебаний
- распределение температурных полей и термонапряжений
- координаты центра тяжести, вес и моменты инерции модели

## **APM GRAPH - ПЛОСКИЙ ЧЕРТЕЖНЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР**

APM Graph как элемент системы автоматизированного проектирования

Модуль APM Graph предназначен для выполнения графической части компьютерной подготовки конструкторской документации. Он является неотъемлемой частью систем автоматизированного проектирования APM WinMachine и APM Civil Engineering, но может использоваться и как самостоятельный программный продукт.

APM Graph представляет собой плоский (2D) графический редактор, который предоставляет конструктору широкие возможности автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях науки и промышленности, в архитектуре и строительстве. Он эффективно применяется в качестве среды подготовки исходных данных, необходимых для расчетных модулей систем APM WinMachine и APM Civil Engineering.

Вместе с APM Graph поставляется набор баз данных, необходимых при проектировании новых или модернизации старых изделий: база данных стандартных деталей и узлов, справочных данных по общему машиностроению APM Mechanical Data; база данных графической информации по стандартным деталям и элементам строительных конструкций APM Construction Data; база данных стандартных информационных данных для проектирования технологических процессов APM Technology Data; библиотека параметрических сечений металлопроката APM Section Data.

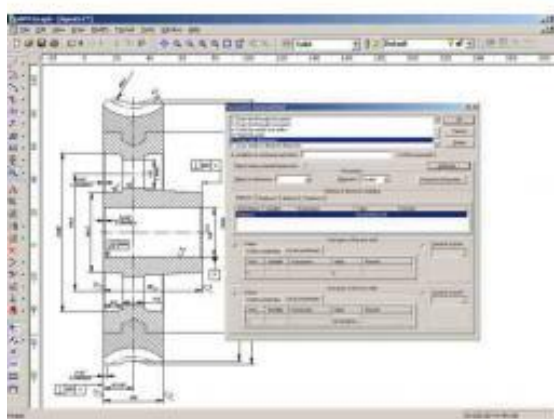
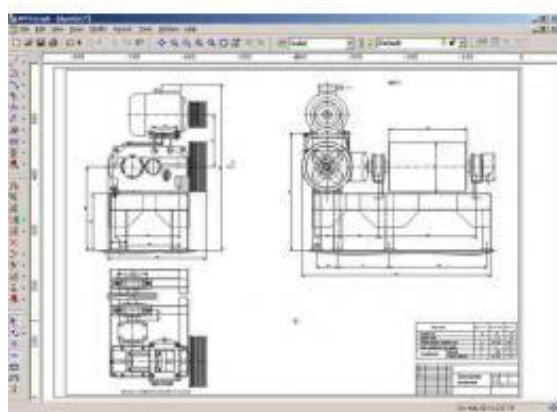
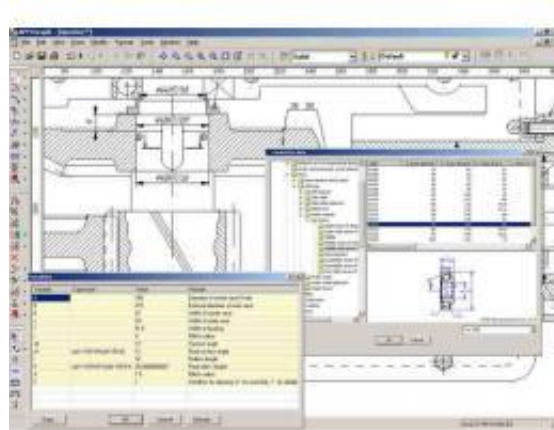
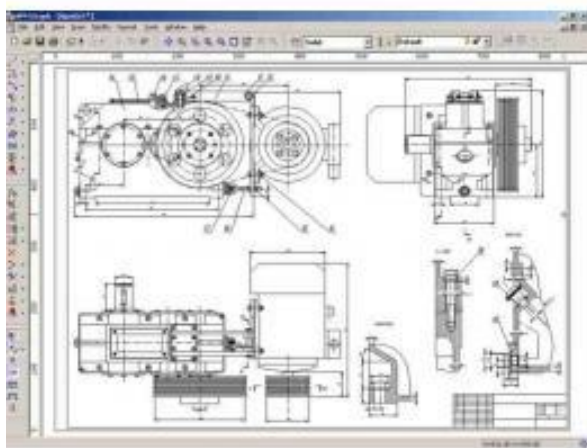
APM Graph предназначен для:

- создания и редактирования проекционных чертежей объектов с использованием обычного набора примитивов, характерных для плоской графики
- вычерчивания кинематических, динамических, гидравлических, электрических и других схем и рисунков, оформления расчетно-пояснительных записок, а также выполнения вспомогательных процедур
- подготовки чертежной документации в соответствии с требованиями ЕСКД и ее последующего хранения, просмотра и редактирования
- параметрического представления графического объекта, позволяющего легко получать графически подобные объекты без операции повторного вычерчивания

- импорта информации из других графических редакторов и экспорта полученных чертежей в другие графические среды (через формат DXF)
- обмена информацией с базами данных (машиностроительной, строительной и технологической), которые являются неотъемлемой частью программных продуктов компании НТЦ АПМ
- обмена графической информацией с расчетными модулями систем APM WinMachine и APM Civil Engineering, т. е. в качестве препроцессора подготовки геометрических исходных данных перед выполнением расчета и постпроцессора для вывода результатов
- расчета размерных цепей

Выполнение работы. Открыть ранее полученный сборочный чертеж рассчитанной передачи. Проставить размеры. Добавить из базы недостающие узлы и детали, например стаканы подшипников и уплотнения. Отредактировать отдельные детали, например добавить на чертежи валов шпоночные пазы, проточки, канавки и др. элементы. Сохранить результаты и подготовить к печати на плотере. Экспортировать чертеж в предложенный формат.

### Примеры чертежей, выполненных в модуле APM Graph



## **АРМ BEAR - МОДУЛЬ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕИДЕАЛЬНЫХ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

Подшипники качения представляют собой основной тип опор для вращающихся деталей машин, различных механических устройств и систем. АРМ Bear выполняет комплексный анализ подшипников качения. Используя этот не имеющий аналогов модуль, можно рассчитать основные характеристики подшипников и выбрать оптимальные конструкции подшипниковых узлов. Расчет может вестись как при постоянном, так и при переменном режимах нагружения.

Эффективный метод расчета неидеальных подшипников – моделирование вместо определения единичных параметров

Подшипник считается неидеальным, если погрешностями его изготовления нельзя пренебречь в контексте решаемой задачи. Многие важные задачи контактной жесткости и контактных напряжений требуют, чтобы подшипник рассматривался именно как неидеальный. В НТЦ АПМ разработан универсальный метод решения контактных задач, надежность и эффективность которого подтверждены результатами экспериментальных исследований.

Распределение нагрузок на тела качения существенно влияет на долговечность подшипника. Расчет на долговечность сводится к определению времени работы подшипника до момента начала выкрашивания дорожек качения.

Важным параметром, характеризующим работу подшипниковых опор, является класс точности, который напрямую связан с величиной смещений вала. В зависимости от типа подшипника величины этих перемещений в общем случае могут иметь осевые, радиальные и боковые составляющие.

С целью изучения картины статистического рассеяния выходных параметров в модуле АРМ Bear их расчет выполняется для ста произвольных положений центра подшипника.

Результаты расчета нагрузок позволяют также определить серию энергетических характеристик, от которых зависит потребление энергии и рабочая температура подшипника: коэффициент полезного действия, моменты трения, потери мощности при трении, тепловыделение и т. д.

Выполнение работы. По заданию преподавателя выбрать тип подшипника. Типы рассчитываемых подшипников:

- шариковые радиальные подшипники
- шариковые сферические подшипники
- шариковые радиально-упорные подшипники
- шариковые упорные подшипники
- роликовые радиальные подшипники
- роликовые сферические подшипники
- роликовые радиально-упорные подшипники
- роликовые упорные подшипники

Ввод исходных данных

Задать нагрузку на подшипник и режим работы. Нагрузки, действующие на подшипник, могут быть произвольными, при этом в качестве внешней нагрузки можно рассматривать также и силу преднатяга. Величина преднатяга в зависимости от типа подшипника задается либо в виде приложенной осевой (радиальной) нагрузки, либо в виде радиальных (осевых) перемещений.

