

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ульяновский государственный университет»
Факультет математики и информационных технологий
Кафедра математического моделирования технических систем**

В.Л. Леонтьев, А. Р. Гисметулин, А.Н. Евсеев, А.С. Кондратьева

**Учебно-методическое пособие
по выполнению и оформлению курсовых работ
для студентов направлений бакалавриата
«Системный анализ и управление», «Авиастроение»,
«Автоматизация технологических процессов и производств»**

Под общей редакцией Ю.В. Полянскова

Ульяновск 2013

E25

УДК 338.4(0758)

ББК: 65.301-551 я73

*Печатается по решению Ученого Совета
факультета Математики и информационных технологий
Ульяновского государственного университета*

Рецензент: профессор, д.т.н. Попов П.М.

В.Л. Леонтьев, А. Р. Гисметулин, А.Н. Евсеев, А.С. Кондратьева

Учебно-методическое пособие по выполнению и оформлению курсовых работ для студентов направлений бакалавриата «Системный анализ и управление», «Авиастроение», «Автоматизация технологических процессов и производств». Под общей ред. Ю.В. Полянского. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 34с.

Учебно-методическое пособие разработано для студентов направлений бакалавриата «Системный анализ и управление», «Авиастроение», «Автоматизация технологических процессов и производств» факультета математики и информационных технологий Ульяновского государственного университета с целью реализации-профессиональных компетенций, связанных с умением студентов при выполнении курсовых работ осуществлять необходимый анализ, проектирование и расчеты, направленные на решение типовых задач реального производства.

© Ульяновский государственный университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	5
1.1 Содержание разделов курсовой работы.....	5
1.2 Оформление и объём курсовой работы	6
2 ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ С РАЗВИТОЙ КОНСТРУКТОРСКО-РАСЧЁТНОЙ ЧАСТЬЮ.....	13
2.1 Требования к содержательной части работы	13
2.2 Основные принципы построения моделей и выбора методов их исследования.....	15
2.3 Универсальные уравнения - основа математических моделей конструкций	17
2.4 Уравнения состояния, определяющие характер модели конструкции	17
2.5 Краевые и начальные условия, определяющие конкретные обстоятельства применения модели	18
3 ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ С РАЗВИТОЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТЬЮ	20
3.1 Тематика курсовых работ.....	20
3.2 Содержание курсовой работы.....	21
3.3 Последовательные этапы процесса создания любого нового изделия основного производства	22
3.4 Функции и проблемы технологической подготовки производства	24
3.5 Базовые системы автоматизации проектирования и управления в ТПП	25
3.6 Автоматизация технологической подготовки механообрабатывающего производства.....	26
4 ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ С РАЗВИТОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТЬЮ.....	28
4.1 Требования к содержательной части работы	28
4.2 Общие требования к разработке модели и формализованному описанию процессов	29
4.3 Компоненты процесса	30
4.4 Основные этапы моделирования	31
4.5 Анализ модели.....	31
4.6 Инструментальные средства моделирования бизнес процессов.....	32
ЛИТЕРАТУРА	33

ВВЕДЕНИЕ

Данное методическое пособие по выполнению и оформлению курсовых работ предназначено для студентов направлений бакалавриата: «Системный анализ и управление», «Авиастроение», «Автоматизация технологических процессов и производств».

В пособии представлены методические рекомендации по написанию и оформлению курсовых работ с развитыми конструкторско-расчётной, технологической, организационно-технической частями.

Пособие позволит студентам грамотно подходить к формулировкам целей и задач курсовых работ, правильно проводить литературный анализ по заданной теме, проводить необходимые исследования и оформлять полученные результаты.

1 ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа студента высшего профессионального образования должна содержать решение типовых производственных и учебных задач, в соответствии с заданием научного руководителя, и должна соответствовать отражать современный научно-технический уровень и практическую направленность.

Курсовая работа должна состоять из содержания, введения, обзора научной и методической литературы по теме курсовой работы, аналитической и проектно-исследовательской частей, заключения, списка литературы и приложения.

Конкретная структура и объем определяются руководителем в соответствии с видом курсовой работы, заданием на её выполнение, ее характером и содержанием.

1.1 Содержание разделов курсовой работы

В *содержании* указываются все разделы работы, детализированные до подразделов, пронумерованные арабскими цифрами.

Во *введении* должны быть отражены: современное состояние решаемой проблемы, актуальность выбранной темы, предмет и объект исследования, четко сформулированы цели и задачи, решение которых необходимо для выполнения курсовой работы.

Обзор научной и методической литературы, посвященной рассматриваемой проблеме, должен содержать перечень достижений в рассматриваемой области, изложенных в научных и научно-популярных журналах, монографиях и сайтах сети Интернет, а также их критический анализ.

