

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ



Санкт-Петербург
2009

Составители: доктор технических наук, профессор Р. И. Сольни-
цев, кандидат технических наук Н. Н. Майоров
Рецензент доктор технических наук, профессор Г. И. Коршунов

В методических указаниях рассмотрено применение инструмен-
тов программных систем автоматизированного проектирования на
всех этапах проектирования, приведены периоды развития совре-
менных средств САПР, такие как nanoCAD СПДС, «Построение ма-
тематических моделей», NormaCS, AutoCAD и др.

Предназначены для студентов и магистров в области приборо-
строения и машиностроения; также могут быть использованы бака-
лаврами, магистрами и аспирантами по направлению 220000 «Ин-
форматика и вычислительная техника», 190000 «Приборострое-
ние».

Подготовлены кафедрой системного анализа и логистики и реко-
мендованы к изданию редакционно-издательским советом Санкт-
Петербургского государственного университета аэрокосмического
приборостроения.

Редактор А. Г. Ларионова
Верстальщик С. Б. Мацапура

Сдано в набор 19.11.09. Подписано к печати 02.12.09.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печ. л. 2,1.
Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 000 экз. Заказ № .

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67

© ГУАП, 2009

1. КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проектирование как сложный итерационный процесс реализуется по этапам. Обычно этапы проектирования задаются ГОСТом данной отрасли промышленности, а уточняются на конкретном предприятии и делятся на следующие: согласование ТЗ, техническое предложение, эскизный проект, рабочее проектирование, изготовление опытных образцов, испытания [1, 2] (рис. 1).

Структура процесса проектирования и взаимодействие «проектировщик – система», где предлагается развитие подхода к процессу проектирования, предложена [1] в виде сходящейся спирали. При таком представлении на каждом этапе проектирования совершается очередной «виток» прохождения будущего проекта через все критерии и ограничения, воздвигаемые целями проектирования и возможностями проектного предприятия. Каждый виток такой спирали обязательно проходит через все критерии и ограничения, сформулированные в ТЗ и уточненные в дальнейшем проектировании. По мере продвижения к окончательному проек-

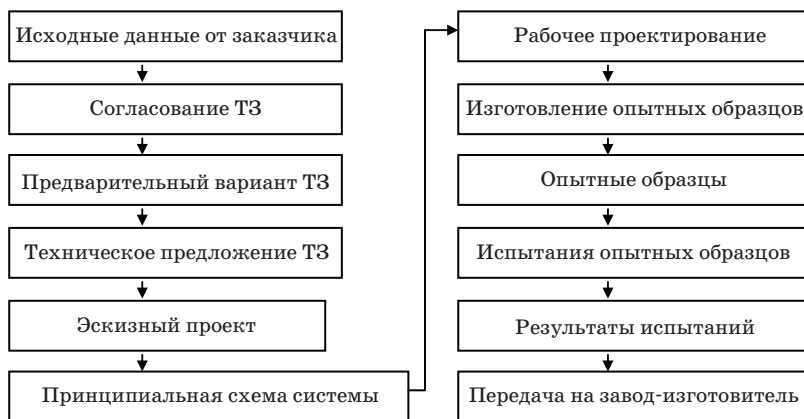


Рис. 1. Типовая схема процесса проектирования

ту спираль скручивается, отбрасывая все негодные, побочные и малозначащие проектные решения и другие ненужные продукты процесса проектирования и оставляя только те проектные решения, которые, будучи воплощены в техническую документацию, и составят окончательный проект. Диаметр каждого витка этой условной спирали сужается, отражая характерную черту процесса проектирования – продвижение от расплывчатой, широкой, неопределенной во многих деталях *начальной итерации проекта* к конкретному завершённому в технической документации и опытном образце *окончательному проекту*. Чтобы перейти от одного витка к другому, более высокому, требуется затратить много труда и энергии большого коллектива проектировщиков, что во времени растягивается на долгие месяцы и даже годы, так как ограниченность проектного предприятия в численности квалифицированных проектировщиков и других ресурсах не дает возможности сразу же получать проектные решения по всем направлениям. Поэтому необходимо внедрять инструменты САПР, которые позволяют сократить временные затраты на выполнение каждого этапа проектирования.

Инструменты САПР, применяемые на первых этапах проектирования, достаточно подробно изложены в работах [1, 2]. Поэтому остановимся здесь на инструментах САПР конструкторского проектирования.

Создание простого или сложного (гетерогенного) изделия невозможно без его графического представления – рисунка, схемы, чертежа. Двумерное проектирование активно развивалось до середины 1990-х годов. Системы включают большое количество различных приложений, библиотек, надстроек, конверторов, позволивших максимально автоматизировать и упростить большинство чертежных задач. Также развились в отдельные направления расчетные системы CAE (Computer-Aided Engineering), системы проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) CAM (Computer-Aided Manufacturing) и многие другие специализированные приложения, основанные на работе с данными, предоставляемыми CAD-системами. Параллельно развивался класс систем технологической подготовки производства САПР ТП (Computer-Aided Process Planning – CAPP), предназначенных для формирования технологических данных об изделии, ведения централизованного архива этой информации и автоматизированного выпуска технологической документации.

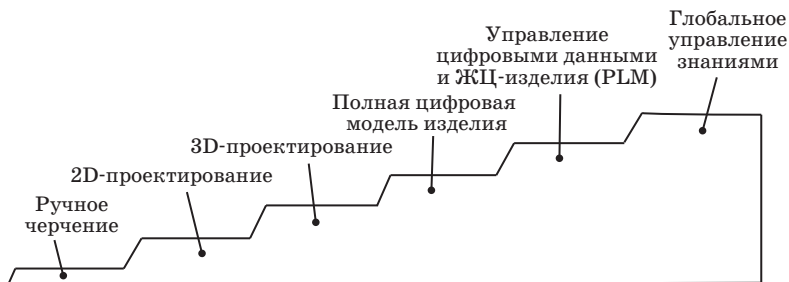


Рис. 2. Схематичное представление развития систем промышленной автоматизации

Изучая 2D-чертежи, можно заметить, что плоское проектирование все-таки неестественно для человека – ведь мы мыслим в трехмерном пространстве, живем в окружении трехмерных объектов. Поэтому со временем программные системы пространственного проектирования заняли ведущее место. Схематичное представление развития инструментов проектирования промышленной автоматизации приведено на рис. 2.

Появление трехмерного моделирования оказалось настоящим прорывом, вначале доступным только пользователям мощных графических Unix-станций. По-настоящему массовым 3D-моделирование стало ближе к середине 1990-х годов, когда 3D-CAD-системы были переведены на платформу PC. Рассмотрим подробнее, какие же выгоды предоставило пространственное конструирование.

Первое преимущество: конструкторам не приходится «переводить свои мысли» из пространственного в плоский вид. Качественно изменился процесс проектирования: теперь разработчик сразу видит свою конструкцию такой, какой она и будет в действительности. Также объемная модель помогает и в реализации массы сопутствующих функций, к примеру, при формировании сборки, когда наглядно демонстрируется процесс сборки сложного объекта проектирования. Дополнительно 3D-модель можно использовать для решения расчетных задач (анализ напряжений, перемещений, колебаний, гидродинамики, теплопередачи), подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, а также реалистичных изображений для технической документации и рекламных материалов, создания физических образцов на установках быстрого прототипирования. Ну и конечно, по 3D-модели создаются чертежи, причем

делать это существенно проще, чем вручную, поскольку вся геометрия на чертеже формируется автоматически, позволяя конструктору не задумываться о правильности построения видов, разрезов и сечений.