С помощью АРМ Bear рассчитать:

- перемещения (жесткость);
- долговечность;
- момент трения;

- наибольшие контактные напряжения;
- потери мощности;
- тепловыделение;
- силы, действующие на тела качения.

Результаты расчета представить различными способами в виде:

- таблиц со статистическими характеристиками;
- гистограмм компонент перемещений;
- пространственного поля положений центра подшипника;
- анимации движения подшипника;
- графиков, описывающих изменения параметра по углу поворота подшипника.

## **APM JOINT - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН**

Детали, составляющие отдельные узлы, соединяются друг с другом, образуя более крупные структурные единицы, совокупность которых приводит к образованию всего многообразия машин, механических устройств, строительных и машиностроительных конструкций. Способы таких соединений разнообразны, так же как и методы их инженерного расчета и проектирования. Соединения бывают резьбовыми, сварными, заклепочными и т.п.

Все эти типы соединений могут быть спроектированы с помощью модуля APM Joint. При расчете машиностроительных соединений используются общеизвестные методики. Расчет соединений элементов строительных конструкций проводится с учетом специфики такого рода соединений.

Модуль APM Joint предназначен для выполнения проектировочного и проверочного расчетов соединений с целью выбора наилучших конструктивных вариантов. Это обеспечивается:

- наличием полнофункционального плоского графического редактора;
- возможностью импорта геометрической информации через формат DXF из сторонних графических редакторов;
- наличием функций задания нагрузок различных типов;
- формированием отчетов с результатами расчета, которые можно сохранять в формате RTF;
- использованием настраиваемых баз данных материалов и других стандартных параметров при задании исходных данных и в процессе расчета;
- возможностью настройки модуля APM Joint под требуемые стандарты.

Типы нагрузок

- статические силы и моменты;
- переменные по времени силы и моменты.

Критерии расчетов

Резьбовые соединения с зазором рассчитываются по следующим критериям:

- статической прочности на растяжение;
- выносливости;
- нераскрытия стыка.

Резьбовые соединения без зазора рассчитываются по критериям:

- статической прочности на сдвиг;

- выносливости;
- несдвигаемости.

Сварные стыковые соединения рассчитываются из условия статической и усталостной прочности по нормальным напряжениям.

Сварные нахлесточные соединения рассчитываются по условию статической и усталостной прочности по касательным напряжениям.

Сварные тавровые соединения стыковым швом рассчитываются исходя из условия статической и усталостной прочности по нормальным напряжениям.

Сварные тавровые соединения угловым швом рассчитываются из условия статической и усталостной прочности по касательным напряжениям.

Сварные угловые соединения рассчитываются из условия прочности по касательным напряжениям.

Сварные соединения точечной сваркой рассчитываются исходя из статической прочности на сдвиг.

Цилиндрические и конические соединения с натягом рассчитываются по критерию статической прочности, а также по условиям нераскрытия стыка и несдвигаемости.

Шпоночные, шлицевые и профильные соединения рассчитываются на прочность смятия контактирующих поверхностей.

Клеммовые соединения рассчитываются по критерию несдвигаемости.

Штифтовые соединения рассчитываются по условию прочности на срез и смятие.

Выполнение работы. По заданию преподавателя выбрать тип рассчитываемого и проектируемого соединения из перечня:

1.Резьбовые групповые соединения при произвольном нагружении, установленные в отверстиях с зазором и без зазора.

2.Сварные соединения следующих типов:

- стыковые;
- нахлесточные;
- тавровые стыковым швом;
- тавровые угловым швом;
- угловые;
- точечной сваркой.

1.Заклепочные соединения

2.Соединения деталей цилиндрической формы:

- с натягом (цилиндрические и конические);
- шпоночные (призматической, сегментной, клиновой и тангенциальной шпонкой);
- шлицевые (прямобоочные, эвольвентные, треугольные);
- штифтовые (осевые и радиальные);
- профильные соединения различных типов;
- клеммовые соединения различных исполнений.

Решаемые задачи. Произвести проектировочный расчет. По заданным геометрическим параметрам, действующим нагрузкам и материалам определяются:

- диаметры винтов (болтов, шпилек) для группового резьбового соединения;
- катет сварного шва для сварного соединения;
- диаметр сварной точки точечного соединения;
- допуски линейных размеров и подбор посадки для соединений с натягом;

- линейные размеры шпонок, шлицев, профильных, клеммовых и штифтовых соединений.

Произвести проверочный расчет. По заданным геометрическим параметрам, действующим нагрузкам и материалам определяются коэффициенты запаса статической и усталостной прочности.

## **APM SHAFT - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАЛОВ И ОСЕЙ**

Валы служат опорой вращающихся деталей и передают вращающие моменты. Они относятся к числу наиболее ответственных деталей машин, поэтому к ним предъявляются высокие требования по точности изготовления, прочности, жесткости, устойчивости и характеру колебаний. Модуль APM Shaft позволяет выполнить весь цикл проектирования валов и осей, начиная от разработки конструкции и заканчивая статическим и динамическим расчетом.

Функциональные возможности APM Shaft

С помощью APM Shaft можно рассчитать и построить:

- реакции в опорах валов;
- эпюры моментов изгиба и углов изгиба;
- эпюры моментов кручения и углов закручивания;
- деформированное состояние вала;
- напряженное состояние при статическом нагружении;
- коэффициент запаса по усталостной прочности;
- эпюры распределение поперечных сил;
- собственные частоты и собственные формы вала.

Результаты расчета можно сохранить во внутреннем файле, а также в файле с расширением \*.rtf, который при необходимости легко редактируется.

Отличительной особенностью графического редактора валов модуля APM Shaft является наличие специального набора примитивов — это основные элементы конструкции вала (цилиндрические и конические участки, фаски, галтели, канавки, отверстия, участки с резьбой, шпонки, шлицы и т. д.), действующие на вал нагрузки и опоры, на которых он размещается. Использование таких примитивов значительно упрощает ввод и редактирование геометрии вала и других данных, необходимых для выполнения расчетов.

**Выполнение работы.** Получить задание преподавателя. С помощью редактора APM Shaft произвести:

- задание конструкции вала;
- ввод действующих на вал нагрузок;
- размещение опор, на которых установлен вал.

ВЗадать материал вала. В состав системы APM WinMachine входит база данных APM Material Data, в которой размещены все необходимые параметры материалов, такие как модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность и т. п. Для создания рабочего чертежа используются разделы базы данных APM Mechanical Data.

Произвести прочностные расчеты. Расчет усталостной прочности сводится к нахождению коэффициента запаса в текущем сечении по длине вала, причем как при постоянной внешней нагрузке, так и в случае, когда известен закон ее изменения во времени.

Напряженное и деформированное состояния вала рассчитываются методами сопротивления материалов. Так, деформированное состояние описывается методом Мора, а раскрытие статической неопределимости выполняется методом сил. Статическая прочность оценивается

по эквивалентным напряжениям, полученным энергетическим методом. Динамические характеристики, такие как собственные частоты и собственные формы, определяются методом начальных параметров.

С помощью APM Shaft подготовить данные для дальнейшей автоматической генерации рабочего чертежа вала. Чертеж сохраняется в модуле APM Graph в формате \*.agr.

Окончательное редактирование чертежа произвести с помощью чертежно-графического редактора APM Graph.

### **APM CAM - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Кулачковые механизмы применяются для преобразования вращательного движения в поступательное или качательное движение толкателя. В механизмах этого типа закон движения толкателя определяется геометрической формой кулачка и видом толкателя. Кулачковые механизмы часто используются в качестве устройств управления, задающих тот или иной закон движения. Модуль APM Cam предназначен для проектирования элементов кулачкового механизма по известному закону движения.

Выполнение работы. Получить задание от преподавателя. Выбрать тип кулачкового механизма, задать вспомогательные параметры: геометрические, а также сведения по материалам.

Задать закон движения в одном из следующих видов:

- график перемещения;
- график, определяющий изменение скорости по углу поворота кулачка;
- график, определяющий изменение ускорения по углу поворота кулачка.

Для ввода графической информации в модуле имеется специальный инструмент, с помощью которого можно задать график функции в виде сплайна или в виде набора линейных отрезков и любой их комбинации. Заданная таким образом функция движения может быть при необходимости отредактирована. Предусмотрен ввод аналитических функций и информации из файла. Для аналитического задания функций существует редактор обработки аналитических выражений.