Аналитическая часть является основой для разработки проектных решений в рамках темы курсовой работы и должна отражать характеристику объекта исследования, анализ и прогноз его изменения под действием внешних условий, а также основные теоретические аспекты и математические зависимости.

В *проектно-исследовательской части* детально разрабатывается план мероприятий по объекту исследования, проведенному в аналитической части. Используются приемы и методы, описанные в теоретической части. Прорабатываются варианты решения поставленных задач, даются схемы их

решения и сравнительная оценка, строятся модели, выбираются методы и разрабатываются алгоритмы.

Заключение должно содержать выводы, сделанные по результатам всей работы. В заключении необходимо соотнести полученные выводы с целями и задачами, поставленными во введении, а также описать возможные области применения полученных результатов.

Список использованной литературы должен содержать библиографическое описание монографий, учебников и учебных пособий, журнальных статей, инструктивных и методических материалов, организационно-экономической документации, которые использовались для выполнения курсовой работы.

Наличие **приложений** не является обязательным. Сюда рекомендуется выносить копии организационно-экономической документации, таблицы, схемы, рисунки, которые нецелесообразно располагать в тексте в виду их громоздкости, и другие материалы, имеющие вспомогательный или дополнительный характер.

1.2 Оформление и объём курсовой работы

Оформление курсовой работы должно соответствовать межгосударственным стандартам: ГОСТ 7.32-2001 – Отчёт о научно-исследовательской работе, ГОСТ 7.1-2003 – Библиографическое описание документа.

Общие требования и правила заполнения.

Пояснительная записка курсовой работы выполняется с применением печатных и графических устройств вывода ЭВМ.

Текст печатается на одной стороне листа шрифтом «Times New Roman» размером 14 через 1,5 интервала. Размеры полей: верхнего и нижнего – 2 см., левого – 3 см. и правого – 1 см. Выравнивание текста – по ширине. Шрифт заголовков разделов полужирный, размер 16; шрифт заголовков подразделов полужирный, размер 14; межсимвольный интервал обычный.

Объём работы должен составлять примерно 30 – 40 страниц печатного текста без приложений.

Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определённых терминах, формулах, теоремах, применяя шрифты различной гарнитуры. При выполнении работы необходимо соблюдать равномерную плотность, контрастность и четкость изображения по всей работе. В работе должны быть четкие линии, буквы, цифры и знаки.

Изложение текста необходимо вести в безличной форме. Текст должен быть кратким и четким. Терминология, сокращения и определения должны соответствовать терминам, установленным стандартами, а при их отсутствии – общепринятым в научно-технической и экономической литературе. Если в тексте принята особая терминология, то в конце его (перед списком литературы) приводится перечень принятых терминов с их разъяснением. Указанный перечень включается в содержание. Примечания к тексту при необходимости пояснения содержания текста, формулы, таблицы или иллюстрации размещаются внизу страницы, к которой они относятся. Текст примечания отмечается звездочкой и отделяется от основного текста прямой горизонтальной линией.

Пояснительная записка собирается в следующем порядке:

- Титульный лист;
- Содержание;
- Введение;
- Обзор научной и методической литературы;
- Аналитическая часть;
- Проектно-исследовательская часть;
- Заключение;
- Список использованной литературы;
- Приложения.

С новой страницы начинаются: титульный лист, содержание, введение, каждый из разделов, заключение, список использованной литературы, каждое из приложений.

Рубрикация текста подразумевает деление на крупные и мелкие части. Такое деление проявляется в наличии структурных элементов (разделов, подразделов, пунктов, подпунктов), имеющих заголовки и пронумерованных арабскими цифрами. Заголовок подраздела нумеруется двумя цифрами: номером части и номером раздела (например, 2.1).

Деление раздела на подразделы (пункты, подпункты) должно осуществляться на протяжении всего раздела по одному и тому же признаку.

Заголовки должны быть достаточно краткими, то есть не содержать лишних слов, но в то же время они не должны состоять из одного слова.

Разделы и его составные элементы должны быть озаглавлены так, чтобы название точно соответствовало содержанию текста.

Простейшим видом рубрикации является деление текста внутри самостоятельной единицы – раздела или пункта – с помощью абзацев. Абзацный отступ должен составлять пять знаков.

Оформление заголовков должно быть однотипным по всему тексту. Заголовки от границы листа отделяются абзацным отступом. Заголовки разделов и подразделов оформляются с прописной буквы. В конце заголовка точку не ставят. Расстояние между заголовком раздела и подраздела – 1,5 интервала, расстояние от заголовка до текста – 2 интервала.