Теперь нетрудно определить важнейшее преимущество трехмерного моделирования: ошибки можно найти и исправить на ранней стадии проектирования, до появления первых опытных образцов. А коррекция проекта на цифровой стадии несоизмеримо дешевле, чем обнаружение недочетов после изготовления дорогостоящей опытной партии.

Создаваемая конструкторами геометрическая модель хранится в памяти компьютера как некоторое математическое описание и отображается на экране в виде пространственного объекта. Объект может отображаться в различном представлении: каркасном, с удалением невидимых линий, полупрозрачном и полутоновым. Различают поверхностное, твердотельное и гибридное моделирование.

При поверхностном моделировании сначала строится каркас – пространственная конструкция, состоящая из отрезков прямых, окружностей и сплайнов. Каркас играет вспомогательную роль и служит основой для последующего построения поверхностей, которые наносятся на его элементы.

В зависимости от способа построения различают следующие виды поверхностей: линейчатые, вращения, кинематические, проходящие через продольные и поперечные сечения, NURBS-поверхности. Хотя поверхности и определяют границы тела, но самого понятия «тела» объекта в режиме поверхностного моделирования не существует. Это наиболее важное отличие поверхностного моделирования от твердотельного.

Другая особенность заключается в том, что элементы каркасно-поверхностной модели не связаны друг с другом. Изменение одного из элементов не влечет за собой автоматического изменения других элементов.

Твердотельное моделирование имеет в своей основе идеологию, которая существенно отличается от идеологии каркасно-поверхностного моделирования. Твердотельная модель представляет собой целостный объект, занимающий замкнутую часть пространства. Поэтому всегда можно точно сказать, находится ли точка внутри твердого тела, на его поверхности или вне тела. При изменении в модели любого элемента будут изменяться все другие элементы, которые связаны с ним.

Элементами, из которых строится твердое тело, могут быть элементы вращения, ребра жесткости и др. Твердотельный объект строится путем последовательного добавления или вычитания элементов. Так, если к уже имеющейся твердотельной модели добавить элемент вытягивания, то этот элемент образует на модели выступ. А при вычитании элемента на модели образуется углубление. Если при построениях доступны одновременно несколько твердотельных объектов, то над любыми двумя твердотельными объектами, пересекающимися в пространстве, можно выполнять булевы операции объединения, вычитания, пересечения.

Твердотельное моделирование предполагает возможность установки параметрических зависимостей между элементами твердого тела или нескольких тел. При этом изменение одного из параметров приводит к соответствующей перестановке всех параметрически связанных элементов. Такое моделирование дает конструктору дополнительные удобства. Таким образом можно автоматизировать контроль собираемости изделия.

При гибридном моделировании обеспечивается возможность одновременной работы с твердотельными объектами и с поверхностями. Гибридное моделирование позволяет сочетать все удобства твердотельного моделирования с возможностью построения объектов сколь угодно сложной геометрической формы.

Сегодня системы 3D-моделирования бурно развиваются, позволяя решать все новые задачи, например такие, как создание модулей штамповки листового материала, прокладка электрических соединений, трубопроводов, поверхностное моделирование сложных внешних форм, проверка собираемости и работоспособности конструкции и многое другое. В настоящее время нелегко найти задачу, которую нельзя решить при помощи современных мощных CAD-систем.

А что произошло с плоской графикой? 2D-проектирование идет параллельно пространственному. Во-первых, многие компании привыкли работать в плоскости и создали множество библиотек и приложений именно для автоматизации 2D-работ. Во-вторых, есть области, которые традиционно остаются двумерными независимо от степени использования 3D, например разработка электрических схем. В результате мы имеем широчайший выбор программных продуктов легких узкофункциональных двумерных решений.

Рассмотрим, что понимается под конструкторским проектированием и под изготовлением в общем смысле.

Под компьютерным проектированием в общем случае понимается разработка конструкторского проекта изделия на основе трехмерного или двумерного геометрического моделирования деталей и сборочных единиц с последующим автоматизированным формированием комплекта чертежно-конструкторской документации.

Под изготовлением с помощью САПР понимается автоматизированное формирование на основе имеющейся геометрической модели изделия управляющих программ для изготовления деталей изделия на оборудовании ЧПУ. При этом САПР обеспечивает интегрированное решение задач разработки конструкторского проекта изделия и формирования управляющих программ для обработки деталей изделия на оборудовании. Объединение этих задач обусловлено тем, что их решение базируется на использовании единой трехмерной геометрической модели изделия (рис. 3).

Нельзя забывать, что разработка и подготовка производства сложной, высокотехнологичной продукции – групповой процесс, в который вовлечены десятки и сотни специалистов, инженеров предприятия или даже группы предприятий. Данный процесс необходимо постоянно контролировать и отслеживать, чтобы укладываться во временные рамки, отведенные на проектирование. Это также обусловлено острой конкуренцией между проектными предприятиями. В процессе разработки изделия возникает ряд частных проблем, влияющих на общий успех, которые стремятся исключить на каждом проектном предприятии, в основном:

1) отсутствие или неполная возможность видеть ключевые ресурсы, вовлеченные в процесс разработки, в их фактическом состоянии на данный момент времени;

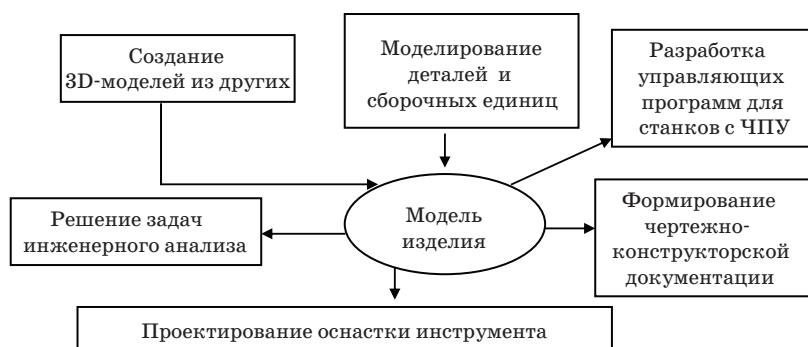


Рис. 3. Модель изделия в процессе проектирования и изготовления

2) организация совместной работы коллектива специалистов с привлечением компаний, поставляющих какие-либо компоненты для разрабатываемого изделия. Существенно сократить сроки подготовки производства можно только одним способом – за счет параллельного выполнения работ и тесного взаимодействия всех участников процесса.

Модель взаимодействия участников процесса проектирования можно представить кольцевой моделью (рис. 4). Иерархическая структура взаимодействия вызовет большое количество издержек и потерю времени при взаимодействии подразделений.