Критерии расчета. Профиль кулачка выбирается исходя из заданного закона движения толкателя, диаметр — из ограничения угла давления, а толщина и радиус толкателя — из ограничений по наибольшим напряжениям в контакте.

Получить результаты расчета:

- рассчитать профиль кулачка и представить его в декартовых и полярных координатах;
- определить закон изменения углов давления по углу поворота кулачка;
- представить профиль кулачка и смоделировать его работу, используя при этом анимационные возможности;
- построить рабочий чертеж кулачка.

### **APM PLAIN - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Подшипники скольжения — важный тип опор вращения, который часто применяется в конструкциях, работающих в сложных условиях, а именно: при высоких вибрационных и ударных нагрузках; низких и особо высоких частотах вращения; повышенных требованиях к стабильности и точности положения валов; работе в воде и агрессивных средах; недостатке смазки или вообще без нее и т. д. Надежность работы подшипников определяет работоспособность и долговечность машин. Модуль APM Plain осуществляет всесторонний расчет подшипников скольжения. Используя этот модуль, можно рассчитать основные характеристики подшипников и выбрать оптимальные конструкции подшипниковых узлов.

Критерием расчета подшипников жидкостного трения является условие, при котором толщина зазора между находящимися в относительном движении поверхностями не меньше некоторой заданной допустимой величины.

Для подшипников полужидкостного трения аналогичный критерий формулируется как требование по отношению к рабочей температуре подшипника: она должна быть меньше допустимой для данного типа масла.

Расчет подшипников жидкостного трения производится путем решения уравнения Рейнольдса и уравнения равновесия. При этом течение жидкости в зазоре считается ламинарным.

Методика расчета подшипника, работающего в условиях полужидкостного трения, основана на исследовании процесса тепловыделения при трении и решении уравнений теплопередачи.

Выполнение работы. Получить задание преподавателя. В редакторе модуля выбрать тип подшипника скольжения:

- радиальные, работающие в режиме жидкостного трения;
- радиальные, работающие в режиме полужидкостного трения;
- упорные (подпятники), работающие в режиме жидкостного трения.

С помощью модуля APM Plain найти:

- распределение радиальных и осевых зазоров;
- оптимальное значение зазора;
- параметры системы смазки (толщина смазочной пленки, максимальная и средняя температура масла, расход масла);
- действительный коэффициент трения и потери на трение;
- конструкционные параметры.

## **APM SPRING - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН**

Упругими элементами называют детали высокой податливости, которые накапливают энергию деформаций и либо используют ее в исполнительных механизмах, либо рассеивают в демпферах или амортизаторах. Упругие элементы изготавливаются из специальных сталей и сплавов, а в отдельных случаях - из неметаллических материалов. Наиболее распространенными металлическими упругими элементами являются пружины.

Модуль APM Spring предназначен для всестороннего расчета и проектирования упругих металлических элементов машин. Он позволяет выполнить проектировочный и проверочный расчет этих объектов, а также расчет по ГОСТ, и получить чертежи рассчитанных деталей. Под проектировочным расчетом понимается определение геометрических размеров упругих элементов по известным значениям внешних сил и деформаций. Проверочный расчет позволяет оценить запасы прочности упругих элементов в зависимости от их геометрических размеров. При выборе расчета по ГОСТ программа выбирает по заложенной методике несколько вариантов стандартных пружин, соответствующих исходным данным.

Выполнение работы. По заданию преподавателя выбрать в редакторе модуля APM Spring тип упругого элемента :

- цилиндрические пружины растяжения круглого и квадратного поперечных сечений;
- цилиндрические пружины сжатия круглого и квадратного поперечных сечений;
- цилиндрические пружины кручения круглого и квадратного поперечных сечений;
- тарельчатые пружины сжатия;
- плоские прямоугольные пружины;

- торсионы;
- листовые рессоры.

Произвести проектировочный и проверочный расчеты. Расчеты выполняются в условиях действия как постоянной, так и переменной во времени нагрузок. Основными являются расчеты на статическую прочность при постоянной нагрузке и на выносливость при переменном характере нагружения. Проектировочные и проверочные расчеты проводятся аналитическими методами сопротивления материалов.

В более сложных случаях нагружения и закрепления пружины можно рассчитать методом конечных элементов, но для этого необходимо использовать другие модули системы APM WinMachine, такие как APM Structure3D либо APM Studio. С помощью этих модулей возможен расчет пружины на прочность, жесткость, устойчивость и динамику при произвольном нагружении и закреплении.

После выполнения проектировочного и проверочного расчета произвести генерацию чертежа, который в дальнейшем может быть использован в графическом модуле APM Graph или других графических редакторах, поддерживающих формат DXF.

## **APM SCREW - МОДУЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕИДЕАЛЬНЫХ ВИНТОВЫХ ПЕРЕДАЧ**

Винтовые передачи используются для преобразования вращательного движения винта в поступательное движение гайки. Механизмы такого типа широко используются в станкостроении, робототехнике, приводных механизмах, авиационной технике и других областях современного машино- и приборостроения. При проектировании этих объектов возникает много проблем, решение которых возможно с помощью модуля автоматизированного расчета и проектирования винтовых передач APM Screw.

Основа APM Screw – теория неидеального контакта

Благодаря наличию у контактирующих поверхностей шероховатостей и погрешностей формы взаимодействие винта, гайки и тел качения носит случайный характер и может быть корректно описано только с привлечением вероятностных методов. В основе разработанных методов моделирования лежит анализ контактного взаимодействия тел и дорожек качения в форме контактных сил. Значения этих сил зависят от погрешностей обработки участвующих в контакте элементов и их относительного местоположения. Решение в такой постановке позволяет получать выходные параметры в виде не только средних значений, но и значений величин рассеяния.

Выполнение работы. Получить задание у преподавателя. Выбрать в редакторе тип передачи:

- винтовая передача скольжения;
- шариковая винтовая передача (с одной гайкой и с двумя полугайками, установленными с преднатягом);
- планетарная винтовая (роликовая винтовая) передача.

Задать комбинации внешних нагрузок, а именно осевой и радиальной сил и момента изгиба, а также осевого и радиального преднатяга, допустимых для винтовой передачи рассматриваемого типа. При определении долговечности могут быть учтены не только постоянные, но и переменные во времени внешние силовые факторы.

Для проведения расчетов необходимо задать значения допусков.

Рассчитать следующие параметры:

- перемещения (жесткость);
- долговечность;
- момент трения;

- наибольшие контактные напряжения;
- потери мощности;
- тепловыделение;
- силы, действующие на тела качения;
- коэффициент полезного действия;
- ошибки позиционирования.

Выполнив серию вычислений, можно подобрать рациональные размеры передачи и значение оптимального предварительного натяга.

Результаты расчета представить различными способами, а именно в виде:

- таблиц со статистическими характеристиками;
- гистограмм компонент перемещений;
- пространственного поля положений центра гайки.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ «КОМПАС» ДЛЯ ДВУХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Система ориентирована на полную поддержку стандартов ЕСКД. При этом она обладает возможностью гибкой настройки на стандарты предприятия. Средства импорта/экспорта графических документов (поддерживаются форматы DXF, DWG, IGES, eDrawings) позволяют организовать обмен данными со смежниками и заказчиками, использующими любые чертежно-графические системы. Весь функционал системы КОМПАС подчинен целям скоростного создания высококачественных чертежей, схем, расчетно-пояснительных записок, технических условий, инструкций и прочих документов.

Проектирование изделий возможно различными способами. Наиболее привычный для проектировщиков — разработка конструкций в виде чертежей, иначе говоря — двухмерное (2D) проектирование. Как и при привычном, ручном проектировании, разработчик пользуется при построении чертежей обычными примитивами — точкой, отрезком линии, дугой, прямоугольником и несколькими простейшими фигурами. Каждый построенный элемент имеет набор характеристик (параметров), которые можно вводить при построении, а затем изменять в процессе работы. Хотя примитивов немного, но из них и происходит построение чертежей. Примитивы объединяются друг с другом, сопрягаются, производится их взаимное расположение (например, центрирование). Для выполнения этих действий можно использовать как инструментальную панель, так и команды меню. Многие команды доступны также из контекстных меню элементов, что упрощает процесс работы.