В **содержании** выносятся названия всех разделов. Допускается вынесение в содержание названий отдельных составляющих каждого раздела (подраздела, пункта). Заголовки одинаковых ступеней рубрикации следует располагать друг под другом. Заголовки каждой последующей ступени смещают на три-пять знаков вправо по отношению к заголовкам предыдущей ступени. После названия раздела в конце последней его строки проставляется номер страницы, с которой начинается раздел. Между окончанием названия и номером страницы пробиваются точки. Заголовки в содержании должны точно повторять заголовки в тексте.

Нумерация страниц проводится арабскими цифрами посередине нижнего поля с соблюдением сквозной нумерации по всему тексту работы.

Титульный лист считается первой страницей, второй и третьей – аннотация, третьей – содержание.

На титульном листе, аннотации и содержании номера страниц не ставятся. Номера страниц проставляются, начиная с первой страницы введения.

Оформление рисунков. Весь графический материал в пояснительной записке (диаграммы, схемы, графики и т.д.) носит название «Рисунок».

Рисунки должны иметь подрисуночную подпись, т.е. подпись, помещаемую под рисунком и раскрывающую его содержание. Например: «Рисунок 1.1 - Организационная структура управления ОАО «Авиастар-СП». После подрисуночной подписи точка не ставится.

Каждому рисунку в тексте должна предшествовать ссылка на него. Например: «Организационная структура управления ОАО «Авиастар-СП» приведена на рисунке 1.1».

Рисунки располагаются в тексте на странице, где сделана на него ссылка, или на следующей странице.

Название рисунка центрируется относительно него.

Нумерация рисунков – сквозная в пределах каждой главы. При присвоении номера рисунку используется двойная нумерация. Первая цифра

указывает номер раздела, в которой расположен рисунок, а вторая – номер рисунка в данном разделе по порядку следования.

Оформление таблиц. Таблицы располагаются в тексте на странице, где сделана ссылка, или на следующей странице. Ссылка на таблицу с номером «2.4» делается так: «В таблице 2.4 приведены...».

Таблицу следует по возможности располагать в тексте по вертикали. Размерность величин, представленных в таблице показателей, обязательно должна быть указана.

В таблицах не должно быть пустых граф. Значение прочерков следует объяснить. Повторяющиеся слова заменяются кавычками. Повторяющиеся цифры и знаки не заменяются.

Таблица обязательно должна иметь заголовок, который должен отражать ее содержание, должен быть точным и кратким. Название таблицы следует помещать слева над таблицей, без абзацных отступов в одну строку с ее номером через тире. Например: Таблица 1.1 – Показатели рентабельности продукции за период 2010-2012 гг.

Нумерация таблиц – сквозная в пределах каждого раздела. При присвоении номера таблице используется двойная нумерация. Первая цифра указывает номер раздела, в котором расположена таблица, а вторая – номер таблицы в данном разделе по порядку следования.

Возможен перенос части таблицы на следующую страницу. При этом на следующую страницу переносится шапка таблицы, название не дублируется. Далее переносится оставшаяся содержательная часть.

При переносе таблицы нумерация проставляется следующим образом: если переносится таблица 1.3, то на следующей странице справа над ней пишется «*Продолжение таблицы 1.3*».

Графы таблицы не нумеруются. Не разрешается нумеровать графы и при переносе таблицы.

Если таблица приведена в приложении, то ее обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица В.1», если она приведена в приложении В.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с заглавной буквы в единственном числе. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Таблицы слева, справа и внизу, как правило, ограничивают линиями. Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Оформление списка литературы. В список литературы вносятся все использованные в процессе выполнения работы учебники и учебные пособия, монографии, статьи из книг и периодической литературы, организационно-экономическая и управленческая документация (бухгалтерские отчёты, нормативные документы, документы статистической отчётности т.п.).

Список использованной литературы составляется в алфавитном порядке авторов или названий работ, если они изданы под общей редакцией; нумеровать арабскими цифрами и печатать с абзацного отступа.

На использованные источники в тексте в обязательном порядке делаются ссылки. Для этого после отрезка текста, в котором производится ссылка, в квадратных скобках проставляется номер. Пример: [6].

Примеры библиографического описания.

Книга 1, 2, 3-х авторов

Красовский А.А. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. / А.А. Красовский, В.Н. Буков, В.С. Шендрик – М.: Наука, 1977. – 272 с.

Книга четырёх и более авторов

Организационное управление: учеб. пособие для вузов/ В.В. Кульба и др.- М: Изд-во ПРИОР, 1998 – 448 с.

Труды конференции

Антикризисное управление: производственные и территориальные аспекты/ Труды IV Всерос. науч.-практ. конф./ НФИ КемГУ; под общ. ред. И.Г. Степанова. – Новокузнецк, 2005.- 413 с.