Для поддержки коллективного взаимодействия необходимо создание единого информационного пространства (ЕИП) предприятия, другими словами, единого пространства цифровых данных о корпоративной продукции, программного обеспечения для решения логистических задач на предприятии, единого документооборота. Если создать условия для существования такого пространства, то такая модель позволит на каждом этапе проектирования взять информацию об объекте проектирования, изучить его 2D-модель, 3D-модель, сборку, проверить расчеты, при необходимости внести изменения и без потери данных вернуть информацию на требуемый этап проектирования. На проектном предприятии также нужны PDM-системы (Product Data Management). Конструкторы, технологи и другие специалисты должны получать данные из системы управления данными об изделии. Системы PDM не только получа-

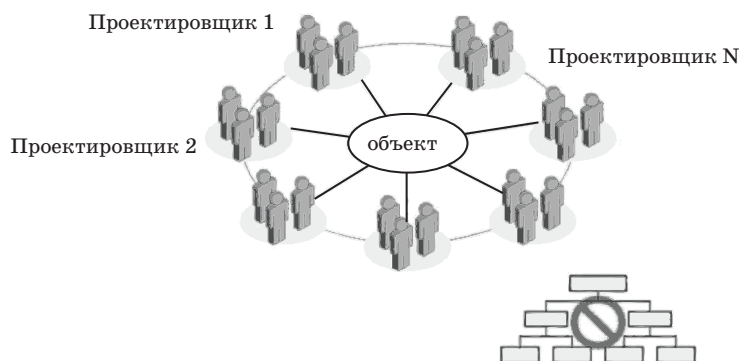


Рис. 4. Схема коллективного взаимодействия между участниками проектирования

ют информацию об изделии, но и дополняют ее, формируя состав изделия, который будет актуальным для разных служб предприятия. В дальнейшем, после изготовления изделия, информация о нем будет использована сервисными подразделениями для планового обслуживания, заказчиком – для конфигурирования готовой продукции под свои специфические потребности, а инженерным составом – для модернизации и изготовления нового изделия на основе уже спроектированного.

Существенным недостатком современных САПР является отсутствие сопровождения конструкторского и технологического этапов проектирования математическим моделированием динамики проектируемого изделия. В работе [1] предложены инструменты САПР такого сопровождения: «построение математических моделей», «моделирование», «анализ», «синтез». Эти инструменты сопровождают конструкторское проектирование на каждом этапе.

В схеме проектирования представлены все вышеперечисленные системы (рис. 5).

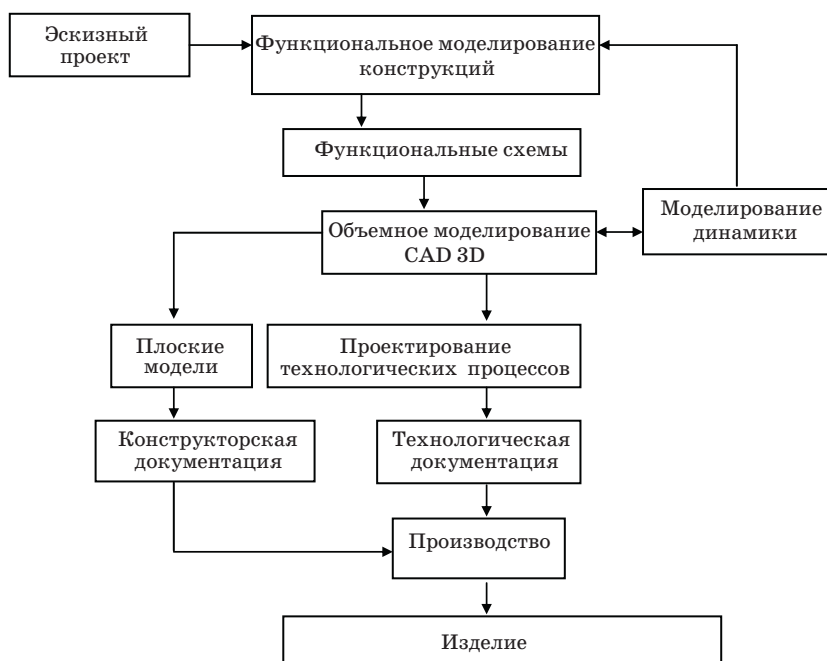


Рис. 5. Типовая схема конструкторского проектирования



Рис. 6. Замкнутое пространство этапов ЖЦИ

Рассмотрим теперь процессы, которые связаны с поддержкой создаваемого изделия. Основные этапы жизненного цикла изделия (ЖЦИ) таковы:

- 1) маркетинговые исследования потребностей рынка;
- 2) научно-исследовательские работы;
- 3) проектирование;
- 4) подготовка производства изделия на заводе-изготовителе;
- 5) производство и сбыт;
- 6) эксплуатация и обслуживание;
- 7) утилизация.

На каждом этапе ЖЦИ необходимо соответствующее информационное обеспечение. Поэтому единое пространство информации должно включать все этапы жизненного цикла изделия (рис. 6).

Понятно, что поддержка выпускаемой продукции на каждом этапе ЖЦИ – безусловное требование к современному промышленному предприятию. Известно, что изделия, требующие больших издержек в начальный период своего жизненного цикла, обычно менее рентабельны, чем продукция, инвестиции в которую равномерно распределены во времени или даже сдвинуты на более поздние сроки. Это актуально для настоящих процессов, когда пыта-

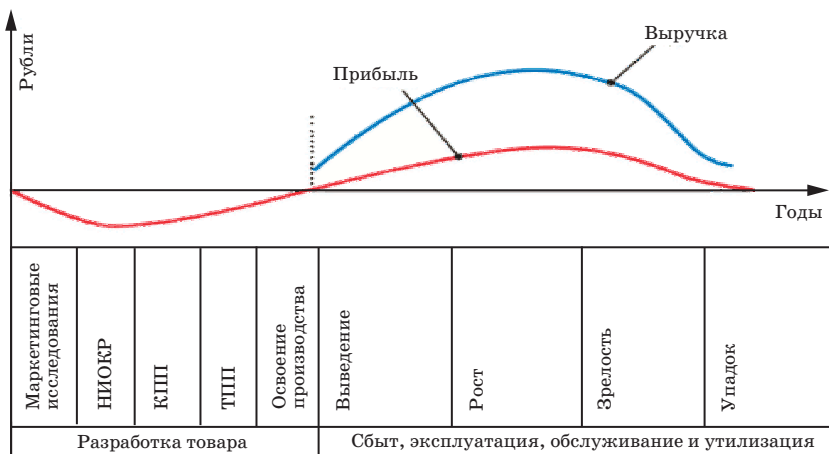


Рис. 7. Развитие создания, освоения и производства нового изделия

ются использовать типовые проектные решения. Любая разработка содержит этап роста, когда продукция продвигается на рынке, параллельно развивается ее поддержка и затем начинается спад, когда продукцию необходимо развивать на новой платформе, так как старая разработка становится неконкурентоспособной (рис. 7).

2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время хорошо известна группа ведущих систем среди САПР различных производителей, которые получили достаточное распространение на территории нашей страны. К ним в первую очередь относят системы AutoCAD, SolidWorks, Cimatron, Pro/Engineer, SolidAge, UNIGRAPHICS [3]. Недавно на рынке появилась система nanoCAD, которую мы рассмотрим позже. В сфере разработки базы данных электронных версий нормативных документов используется система NormaCS.