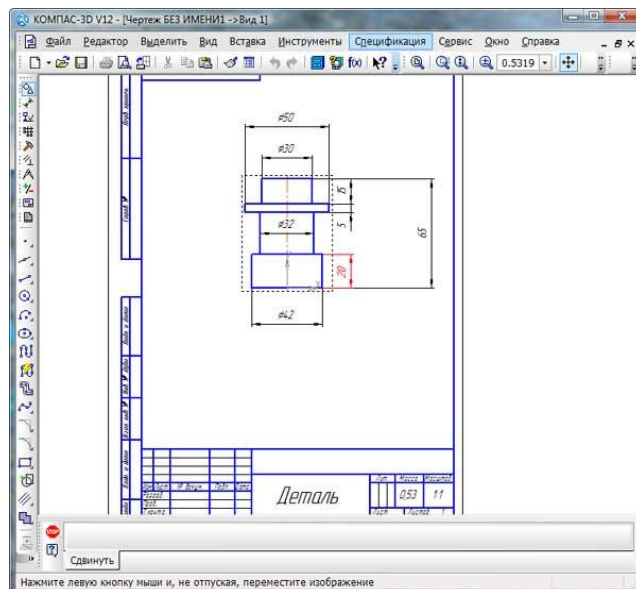
КОМПАС-3D предоставляет разнообразные возможности привязок к характерным точкам (пересечение, граничные точки, центр и т. д.) и объектам (по нормали, по направлениям осей координат). Это значительно упрощает работу проектировщика, оставляя за ним лишь выбор точки привязки и выполнения конкретного построения. Как и при работе на кульмане, конструктор может использовать вспомогательные линии построения, которые легко удалить после завершения работы (для этого надо лишь использовать для таких построений специальный тип линий).

Проектирование выполняется либо в рамках создания «фрагмента» — это тип документа, который не содержит элементов оформления чертежа (рамки, надписи и т.д), служащий для хранения эскизных прорисовок, типовых разработок для использования в других чертежах. Либо в рамках чертежа, содержащего дополнительно к фрагменту изделия стандартную рамку, надпись и другие вспомогательные элементы.

Инструментальные панели самонастраиваемые, их наполнение зависит от того, с каким типом документа вы работаете. А также, какой вариант проектирования применяется (например, при работе с чертежами отсутствуют команды для работы с телами или поверхностями,

а при работе с моделью отсутствуют команды для работы с видами). Панели можно «свернуть», что высвобождает дополнительное пространство для работы над чертежом (как и «Ленту» в офисных продуктах).

Завершение работы над чертежом — наложение штриховки, заливки тонкостенных деталей, простановка размеров и дополнительных обозначений. Если места на одном листе чертежа не хватает, в него можно включить и дополнительные листы требуемого формата.



Выполнение работы. Научится управлять привязками. Освоить приемы копирования и вставки, зеркального отображения, размножения элементов по массиву. Освоить вставку элементов из баз. Получить задание у преподавателя. Создать документ «Чертеж». Заполнить штамп. Построить вспомогательные линии. Построить контуры в основных линиях. Проставить размерные цепи и обозначения. Экспортировать файл в предложенный формат.

## СОЗДАНИЕ ДЕТАЛИ В СИСТЕМЕ КОМПАС-3D

Создание модели начинается с построения эскиза. Эскиз представляет собой сечение объемного элемента либо является траекторией перемещения другого эскиза. Лучше всего пояснить этот способ проектированием несложной детали типа ступенчатого вала или иного тела вращения. Можно использовать два варианта построения. Первый заключается в создании эскиза в виде окружности с дальнейшим «выдавливанием» его на определенный размер. Затем — «приклеивание» выдавливанием следующего элемента от одного из образованных на первом этапе торцов, и так далее. Второй вариант построения заключается в прорисовке одной из сторон контура будущего вала с дальнейшим вращением его вокруг своей оси.

Аналогичным образом — путем создания эскиза и его «выдавливания» можно создавать и иные детали, например, корпуса. А создав необходимый комплект исходных деталей для будущего изделия, из них можно создать сборочную единицу, то изделие или его часть, которую вы проектируете. У процесса моделирования есть много интересных возможностей. Например, можно временно «удалять» детали из сборки, делая их прозрачными. Это удобно использовать при проектировании корпусных сборок, когда можно сделать прозрачным корпус. Или такая возможность, как построение разнесенной сборки, когда видны все ее компоненты.

В системе Компас-3D можно задавать параметрические связи и ассоциации как между отдельными элементами деталей, так и между деталями в сборочных единицах. Это позволяет быстро вносить изменения в проект, создавать различные варианты как отдельных деталей, так и всего изделия в целом.

По трехмерной модели детали система легко определяет ее физические характеристики: площадь поверхности, объем, координаты центра тяжести и т. д. Трехмерные твердотельные модели включают в себя всю геометрическую информацию, необходимую для работы систем инженерного анализа. Такая модель может быть использована для выполнения инженерных расчетов: напряжений и деформаций, частотного анализа, тепловых расчетов и связанных с ними температурных деформаций и напряжений. Если модель представляет собой сборочную модель какого-либо механизма, то для нее может быть выполнен кинематический анализ с определением координат, скоростей, ускорений и сил взаимодействия отдельных ее звеньев.

Созданная объемная деталь или сборка будет служить основой для автоматизированной подготовки чертежей. От конструктора зависит выбор основного вида, указание необходимых разрезов, дополнительных видов, простановка размеров, формирование спецификации.

Выполнение работы.

1. Создать деталь.
2. Выделить плоскость XY в дереве построения.
3. Создать на плоскости эскиз.
4. Создать сечение для последующего выдавливания.
5. Завершить редактирование эскиза.
6. Выдавливанием эскиза получить заготовку детали.
7. На гранях детали создать новые эскизы замкнутых контуров.
8. Операциями выдавливания изменить деталь с помощью эскизов на гранях.
9. Создать несколько вспомогательных плоскостей, сделать с их помощью сечения детали.
10. Построить вспомогательную кривую и с её помощью создать на детали элемент выдавливания по контуру.
11. Сделать несколько фасок и скруглений.
12. Экспортировать модель в STEP формат. Открыть в модуле APM Studio APM Win-Machine.

## МАТЛАБ – SIMULINK. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ

Библиотека Simulink содержит следующие основные разделы:

Continuous – линейные блоки.

Discrete – дискретные блоки.

Functions & Tables – функции и таблицы.

Math – блоки математических операций.

Nonlinear – нелинейные блоки.

Signals & Systems – сигналы и системы.

Sinks - регистрирующие устройства.

Sources — источники сигналов и воздействий.

Subsystems – блоки подсистем.

### Создание модели

Для создания модели в среде **SIMULINK** необходимо последовательно выполнить ряд действий:

1. Создать новый файл модели с помощью команды **File/New/Model**, или используя кнопку  на панели инструментов (здесь и далее, с помощью символа “/”, указаны пункты меню программы, которые необходимо последовательно выбрать для выполнения указанного действия). Вновь созданное окно модели показано на Рис. 1.

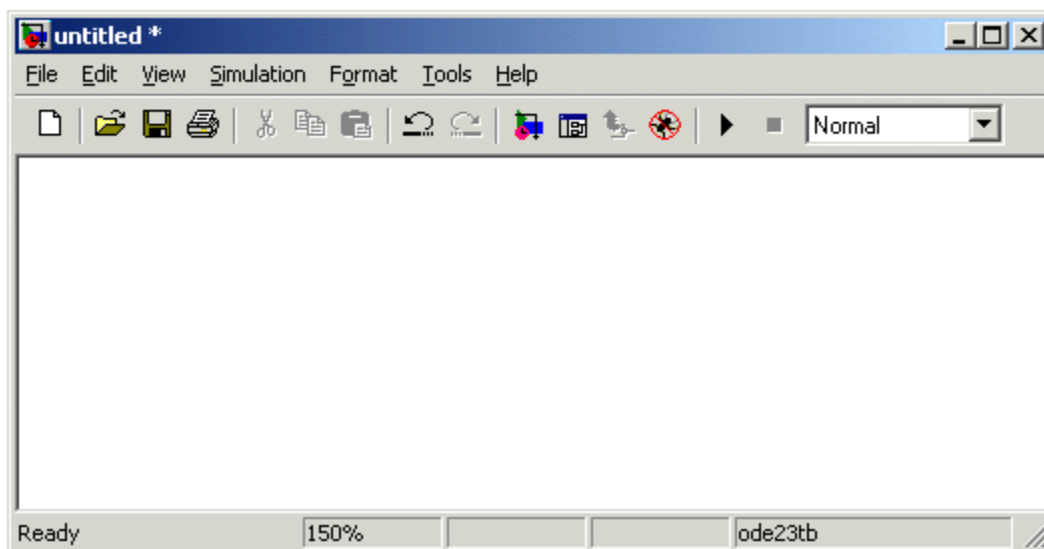


Рис 1. Пустое окно модели

2. Расположить блоки в окне модели. Для этого необходимо открыть соответствующий раздел библиотеки (Например, **Sources - Источники**). Далее, указав курсором на требуемый блок и нажав на левую клавишу “мыши” - “перетащить” блок в созданное окно. **Клавишу мыши нужно держать нажатой**. На Рис 2 показано окно модели, содержащее блоки.