Сборник статей

Перспективные промышленные технологии и материалы: сб. науч. тр./ СибГИУ; отв. ред. В.Е. Громов, С.М. Кулаков.- Новосибирск: Наука, 2004. - 604 с.

Стандарт

ГОСТ 34.602-89. Техническое задание на создание автоматизированной системы.- Введ. 1990-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1989.- 15 с.

Автореферат диссертации

Родионов Ю.Н. Эффективность использования бюджетных средств по обеспечению национальной безопасности Российской Федерации в современных условиях: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. М.: ВУ, 1997. – С.5.

Диссертация

Кулаков С.М. Основы построения и использования многоструктурных алгоритмических блоков в автоматизированных системах управления (на

примере комплекса «чугун-сталь- прокат»): дис...докт. техн. наук: спец. ; - М., 1992.- 450с.

Статья из журнала

Кулаков С.М. Типология функциональных структур систем управления с прогнозированием./ С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь, В.Б. Трофимов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2005- № 6- С. 54-60.

Электронные ресурсы

Электронный каталог ГПНТБ России [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит., поступающей в фонд ГПНТБ России.- Электрон. дан. (5 файлов, 178 тыс. записей). – М., [199-]. – Режим доступа: [http://www.qphbtb.ru/win/search/heip/el-cat.html\$ 15.10.2002.].

Иностранные издания

Laquer W. The Terrorism Reader: A Historical Anthology / Ed. By Walter. – L., 1975. – P.75.

Оформление формул. Вставка в текст формул производится с помощью специального редактора. (Например, Microsoft Equation 3.0).

Нумеруются только те формулы, на которые имеется ссылка в последующем тексте. Номера проставляются арабскими цифрами. Нумерация формул сквозная в пределах каждого раздела.

При присвоении номера формуле используется двойная нумерация. Первая цифра указывает номер раздела, в которой расположена формула, а вторая – номер формулы в данном разделе по порядку следования, из числа тех формул, которые пронумерованы.

Номер при переносе формулы располагают на уровне последней строки. Нумерация групп формул (например, системы уравнений) производится напротив середины группы формул.

При ссылках на какую-либо формулу её номер ставится в той же форме, что и после формулы.

Формула включается в текст как равноправный её элемент, поэтому в конце формулы и в тексте рядом с ней знаки препинания ставятся в соответствии с правилами пунктуации.

Оформление приложений. Приложения располагаются в тексте вслед за списком использованной литературы.

Приложения располагаются в порядке ссылки на них в основном тексте. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине слово «Приложение» и его обозначения.

Каждое приложение должно иметь заголовок, который записывается симметрично относительно текста с заглавной буквы отдельной строкой.

Нумерация приложений - сквозная в пределах всей работы. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность. Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

Приложения должны иметь общую сквозную нумерацию страниц.

2 ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ С РАЗВИТОЙ КОНСТРУКТОРСКО-РАСЧЁТНОЙ ЧАСТЬЮ

2.1 Требования к содержательной части работы

1. Во введении в курсовую работу дается общая характеристика проектируемых конструкций и процессов, протекающих в них, а также дается описание общей структуры курсовой работы, целей и задач планируемой и выполненной работы. Во введении определяется *актуальность* работы, формулируются проблемы, которые решаются в курсовой работе. Дается краткий перечень моделей, которые будут использоваться в основной части работы, и методов, предназначенных для исследования этих моделей. Введение должно включать в себя изложение теоретической работы по теме, содержать описание используемых понятий и терминов конкретной предметной области, обозначений, обзор литературы по тематике работы (включая зарубежные источники), выводы о степени уже имеющихся решений имеющейся проблемы или об отсутствии подобных решений, описание способов решения сформулированных во введении задач. В обзоре литературы допускаются ссылки на источники информации в Интернете, но надежность этих источников должна быть проверенной и достаточно высокой. Основная часть списка литературы должна содержать сведения о монографиях, учебниках, а также о статьях, опубликованных в научных журналах, как традиционных, так и электронных. Необходима систематизация собранного материала с целью выявления конкурирующих перспективных направлений и способов решения поставленных задач в изучаемой области исследований. Обзор литературных источников должен быть направлен на формирование вывода о целесообразности курсовой работы.

2. В основной части работы выбираются известные или строятся новые математические модели конструкции и процессов, протекающих в ней. При построении и использовании моделей рекомендуется проведение обзора близких по назначению моделей с анализом их достоинств и недостатков, а также рекомендуется формирование выводов, основанных на выполненном обзоре и определяющих выбор и модификацию существующей модели или создание новой модели. Целесообразно оценить адекватность выбранных или построенных математических моделей и области их применения.