Рассмотрим те программные системы, которые нужно использовать в лабораторных работах.

Система AutoCAD относится к классу CAD-систем (рис. 8). Это система для построения как 2D-, так и 3D-объектов в области архитектурно-строительного проектирования, изготовления технологических, электротехнических и механических схем и систем. Очень широкое распространение AutoCad получил в области разработки машиностроительных чертежей и картографии.

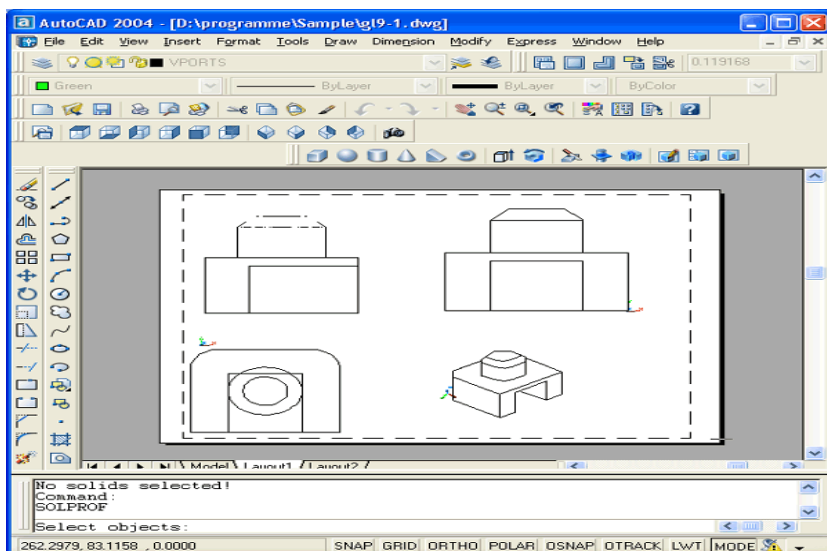


Рис. 8. Пример выполненного объекта в AutoCAD

Специализированные пакеты, разработанные на базе AutoCAD, позволяют значительно расширить возможности последнего. К таким, к примеру, относят:

1) AutoCAD Civil 3D (прежнее название – Autodesk Civil 3D) – программа, базирующаяся на платформе AutoCAD и предназначенная для землеустроителей, проектировщиков генплана, проектировщиков линейных сооружений;

2) AutoCAD Electrical – специализированное приложение на платформе AutoCAD для проектирования электрических систем управления;

3) AutoCAD Inventor Tooling Suite – система трехмерного твердотельного проектирования, предназначенная для проектирования и анализа пресс-форм для изготовления пластмассовых изделий и др. AutoCAD позволяет вести параллельно с чертежом внутреннюю базу данных, в которой хранится полная информация о разрабатываемом продукте. Эту базу можно обрабатывать с помощью языков высокого уровня C, C++.

Недостатки системы заключаются в том, что в ней:

1) ядром является только конструкторская система с относительно ограниченными возможностями;

2) уровень автоматизации формирования элементов оформления чертежей недостаточно высок;

3) включена возможность связи с другими системами только на уровне обмена внешними файлами.

При проектировании часто требуется ознакомиться с нормативами или ГОСТами соответствующей отрасли.

NormaCS предназначена для хранения, поиска и отображения текстов и реквизитов нормативных документов, а также стандартов, применяемых на территории Российской Федерации и регламентирующих деятельность предприятий различных отраслей промышленности [5].

NormaCS обеспечивает аутентичность текстов нормативно-технических документов, хранящихся в базе данных программы. Полнота и актуальность базы данных, продуманный интерфейс и удобный механизм отображения информации позволяют решать любые задачи, связанные с поиском нормативного документа. Высокий уровень сервиса, предоставляемого пользователю программы, обеспечен преимуществами атрибутивной и полнотекстовой базы данных, наличием графических копий официальной публикации документов и широтой охвата различных отраслей промышленности. Реализована связь с офисными продуктами и другими расчетно-графическими программами автоматизированного проектирования.

Оконная форма программы показана на рис. 9, древовидный каталог, содержащий списки документов в соответствии с общероссийским классификатором стандартов, – на рис. 10.

Рассмотрим программную систему nanoCAD СПДС.

NanoCAD СПДС представляет собой двумерную графическую программу – САПР, предназначенную для выполнения чертежей и оформления рабочей документации в архитектурно-строительном проектировании и смежных отраслях. Программа nanoCAD СПДС полностью самостоятельна, для ее работы не требуется предварительной установки программ сторонних разработчиков. Особенностью nanoCAD СПДС является наличие универсальных инструментов, позволяющих работать как со сканированными (растровыми) изображениями (чертежами, картами, схемами, набросками и другими графическими материалами), так и с объектами САПР – линиями, текстами, таблицами, размерами и т. д.

Оконная форма программы представлена на рис. 11.

Для оформления проектной документации графическим обозначением элементов ГОСТом поставлены в соответствие объекты

NormaCS® - Система работы с нормативными документами					
Файл Правка Вид Фильтр Документ ?					
Выборка документов Найдено: 148					
	Индекс	Номер	Дата	Утвержден	Наименование
	GOST	14.201-83*	09.02.1983	Госстандарт СССР	Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования
	GOST	14.205-83*	09.02.1983	Госстандарт СССР	Технологичность конструкции изделий. Термины и определения
	GOST	14.206-73*	24.10.1973	Госстандарт СССР	Технологический контроль конструкторской документации
	GOST	14.322-83*	09.02.1983	Госстандарт СССР	Нормирование расхода материалов. Основные положения
	GOST	15.000-82	16.06.1982	Госстандарт СССР	Система разработки и постановки продукции на производство. Общие положения
	GOST	15.001-88*	25.11.1988	Госстандарт СССР	Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения
	GOST	15.004-88*	26.05.1988	Госстандарт СССР	Система разработки и постановки продукции на производство. Средства индивидуальной защиты
	GOST	15.005-88*	15.10.1986	Госстандарт СССР	Система разработки и постановки продукции на производство. Создание изделий единичного и мелкосерийного производства, собираемых на месте эксплуатации
	GOST	15.007-88*	26.05.1988	Госстандарт СССР	Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция легкой промышленности. Основные положения
	GOST	15.009-91	27.05.1991	Госстандарт СССР	Система разработки и постановки продукции на производство. Непродовольственные товары народного потребления
	GOST	15.011-82	20.10.1982	Госстандарт СССР	Система разработки и постановки продукции на производство. Средства индивидуальной защиты
Система разработки и постановки продукции на производство					
Все	GOST	GOST Р	GOST Р ИСО	MP	OK
				OCT	PR
					PD
Для получения помощи нажмите F1					
					NUM