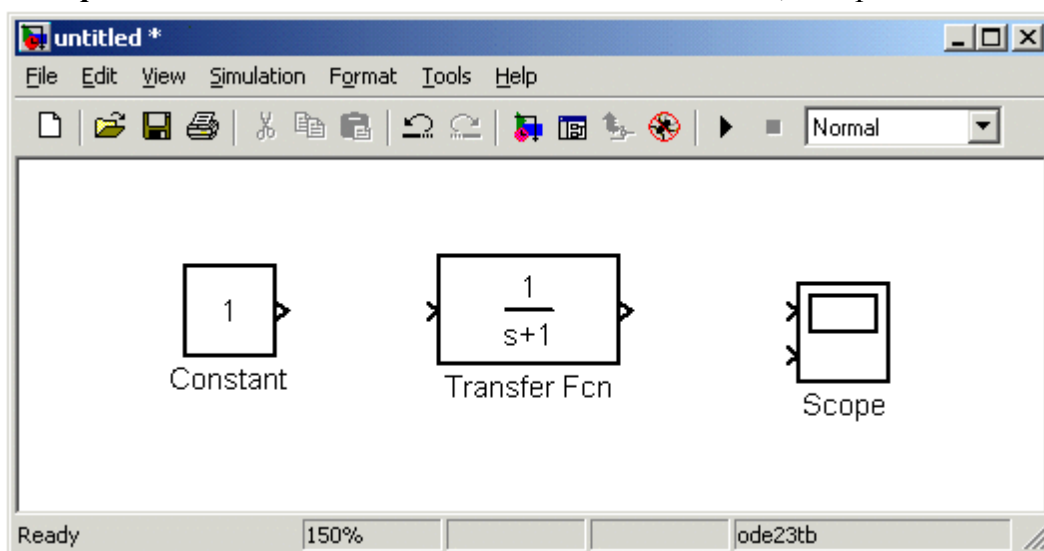


Рис 2. Окно модели, содержащее блоки

Для удаления блока необходимо выбрать блок (указать курсором на его изображение и нажать левую клавишу “мыши”), а затем нажать клавишу **Delete** на клавиатуре.

Для изменения размеров блока требуется выбрать блок, установить курсор в один из углов блока и, нажав левую клавишу “мыши”, изменить размер блока (курсор при этом превратится в двухстороннюю стрелку).

3. Далее, если это требуется, нужно изменить параметры блока, установленные программой “по умолчанию”. Для этого необходимо дважды щелкнуть левой клавишей “мыши”, указав курсором на изображение блока. Откроется окно редактирования параметров данного блока. При задании численных параметров следует иметь в виду, что в качестве десятичного разделителя должна использоваться точка, а не запятая. После внесения изменений нужно закрыть окно кнопкой **ОК**. На рис.4.3 в качестве примера показаны блок, моделирующий передаточную функцию и окно редактирования параметров данного блока.

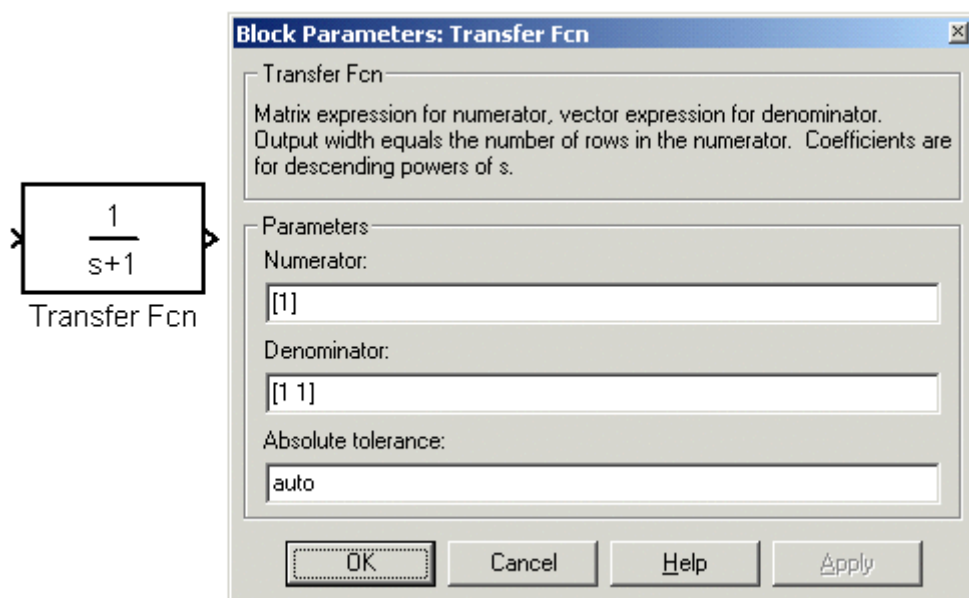


Рис 3. Блок, моделирующий передаточную функцию и окно редактирования параметров блока

4. После установки на схеме всех блоков из требуемых библиотек нужно выполнить соединение элементов схемы. Для соединения блоков необходимо указать курсором на “выход” блока, а затем, нажав и, не отпуская левую клавишу “мыши”, провести линию к входу другого блока. После чего отпустить клавишу. В случае правильного соединения изображение стрелки на входе блока изменяет цвет. Для создания точки разветвления в соединительной линии нужно подвести курсор к предполагаемому узлу и, нажав *правую* клавишу “мыши”, протянуть линию. Для удаления линии требуется выбрать линию (так же, как это выполняется для блока), а затем нажать клавишу **Delete** на клавиатуре. Схема модели, в которой выполнены соединения между блоками, показана на Рис. 4.

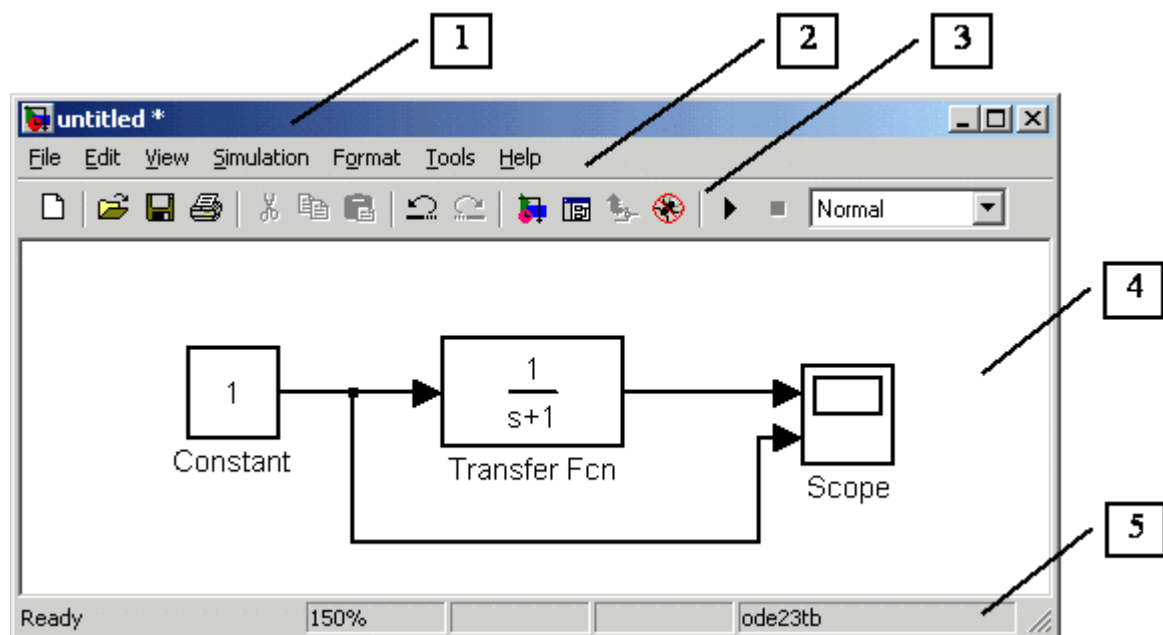


Рис 4. Схема модели

5. После составления расчетной схемы необходимо сохранить ее в виде файла на диске, выбрав пункт меню **File/Save As...** в окне схемы и указав папку и имя файла. Следует иметь в виду, что имя файла не должно превышать 32 символов, должно начинаться с буквы и не может содержать символы кириллицы и спецсимволы. Это же требование относится и к пути файла (к тем папкам, в которых сохраняется файл). При последующем редактировании схемы

можно пользоваться пунктом меню **File/Save**. При повторных запусках программы **SIMULINK** загрузка схемы осуществляется с помощью меню **File/Open...** в окне обозревателя библиотеки или из основного окна **MATLAB**.