3. В основной части курсовой работы даются теоретические основы численных или аналитических методов исследования математических моделей. Перед использованием известного математического аппарата необходимо дать

его краткое описание, обосновать преимущества его использования для решения данной задачи, указать достоинства и недостатки других возможных способов ее решения.

4. Далее проводится выбор пакетов программ, позволяющих исследовать созданные математические модели с помощью численных или аналитических методов, раскрываются их основные характеристики и возможности. Характеризуются особенности реализации численных и аналитических методов в пакетах программ

5. После этого в рамках выбранного пакета программ дается описание процедур формирования геометрической модели деформируемой конструкции или области, в которой развиваются процессы, например, процесс передачи тепла.

6. Затем проводится обоснование выбора конечных элементов, содержащихся в библиотеке конечных элементов пакета программ, раскрываются связи конечного элемента с математической моделью и с численным методом. Проводится построение сеток конечных элементов, дается описание используемых конечных элементов.

7. Задаются физические свойства конструкции (модули упругости, коэффициенты пластичности, вязкости, теплопроводности и т.д.).

8. Обосновывается выбор типов численных расчетов (статическое состояние, установившийся динамический процесс, переходный процесс, свободные колебания, вынужденные колебания и т.д.).

9. Задаются граничные условия, определяющие заданное положение и скорости частей границы конструкции, а также граничные условия, определяющие силы, действующие на поверхности конструкции. Задаются начальные условия, которые характеризуют положения, скорости и температуру всех точек конструкции в начальный момент времени.

10. Задаются объемные нагрузки, связанные с условиями эксплуатации конструкции и действующие внутри нее.

11. Задаются параметры численного метода решения задачи. Особое внимание этому вопросу следует уделять в задачах, связанных с решением задачи Коши при изучении переходных процессов.

12. В основной части курсовой работы проводятся численные расчеты или аналитическое решение задачи с использованием пакета программ, выполняется анализ достоверности полученных результатов. Рекомендуется построение диаграмм и графиков, основанных на известных результатах и на известных экспериментальных данных, и диаграмм и графиков, полученных

расчетным путем с применением разработанных математических моделей. Проводится сравнение результатов, полученных различными методами.

13. Проводится количественный и качественный анализ полученных результатов, на основе которых выполняется оптимизация конструкции на этапе ее проектирования. Рекомендуется при этом показать границы предметной области решения задач курсовой работы, установить степень новизны полученных решений.

14. Формулируются выводы, даются рекомендации.

Далее раскрываются основные принципы моделирования и исследования механических конструкций, которые рекомендуется использовать при выполнении и при оформлении курсовой работы.

2.2 Основные принципы построения моделей и выбора методов их исследования

При выполнении и оформлении курсовой работы следует учитывать общую схему математического моделирования, представленную на рисунке 1.

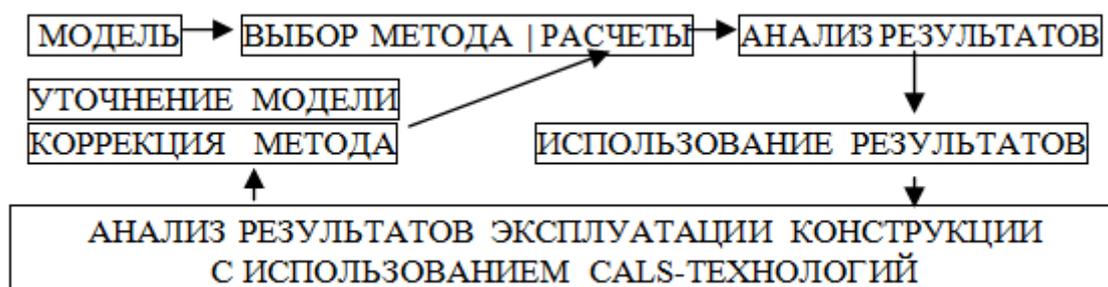


Рисунок 1 – Общая схема математического моделирования

Математическое моделирование включает в себя с учетом использования существующих комплексов программ следующие операции:

- создание компьютерной геометрической модели конструкции, согласование форматов и характеристик файлов, установленных в комплексах программ, для согласованного использования нескольких комплексов программ при построении и исследовании математической модели;
- обоснованный выбор модели и основных параметров конструкции, связанных с условиями ее эксплуатации, с типом расчета, и их отражение в математической модели;
- обоснованный выбор численного метода исследования математической модели и соответствующих комплексов программ;
- исследование модели, анализ результатов.

Следующая блок-схема (рисунок 2) дает более детальную характеристику первых шагов математического моделирования – уравновешенного построения первоначальной модели и выбора метода исследования модели.