Рис. 9. Система NormaCS

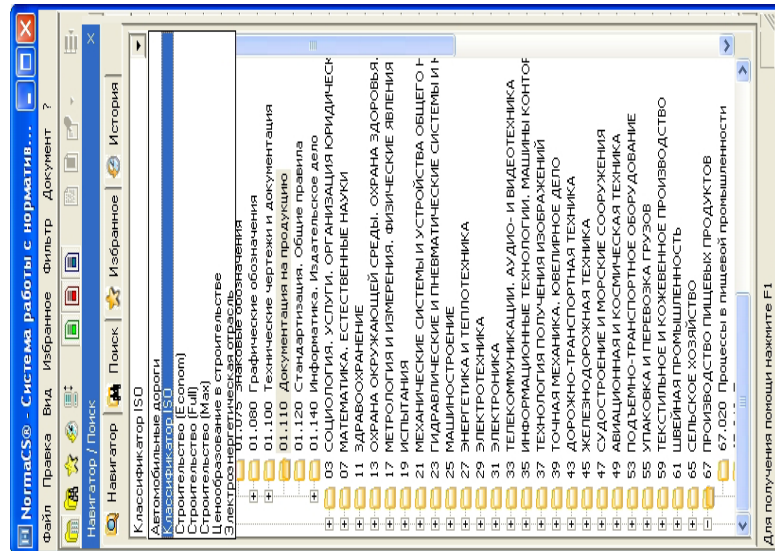
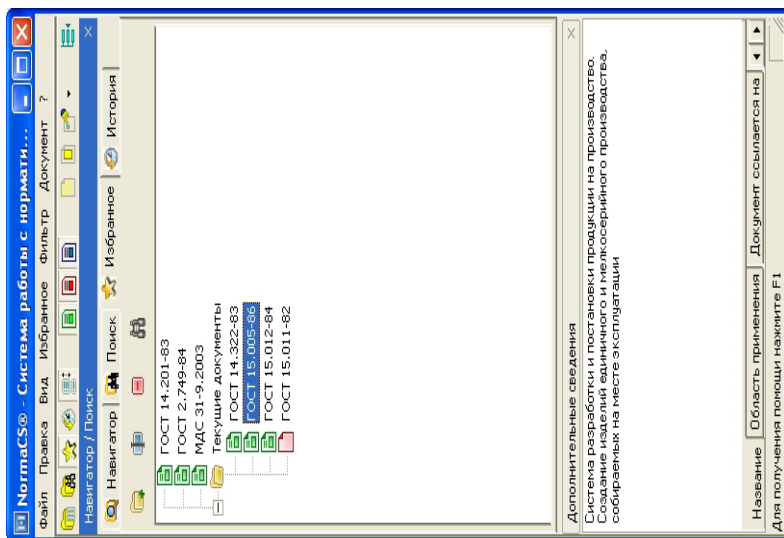


Рис. 10. Классификатор NormCS



СПДС, которые сосредоточены на одной двухуровневой панели инструментов (рис. 12).

В nanoCAD СПДС возможно выполнение следующих расчетов (рис. 13).

- предварительный расчет болтового соединения;
- расчет геометрических характеристик сечения;
- расчет прямой балки постоянного сечения.

Рассмотрим предварительный расчет болтового соединения (рис. 14).

Для начала работы по созданию чертежа необходимо установить начало системы координат. Необходимо выбрать меню «Вид – Панель Инструментов» и выбрать Настройки. Затем нужно выбрать ориентацию осей начальной системы координат (рис. 15).