## МАТЛАБ – SIMULINK. УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТА И ЕГО ВЫПОЛНЕНИЕ

Перед выполнением расчетов необходимо предварительно задать параметры расчета. Задание параметров расчета выполняется в панели управления меню **Simulation/Parameters**. Вид панели управления приведен на Рис.1.

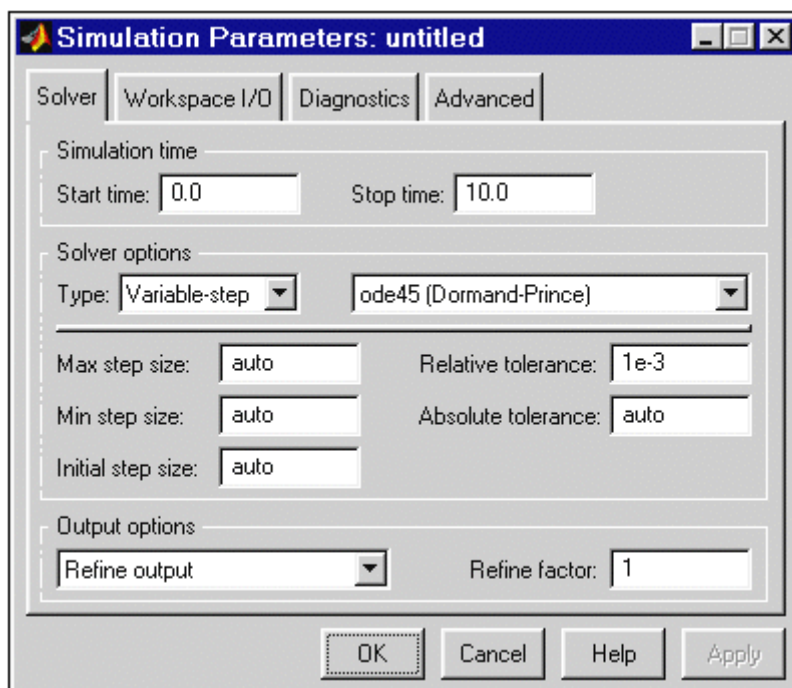


Рис 1. Панель управления

Окно настройки параметров расчета имеет 4 вкладки:

- **Solver (Расчет)** — Установка параметров расчета модели.
- **Workspace I/O (Ввод/вывод данных в рабочую область)** — Установка параметров обмена данными с рабочей областью **MATLAB**.
- **Diagnostics (Диагностика)** — Выбор параметров диагностического режима.
- **Advanced (Дополнительно)** — Установка дополнительных параметров.

Установка параметров расчета модели выполняется с помощью элементов управления, размещенных на вкладке **Solver**. Эти элементы разделены на три группы (рис. 7.1): **Simulation time** (Интервал моделирования или, иными словами, время расчета), **Solver options** (Параметры расчета), **Output options** (Параметры вывода).

### 1. Установка параметров расчета модели

#### 1.1. Simulation time (Интервал моделирования или время расчета)

Время расчета задается указанием начального (**Start time**) и конечного (**Stop time**) значений времени расчета. Начальное время, как правило, задается равным нулю. Величина конечного времени задается пользователем исходя из условий решаемой задачи.

#### 1.2. Solver options (Параметры расчета)

При выборе параметров расчета необходимо указать способ моделирования (**Type**) и метод расчета нового состояния системы. Для параметра **Type** доступны два варианта - с фиксированным (**Fixed-step**) или с переменным (**Variable-step**) шагом. Как правило, **Variable-step** используется для моделирования непрерывных систем, а **Fixed-step** - для дискретных.

Список методов расчета нового состояния системы содержит несколько вариантов. Первый вариант (**discrete**) используется для расчета дискретных систем. Остальные методы используются для расчета непрерывных систем. Эти методы различны для переменного (**Variable-step**) и для фиксированного (**Fixed-step**) шага времени, но, по сути, представляют собой процедуры решения систем дифференциальных уравнений. Подробное описание каждого из методов расчета состояний системы приведено во встроенной справочной системе **MATLAB**.

Ниже двух раскрывающихся списков **Type** находится область, содержимое которой меняется в зависимости от выбранного способа изменения модельного времени. При выборе **Fixed-step** в данной области появляется текстовое поле **Fixed-step size** (величина фиксированного шага) позволяющее указывать величину шага моделирования (см. рис. 2). Величина шага моделирования по умолчанию устанавливается системой автоматически (**auto**). Требуемая величина шага может быть введена вместо значения **auto** либо в форме числа, либо в виде вычисляемого выражения (то же самое относится и ко всем параметрам устанавливаемым системой автоматически).

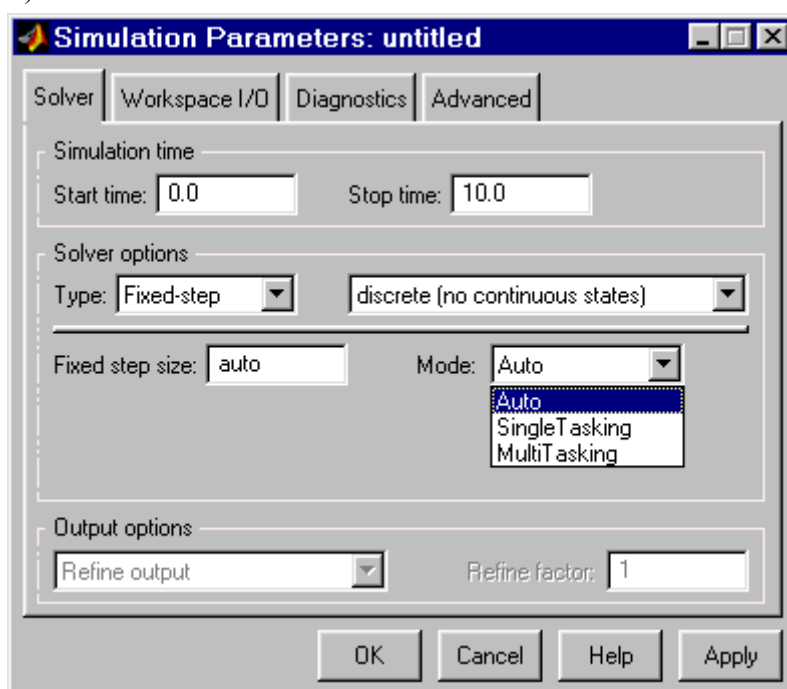


Рис 2. Вкладка **Solver** при выборе фиксированного шага расчета

При выборе **Fixed-step** необходимо также задать режим расчета (**Mode**). Для параметра **Mode** доступны три варианта:

- **MultiTasking** (Многозадачный) – необходимо использовать, если в модели присутствуют параллельно работающие подсистемы, и результат работы модели зависит от временных параметров этих подсистем. Режим позволяет выявить несоответствие скорости и дискретности сигналов, пересылаемых блоками друг другу.

- **SingleTasking** (Однозадачный) - используется для тех моделей, в которых недостаточно строгая синхронизация работы отдельных составляющих не влияет на конечный результат моделирования.

- **Auto** (Автоматический выбор режима) - позволяет **Simulink** автоматически устанавливать режим **MultiTasking** для тех моделей, в которых используются блоки с различными скоростями передачи сигналов и режим **SingleTasking** для моделей, в которых содержатся блоки, оперирующие одинаковыми скоростями.