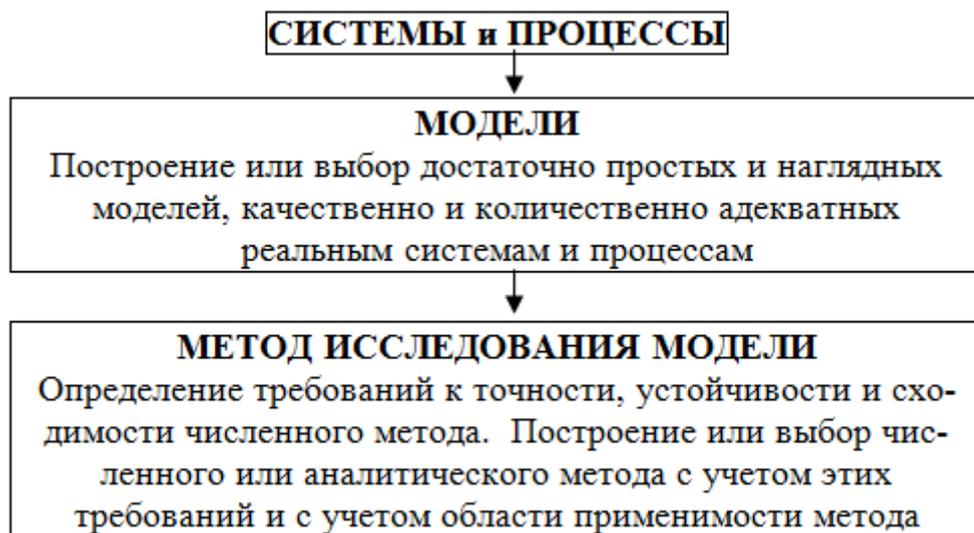


Рисунок 2 – Основные принципы моделирования

Повышение степени сложности модели, связанное с учетом большего числа факторов, влияющих на изучаемые характеристики, как правило, приводит к увеличению адекватности модели, но также увеличивает и затраты на ее исследование. Модель должна быть достаточно адекватной изучаемому объекту, но не чрезмерно, чтобы возможности исследования модели существенно не ограничивались. Избыточно сложная и за счет этого, несомненно, адекватная модель может оказаться недоступной для ее изучения даже с использованием самых современных аналитических и численных методов и супер-ЭВМ. Обоснованное, взвешенное сочетание адекватности и простоты построенной или выбранной математической модели механики конструкций является одним из самых сложных и принципиально важных условий ее формирования. Для оптимизации модели следует использовать целевую функцию, соответствующую решаемой задаче, для отыскания оптимального варианта сочетания простоты и адекватности модели. Неадекватная математическая модель может дать результаты, противоречащие очевидным истинам. Моделирование предполагает наличие глубокой и точной информации о физических основах самой системы и проходящих в ней процессов.

2.3 Универсальные уравнения - основа математических моделей конструкций

Основными элементами математических моделей механики конструкций, используемых в курсовых работах, являются универсальные уравнения: уравнение движения, уравнение моментов количества движения, закон сохранения массы, теорема об изменении главного вектора количества движения, теорема об изменении кинетической энергии, уравнения Сен-Венана (уравнения сплошности – условия отсутствия трещин), уравнение теплопроводности, уравнения Максвелла. Уравнение движения является обязательным элементом всех моделей. Включение в состав модели других уравнений определяется свойствами конструкции, характером происходящих в ней процессов, типом основной используемой системы координат (эйлеровой или лагранжевой), видом постановки задачи (в смешанной форме, «в перемещениях», «в напряжениях»). Закон сохранения массы включается в модель при решении задач о движении жидкостей или газов в эйлеровой системе координат, уравнения сплошности – необходимый элемент моделей в случае постановки задач «в напряжениях». Уравнение теплопроводности учитывает взаимосвязь внутреннего напряженно-деформированного состояния конструкции с температурным полем, уравнения Максвелла характеризуют влияние электромагнитного поля на механическую конструкцию, в том числе в случаях протекания по ней электрических токов, ее электрополяризации и намагниченности.