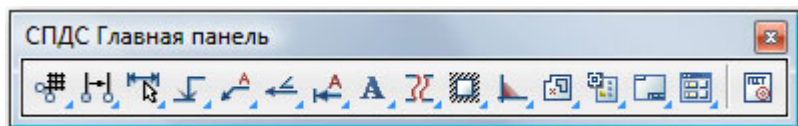


Рис. 12. Главная панель СПДС

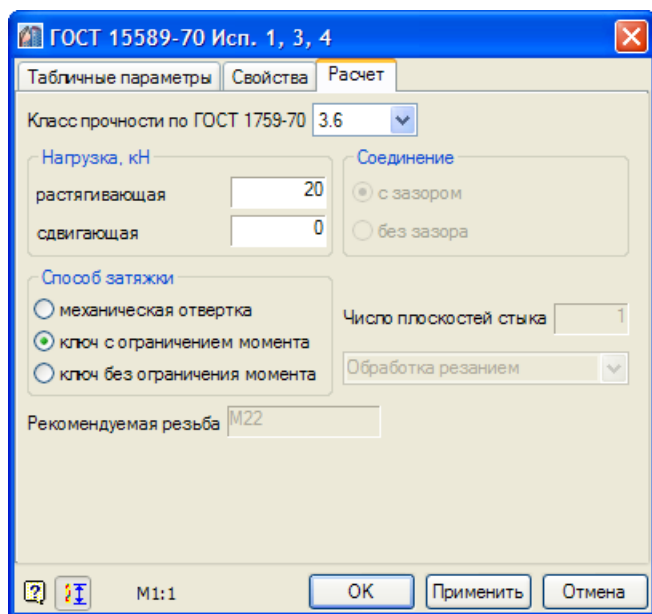


Рис. 13. Оконная форма

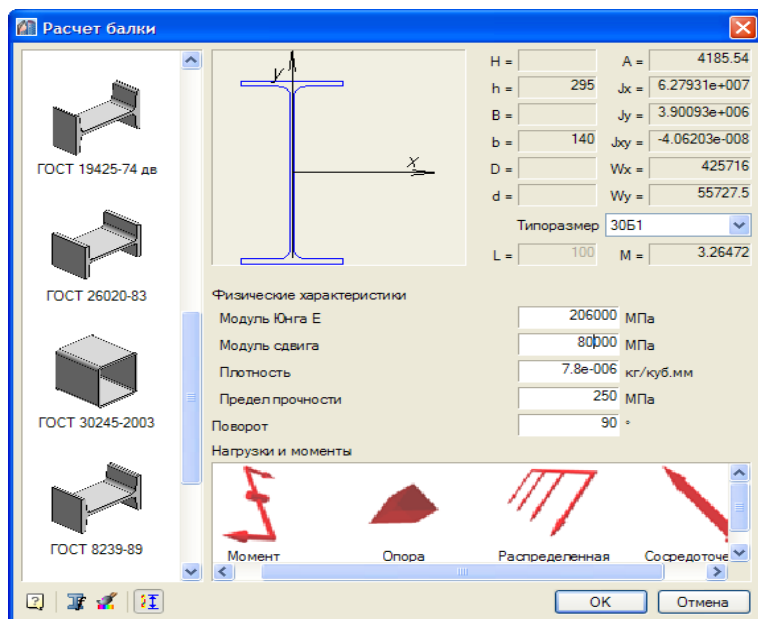


Рис. 14. Расчет болтового соединения

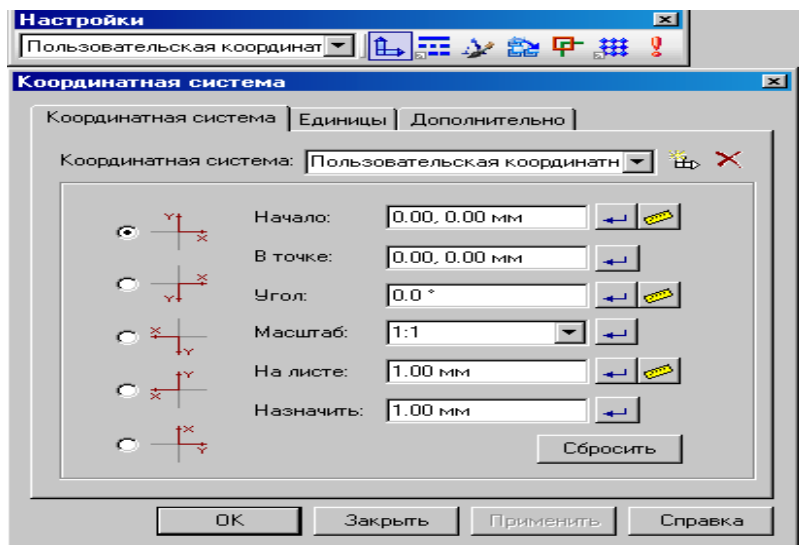


Рис. 15. Оконная форма задания системы координат

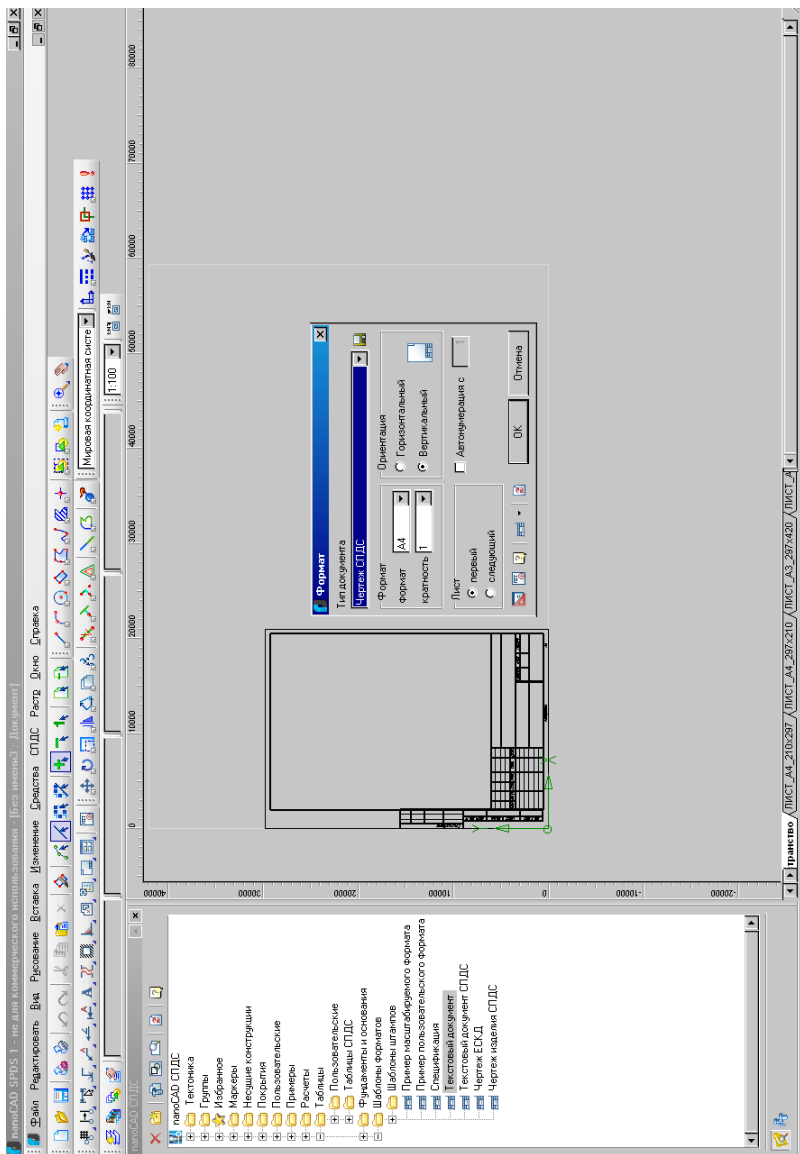


Рис. 16. Размещение спецификации

Затем необходимо выбрать формат документа, который будете создавать, и разместить на нем спецификацию (рис. 16).

Для ввода данных в спецификацию необходимо выбрать операцию «Шаблоны форматов» (рис. 17).

После того, как подготовительный этап произведен, можно переходить к созданию самого чертежа и формированию конструкторской документации.

Для создания чертежа пользователь использует соответствующие внутренние опции программы.

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

3.1. Построение математических моделей гетерогенных объектов проектирования

Цель работы – выполнить с помощью подсистемы САПР построение математической модели объекта проектирования с выводом эскиза чертежа принципиальной схемы электрического звена объекта.

Прежде всего необходимо определить, что понимается под гетерогенным объектом в проектировании. Сегодня при проектировании объектов часто встречаются конструкции, обладающие свойствами гетерогенности, т.е. состоящие из физически разнородных компонентов. Так как эти компоненты входят в сборочную единицу, они определяют ее свойства: массу, объем, функциональные и технологические характеристики.

Модель в аналитическом виде объекта проектирования используется на этапе расчетного проектирования и дальше не используется в проектных процедурах. Модель в аналитическом виде не подвержена уточнениям при переходе от одной проектной процедуры к другой. При этом сложные компоненты объектов проектирования зачастую рассчитываются, исходя их предположений при рассмотрении объекта в стационарном состоянии. Модели, которые содержат в себе как реальные возмущения, так и конструктивные характеристики, можно использовать параллельно с геометрической моделью в проектных процедурах. Поэтому необходимо модель в аналитическом виде «тянуть» от начала проектирования до этапа изготовления опытного образца. Это позволит:

- 1) избежать ошибок ручных вычислений на этапе расчетного проектирования;
- 2) производить моделирование с учетом реальных возмущений, что положительно скажется при оценке характеристик модели;

3) в дальнейшем геометрическую модель (CAD) и модель объекта в аналитическом виде использовать параллельно в проектировании.

Для построения аналитической модели используется программная система построения математических моделей гетерогенных динамических систем авторов Р. И. Сольничева и Н. Н. Майорова. Рассмотрим применение данной программы при построении модели гиросtabilизатора [2, 4]. Гиросtabilизатор – это сложное устройство, в котором присутствуют как электрические, так и механические части.

На рис. 18 представлена схема электрической части одноосной гирорамы. Математическая модель электрической части определяется на основе законов Кирхгофа.

Полная кинетическая энергия всей электрической части составляется из кинетических энергий отдельных контуров:

$$T_{\text{эл}} = \sum_i T_i, \quad (1)$$

где T_i – кинетическая энергия i -го контура:

$$T_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M L_j i_j^2, \quad (2)$$

здесь M – количество индуктивностей в контуре; L_j – коэффициент само- и взаимной индукции и i_j – сила тока в j -й индуктивности i -го контура.