При выборе **Variable-step** в области появляются поля для установки трех параметров:

- **Max step size** - максимальный шаг расчета. По умолчанию он устанавливается автоматически (**auto**) и его значение в этом случае равно  $(S_{\text{fopTime}} - S_{\text{StartTime}})/50$ . Довольно часто

это значение оказывается слишком большим, и наблюдаемые графики представляют собой ломаные (а не плавные) линии. В этом случае величину максимального шага расчета необходимо задавать явным образом.

- **Min step size** - минимальный шаг расчета.
- **Initial step size** - начальное значение шага моделирования.

При моделировании непрерывных систем с использованием переменного шага необходимо указать точность вычислений: относительную (**Relative tolerance**) и абсолютную (**Absolute tolerance**). По умолчанию они равны соответственно  $10^{-3}$  и **auto**.

### 1.3. Output options (Параметры вывода)

В нижней части вкладки **Solver** задаются настройки параметров вывода выходных сигналов моделируемой системы (**Output options**). Для данного параметра возможен выбор одного из трех вариантов:

- **Refine output** (Скорректированный вывод) — позволяет изменять дискретность регистрации модельного времени и тех сигналов, которые сохраняются в рабочей области **MATLAB** с помощью блока **To Workspace**. Установка величины дискретности выполняется в строке редактирования **Refine factor**, расположенной справа. По умолчанию значение **Refine factor** равно 1, это означает, что регистрация производится с шагом  $\Delta t = 1$  (то есть для каждого значения модельного времени:). Если задать **Refine factor** равным 2, это означает, что будет регистрироваться каждое второе значение сигналов, 3 - каждое третье т. д. Параметр **Refine factor** может принимать только целые положительные значения

- **Produce additional output** (Дополнительный вывод) — обеспечивает дополнительную регистрацию параметров модели в заданные моменты времени; их значения вводятся в строке редактирования (в этом случае она называется **Output times**) в виде списка, заключенного в квадратные скобки. При использовании этого варианта базовый шаг регистрации ( $\Delta t$ ) равен 1. Значения времени в списке **Output times** могут быть дробными числами и иметь любую точность.

- **Produce specified output only** (Формировать только заданный вывод) — устанавливает вывод параметров модели только в заданные моменты времени, которые указываются в поле **Output times** (Моменты времени вывода).

### 2. Установка параметров обмена с рабочей областью

Элементы, позволяющие управлять вводом и выводом в рабочую область **MATLAB** промежуточных данных и результатов моделирования, расположены на вкладке **Workspace I/O** (рис. 3).

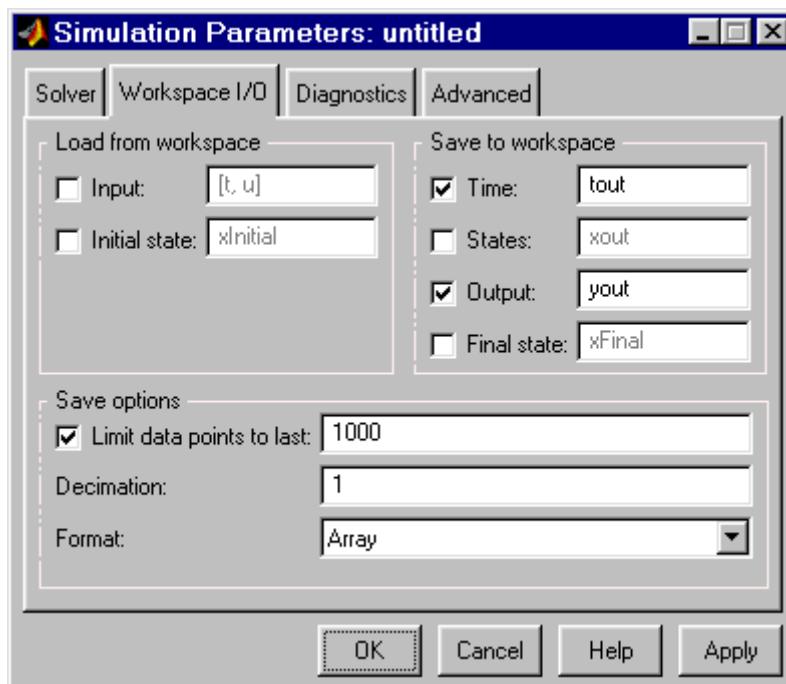


Рис 3. Вкладка **Workspace I/O** диалогового окна установки параметров моделирования

Элементы вкладки разделены на 3 поля:

- **Load from workspace** (Загрузить из рабочей области). Если флажок **Input** (Входные данные) установлен, то в расположенном справа текстовом поле можно ввести формат данных, которые будут считываться из рабочей области **MATLAB**. Установка флажка **Initial State** (Начальное состояние) позволяет ввести в связанном с ним текстовом поле имя переменной, содержащей параметры начального состояния модели. Данные, указанные в полях **Input** и **Initial State**, передаются в исполняемую модель посредством одного или более блоков **In** (из раздела библиотеки **Sources**).

- **Save to workspace** (Записать в рабочую область) – Позволяет установить режим вывода значений сигналов в рабочую область **MATLAB** и задать их имена.

- **Save options** (Параметры записи) – Задаёт количество строк при передаче переменных в рабочую область. Если флажок **Limit rows to last** установлен, то в поле ввода можно указать количество передаваемых строк (отсчет строк производится от момента завершения расчета). Если флажок не установлен, то передаются все данные. Параметр **Decimation** (Исключение) задаёт шаг записи переменных в рабочую область (аналогично параметру **Refine factor** вкладки **Solver**). Параметр **Format** (формат данных) задаёт формат передаваемых в рабочую область данных. Доступные форматы **Array** (Массив), **Structure** (Структура), **Structure With Time** (Структура с дополнительным полем – “время”).

### 3. Установка параметров диагностирования модели

Вкладка **Diagnostics** (рис. 7.4) позволяет изменять перечень диагностических сообщений, выводимых **Simulink** в командном окне **MATLAB**, а также устанавливать дополнительные параметры диагностики модели.

Сообщения об ошибках или проблемных ситуациях, обнаруженных **Simulink** в ходе моделирования и требующих вмешательства разработчика выводятся в командном окне **MATLAB**. Исходный перечень таких ситуаций и вид реакции на них приведен в списке на вкладке **Diagnostics**. Разработчик может указать вид реакции на каждое из них, используя группу переключателей в поле **Action** (они становятся доступны, если в списке выбрано одно из событий):

- **None** — игнорировать,
- **Warning** — выдать предупреждение и продолжить моделирование,

- **Error** — выдать сообщение об ошибке и остановить сеанс моделирования.
- Выбранный вид реакции отображается в списке рядом с наименованием события.