2.4 Уравнения состояния, определяющие характер модели конструкции

При построении математических моделей механических конструкций важнейшую роль играют уравнения состояния (примеры – на рисунке 3), определяющие свойства материала конструкции в тех или иных условиях. В курсовой работе должно быть обосновано применение того или иного уравнения состояния. Феноменологические или статистические уравнения состояния, например, закон Гука, соотношения вязкоупругости, пластичности, закон Навье-Стокса, являются результатами обобщений большого числа экспериментальных исследований и в рамках известных ограничений с высокой качественной и количественной адекватностью характеризуют поведение элементов механических конструкций в тех или иных условиях. Уравнения состояния определяют частные свойства элементов конструкции и их физическую природу. Классические уравнения состояния определяют модели линейно- и нелинейно-упругих тел, вязкоупругих тел, идеальных жидкостей

(газов), линейно- и нелинейно-вязких жидкостей (газов), электропроводящих жидкостей в электромагнитных полях и т.д. Универсальные уравнения и уравнения состояния в общем случае записываются в **тензорной форме** и в **безразмерном виде** с использованием π-теоремы, что делает математическую модель *независимой от особенностей конкретных систем координат и систем единиц измерения*.

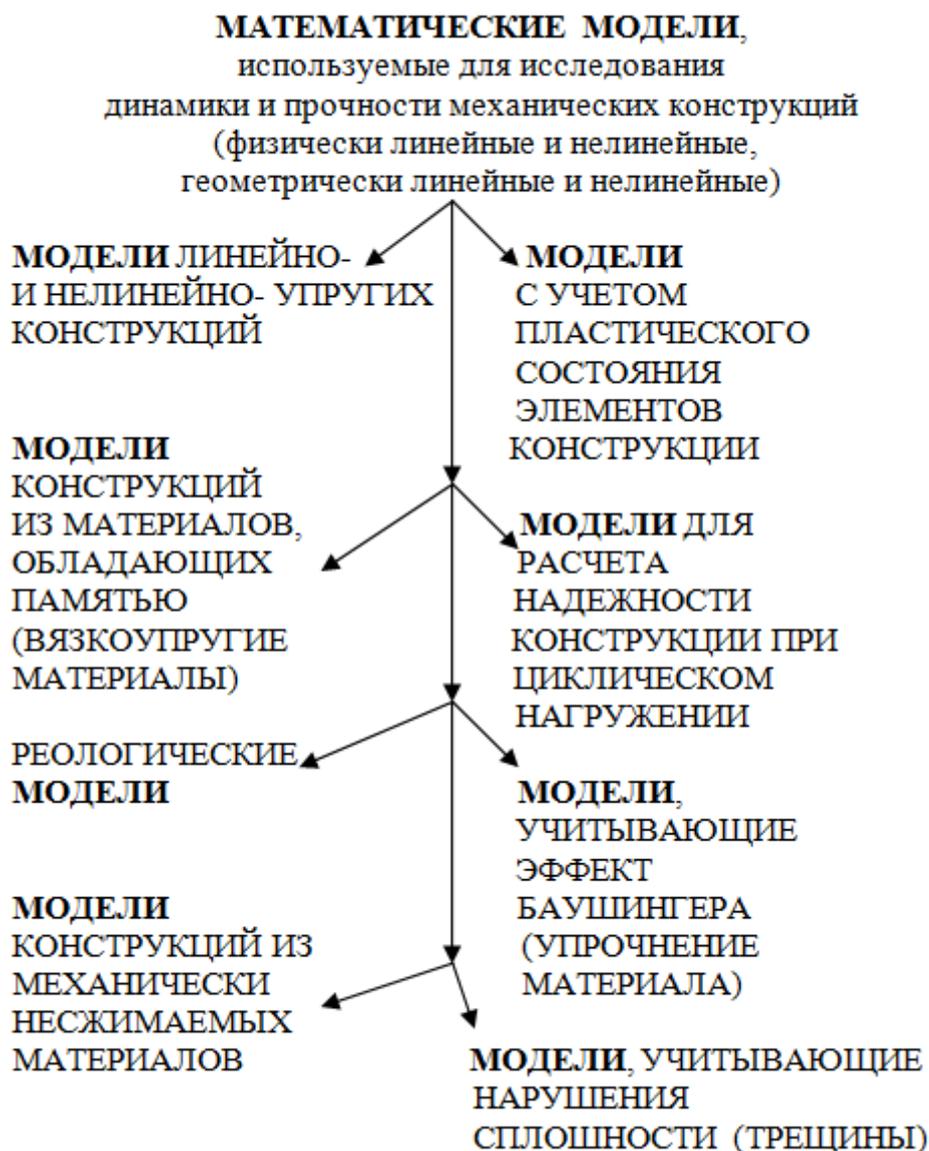


Рисунок 3 – Примеры моделей

2.5 Краевые и начальные условия, определяющие конкретные обстоятельства применения модели

После формирования в курсовой работе основной части математической модели в виде дифференциальных, интегральных, интегро-дифференциальных уравнений или в виде равносильных им вариационных принципов требуется поставить краевые и начальные условия. Для математической модели в

эйлеровой системе координат краевые условия накладываются на скорость, давление, температуру или поток тепла через границу, начальные условия ставятся для скорости и для температуры. Математическая модель в лагранжевой системе координат требует постановки силовых, кинематических, температурных краевых условий, а также задания начальных положений, скоростей и температур всех точек конструкции. После создания модели определяются виды ее исследования (рисунок 4), от которых зависят способы использования пакета программ.