Потенциальная энергия электрической части равняется запасенной энергии электрического поля в емкостях. Потенциальная

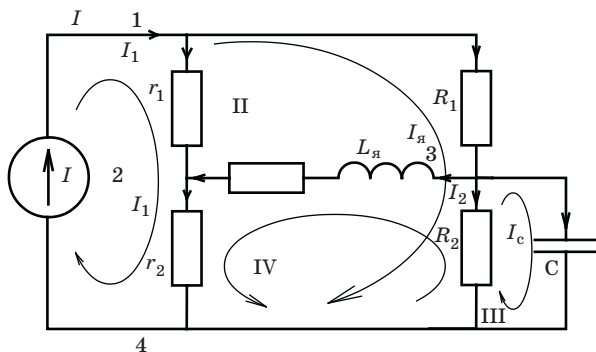


Рис. 18. Схема электрической части одноосной гирорамы [2]

энергия складывается из потенциальных энергий отдельных контуров:

$$U_{\text{эл}} = \sum_i U_i. \quad (3)$$

В случае наличия емкостей в контуре

$$U_i = \frac{1}{2} \sum_j^M \frac{q_{cj}^2}{C_j},$$

где M – число емкостей в контуре; q_{ci} – заряд и C_j – емкость j -го конденсатора в i -м контуре.

Функцию диссипации, возникающую в результате рассеивания энергии на сопротивлениях электрической части, представим в виде

$$W_{\text{эл}} = \sum_i W_i; \quad W_i = \frac{1}{2} \sum_j^M r_j i_j^2, \quad (4)$$

здесь M – число сопротивлений в контуре; r_j и i_j – сопротивление и сила тока в j -м сопротивлении i -го контура.

Построение математической модели как электрической, так и механической частей гиросtabilизатора выполняется на основе уравнения Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial U}{\partial q_i} - \frac{\partial W}{\partial \dot{q}_i} + F_i, \quad i = (n+1, N), \quad (5)$$

здесь T – кинетическая энергия электрической части устройства; U – потенциальная энергия электрической части устройства; W – функции диссипации электрической части устройства; F_i – воздействие по i -й обобщенной координате электрической части устройства; q_i , $\dot{q}_i$ – обобщенные координаты и скорости.

Вводим данные по контурам в подсистему САПР (рис. 19).

Интерфейс программы показывается на лабораторной работе преподавателем. Подсистема САПР позволяет получать уравнения динамики также и для механических звеньев [2]. Пример вывода математической модели для гидромеханической и электромеханической систем приведен в работе [2].

Итоговая математическая модель объекта проектирования показана на рис. 20, построение электрического контура поэлементно – на рис. 21.

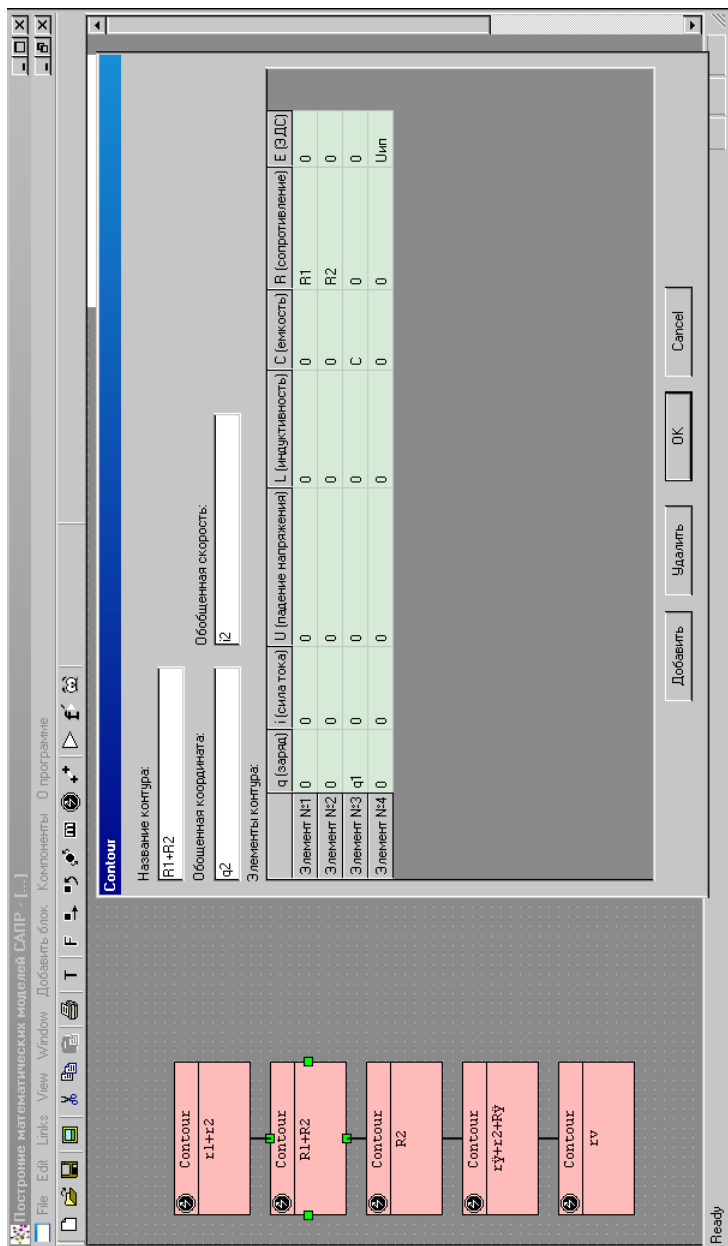
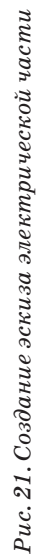
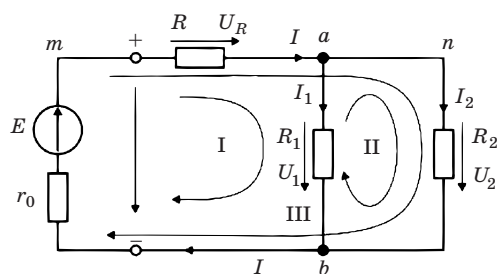


Рис. 19. Ввод данных об электрической части в подсистему САПР

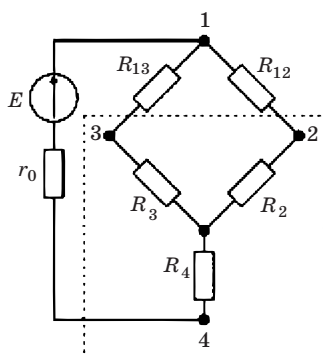


Примеры вариантов заданий

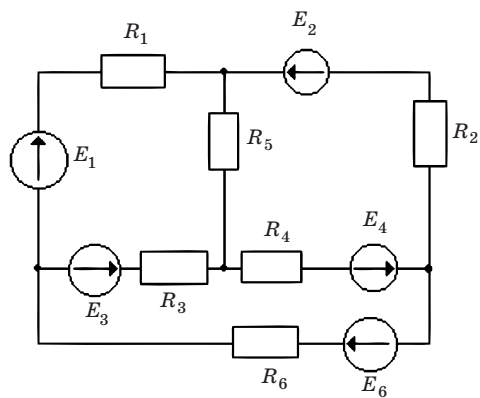
Вариант 1



Вариант 2



Вариант 3



Порядок выполнения работы

1. Разбить электрическую часть на контуры.
2. Осуществить ввод элементов контуров в подсистему САПР.
3. Получить уравнения математической модели.
4. Проверить правильность полученных уравнений математической модели.
5. Перейти к прорисовке схематического чертежа электрической части.
6. Подготовить отчет и защитить лабораторную работу.