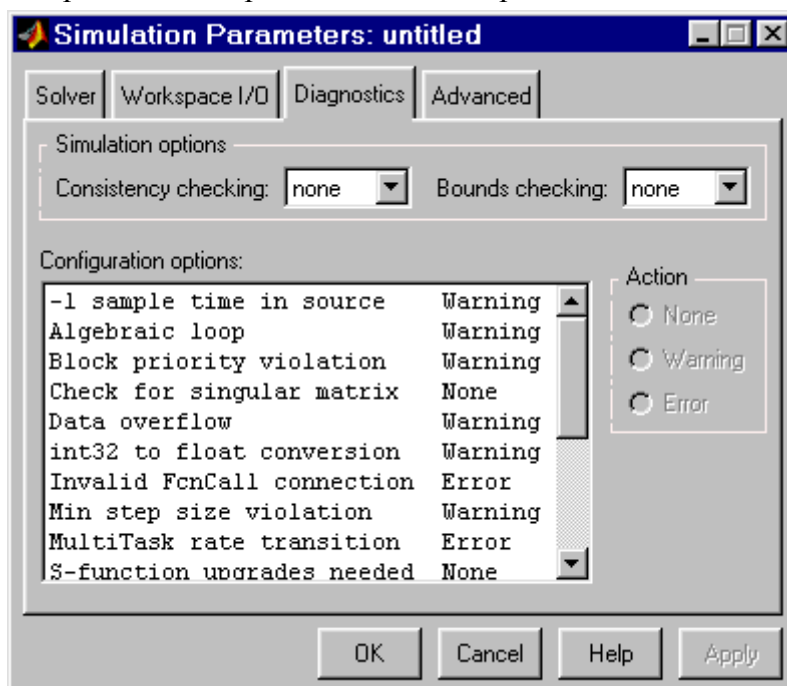


Рис 4. Вкладка **Diagnostics** окна установки параметров моделирования

#### 4. Выполнение расчета

Запуск расчета выполняется с помощью выбора пункта меню **Simulation/Start**, или инструмента  на панели инструментов. Процесс расчета можно завершить досрочно, выбрав пункт меню **Simulation/Stop** или инструмент . Расчет также можно остановить (**Simulation/Pause**) и затем продолжить (**Simulation/Continue**).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кальченко А.А., Рузанов В.В. Волочение проволоки. Часть 1: учеб. Пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос.техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2011. 55с.
2. Кальченко А.А. Инструмент и системы смазки для волочения проволоки: учеб.пособие / А.А. Кальченко, В.В. Рузанов. Изд-во Магнитогорск. гос.техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. 55с.
3. Коковихин Ю.И., Поляков Г.М., Кальченко А.А. Волочение высокопрочной сталеалюминиевой проволоки. Биллетень НТИ. Черная металлургия. 1973, №7.
4. Кальченко А.А. Волочение биметаллической сталеалюминиевой проволоки. В сб. теория и практика производства метизов. Свердловск, 1977.
5. Кальченко А.А., Коковихин Ю.И. Инструмент для волочения проволоки в режиме гидродинамического трения. Патент СССР №618154.
6. Кальченко А.А., Рузанов В.В. Устройство для волочения изделий в режиме гидродинамического трения. Патент СССР №1470385
7. Кальченко А.А., Рузанов В.В. Подготовка поверхности металла к волочению. Учебное пособие. Магнитогорск ГОУ ВПО МГТУ, 2011г.
8. Костогрызов И.Д., Коковихин Ю.И., Кальченко А.А. Устройство для очистки перемещаемой проволоки. Патент СССР №787115.
9. Кальченко А.А., Рузанов В.В. Оборудование волочильных цехов. Учебное пособие. Магнитогорск. Изд-во Магнитогорск гос.техн.ун-т им. Г.И. Носова, 2014г.
10. Пащенко К.Г. и др. Геометрические характеристики проволоки после совмещенного процесса бесфильтрационного волочения и очистки поверхности // К.Г. Пащенко, Ю.Ф. Бахматов, А.А. Кальченко, В.В. Рузанов, С.В. Михайлицин, А.В. Ярославцев, К.К. Ярославцева, Д.В. Терентьев, М.А. Шекшеев, Н.Ш. Тютяряков, Д.А. Шашкин // Успехи современного естествознания. 2014. № 12-4. С. 421-424.
11. Пащенко К.Г. и др. Сравнительные свойства проволоки в совмещенном процессе бесфильтрационного волочения и очистки поверхности / К.Г. Пащенко, Ю.Ф. Бахматов, А.А. Кальченко, В.В. Рузанов, С.В. Михайлицин, А.В. Ярославцев, К.К. Ярославцева, Д.В. Терентьев, М.А. Шекшеев, Н.Ш. Тютяряков, Д.А. Шашкин // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 2. С. 107-111.
12. Пащенко К.Г. и др. Совмещенный процесс бесфильтрационного волочения и очистки поверхности катанки / Пащенко К.Г., Бахматов Ю.Ф., Кальченко А.А., Рузанов В.В. // Инновации в материаловедении и металлургии: Материалы IV Международной интерактивной научно-практической конференции: Издательство Уральского университета. - Екатеринбург, 2015. С. 203-206.
13. Пащенко К.Г. и др. Сравнительные свойства металла проволоки, полученного традиционным волочением и бесфильтрационным / Пащенко К.Г., Бахматов Ю.Ф., Кальченко А.А., Рузанов В.В. // Инновации в материаловедении и металлургии: Материалы IV Международной интерактивной научно-практической конференции: Издательство Уральского университета. - Екатеринбург, 2015. С. 203-206.
14. Пащенко К.Г. и др. Кинематика проволоки в процессе бесфильтрационного волочения растяжением-изгибом на конических роликах / Пащенко К.Г., Бахматов Ю.Ф., Кальченко А.А., Рузанов В.В. // Инновации в материаловедении и металлургии: Материалы IV Международной интерактивной научно-практической конференции: Издательство Уральского университета. - Екатеринбург, 2015. С. 211-214.
15. Бахматов Ю.Ф. и др. Совмещенный процесс бесфильтрационного волочения и очистки поверхности катанки / Ю.Ф. Бахматов, К.Г. Пащенко, А.А. Кальченко, А.С. Белов, Н.Ш. Тютяряков // Металлург, 2014. № 4. С. 88-91.

16. Бахматов Ю.Ф. и др. Установка для совмещенного процесса бесфильтрного волочения и очистки поверхности катанки / Ю.Ф. Бахматов, К.Г. Пащенко, А.А. Кальченко, В.В. Рузанов, С.В. Михайлицын, А.В. Ярославцев, К.К. Ярославцева, Д.В. Терентьев, Д.А. Шашкин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 12-1. С. 8-11.
17. Пащенко К.Г. и др. Совмещенный процесс бесфильтрного волочения с протяжкой в роликовых волокнах / К.Г. Пащенко, Ю.Ф. Бахматов, А.А. Кальченко, Бочкарев А.В. // Реконструкция промышленных предприятий - прорывные технологии в металлургии и машиностроении: VI Международный промышленный форум. - Челябинск, 2014. С. 110.
18. Бахматов Ю.Ф. и др. Технологические основы пластической обработки катанки в совмещенном процессе с воздействием ультразвуком / Ю.Ф. Бахматов, К.Г. Пащенко, Э.М. Абдулин, О.В. Ежов, Н.В. Смирнов // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013. № 1 (39). С. 89-92.
19. Бахматов Ю.Ф., Пащенко К.Г. Влияние геометрических размеров отражательных элементов при бесфильтрном волочении с локализацией очага деформации ультразвуковой энергией // Процессы и оборудование металлургического производства: Сборник научных трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 320-323.
20. Бахматов Ю.Ф., Пащенко К.Г. Устройство для волочения проволоки с ультразвуком через калибр сформированный бойками резонансных размеров, с динамическим замыканием изделием (проволокой) зазора между ними // Патент на полезную модель РФ № 122920, 12.07.2012.
21. Пащенко К.Г. и др. Влияние технологических параметров на обрывность проволоки при бесфильтрном волочении / К.Г. Пащенко, Ю.Ф. Бахматов, К.А. Фролушкина, Б.Б. Зарицкий // Материалы 67-й науч.-техн. конф.: сб. докл. Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2009. Т. 1.
22. Каюков А.С. и др. Устройство для пластического растяжения проволоки и ленты. Патент СССР №884808 / А.С. Каюков, Ю.Ф.Бахматов, Б.А.Никифоров, Кальченко А.А.
23. Пащенко К. Г., Бахматов Ю. Ф., Голубчик Э. М. Влияние пластического растяжения -изгиба в совмещенном процессе удаления окалины -волочения на свойства проволоки//Сталь. -2011. -№ 3.
24. Pashchenko K.G., Bakhmatov Y.F., Golubchik E.M. INFLUENCE OF PLASTIC TENSION-FLEXURE ON THE WIRE PROPERTIES IN SCALE REMOVAL AND DRAWING / Steel in Translation. 2011. Т. 41. № 3. С. 246-249.
25. Bakhmatov Yu.F., Pashchenko K.G. PLASTIC MACHINING OF WIRE ROD IN DIE-FREE DRAWING, IN THE PRESENCE OF ULTRASOUND/ Steel in Translation. 2014. Т. 44. № 8. С. 607.

### **Интернет ресурсы**

Официальные сайты разработчиков ПО, и их дистрибьютеров:

1. <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=6&prpid=7>
2. <http://sl-matlab.ru/>
3. <http://matlab.exponenta.ru/>
4. <http://www.apm.ru/rus/machinebuilding/>
5. <http://apm.ru/>

Учебное текстовое электронное издание

**Кальченко Александр Андреевич  
Пащенко Константин Георгиевич**

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебное пособие

0,97 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2017 год  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,  
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
Кафедра машин и технологий обработки давлением  
Центр электронных образовательных ресурсов и  
дистанционных образовательных технологий  
e-mail: ceor\_dot@mail.ru