3.2. Исследование программной системы САПР

Цель работы – подготовить расширенный доклад, произвести сравнение программных систем САПР, выполнить анализ возможностей программных продуктов.

Варианты докладов

Вариант	Программный продукт САПР
1	AutoCad
2	Autodesk Inventor Suite 2008
3	ProENGINEER
4	TechnologiCS
5	nanoCAD Планировка
6	nanoCAD СПДС
7	ТЕХТРАН
8	Компас 3D

Версия программных продуктов в таблице не указывается. Вариант задания может быть изменен преподавателем.

Докладчику необходимо подготовить презентацию по варианту из таблицы по назначенному программному продукту. От докладчика требуется расширенная презентация с оценкой программного продукта по критериям:

- 1) назначение программы;
- 2) платформа и технические требования к аппаратной части PC;
- 3) наличие возможности к подготовке конструкторской документации;
- 4) наличие возможности работы с ЧПУ;
- 5) пример решения.

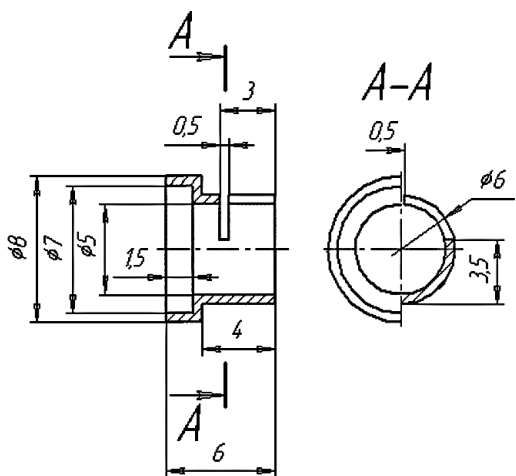
Перед. примен.																																																														
Стор. №																																																														
Лист и дата	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 10%;">№ докум.</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 10%;">Дата</td> <td rowspan="4" style="width: 30%; text-align: center; vertical-align: middle; font-size: 1.2em;">Оправка</td> <td style="width: 10%;">Лит.</td> <td style="width: 10%;">Масса</td> <td style="width: 10%;">Насчитано</td> </tr> <tr> <td>Разраб.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center; font-size: 1.5em;">5:1</td> </tr> <tr> <td>Проф.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Лист</td> <td colspan="2">Листов 1</td> </tr> <tr> <td>И. контур</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Н. контур</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> <td></td> </tr> </table>										Лист	Лист	№ докум.	Лист	Дата	Оправка	Лит.	Масса	Насчитано	Разраб.								5:1	Проф.					Лист	Листов 1		И. контур								Н. контур									Утв.								
Лист											Лист	№ докум.	Лист	Дата	Оправка		Лит.	Масса	Насчитано																																											
Разраб.								5:1																																																						
Проф.					Лист	Листов 1																																																								
И. контур																																																														
Н. контур																																																														
Утв.																																																														
Лист и дата																																																														
Взам. инв. №																																																														
Инв. № докум.																																																														
Лист и дата																																																														
Инв. № инв.																																																														

Рис. 22. Примеры заданий на выполнение работы

3.3. Формирование конструкторской документации

Цель работы – выполнить проектирование и необходимые спецификации для заданного объекта в программе nanoCad СПДС или AutoCAD.

Вариант задания назначается преподавателем. Примеры заданий приведены на рис. 22.

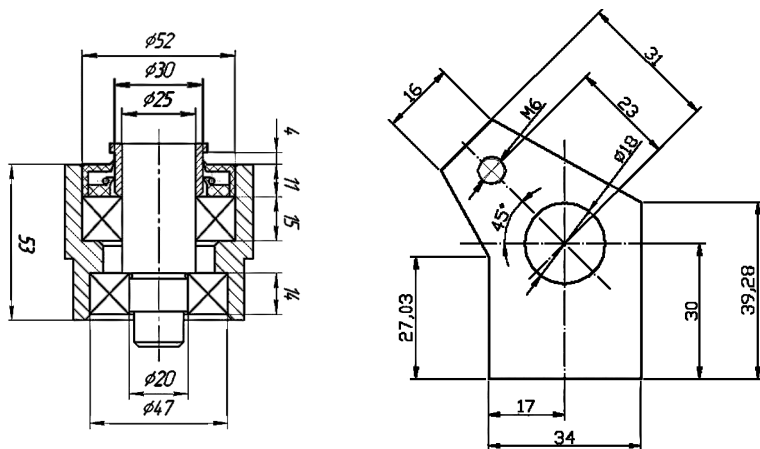


Рис. 22. Продолжение

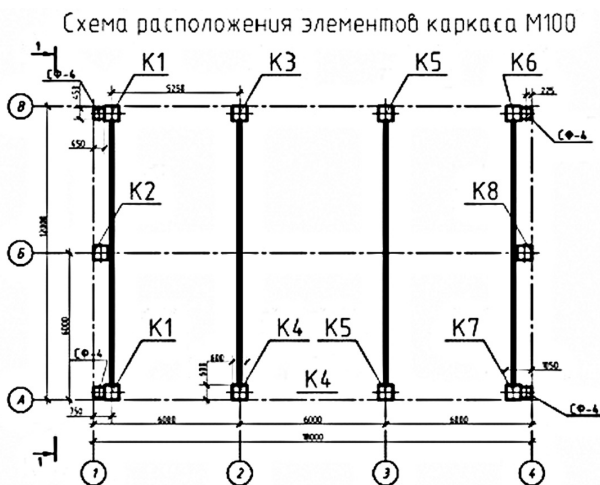


Рис. 22. Окончание

Порядок выполнения работы.

1. Получить задание (схему, чертеж) от преподавателя.
2. Изучить выбранный программный продукт для выполнения проектирования.
3. Создать чертеж и спецификации к нему на выбранном программном продукте.
4. Сформировать отчет и прикрепить к отчету распечатанные спецификации.

Библиографический список

1. *Сольницев Р. И.* Автоматизация проектирования систем автоматического управления. – М.: Высш. шк., 1991. – 334 с.

2. *Сольницев Р. И., Майоров Н. Н.* Моделирование в САПР: метод. указ. / ГУАП. – СПб., 2008. – 30 с.

3. *Сольницев Р. И., Михайлов М. А., Лячек Ю. Т.* Трехмерное геометрическое моделирование машиностроительных конструкций: учеб. пособие / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2007. – 84 с.

4. *Никитин Е. А., Балашова А. А.* Проектирование дифференцирующих интегрирующих гироскопов и акселерометров: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1969. – 216 с.

Ссылки на ресурсы в сети.

5. Сайт программы nanoCAD СПДС. www.nanocad.ru

Содержание

1. Компьютерное проектирование. Основные положения	3
2. Системы автоматизации конструкторского проектирования	12
3. Лабораторные работы	22
3.1. Построение математических моделей гетерогенных объектов проектирования	22
Примеры вариантов заданий	28
Порядок выполнения работы	29
3.2. Исследование программной системы САПР	29
3.3. Формирование конструкторской документации	30
Порядок выполнения работы	30
Библиографический список	33