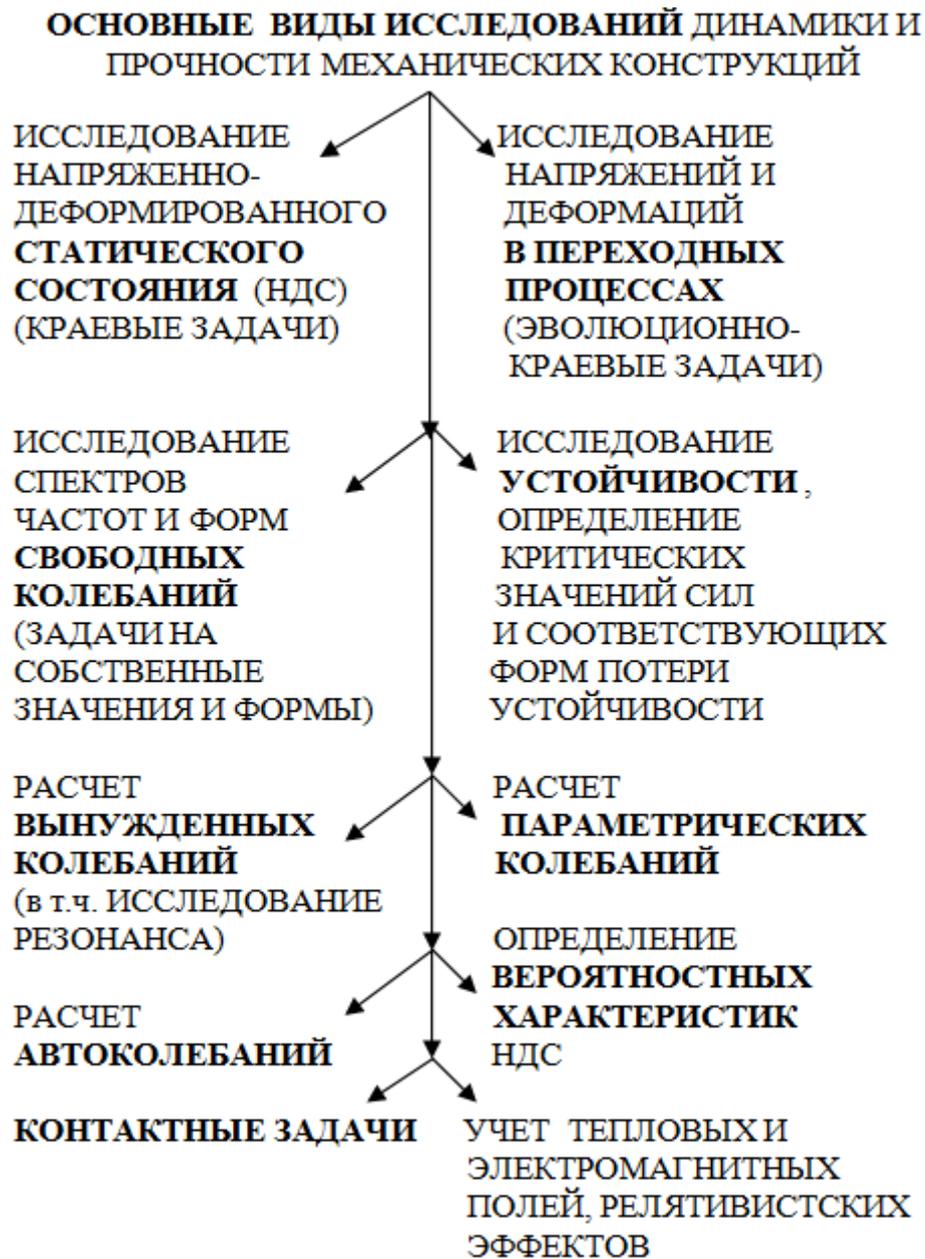


Рисунок 4 – Основные виды исследований моделей

3 ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ С РАЗВИТОЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТЬЮ

В процессе защиты курсовой работы выявляется подготовленность студента в вопросах конструкторско-технологической подготовки производства и работе в условиях современного производства, оценивается его умение применять достижения науки, техники и передового опыта при выполнении проектного задания, способность анализировать возможные варианты технических, технологических и организационных решений с учетом их экономической целесообразности. Следует учитывать, что курсовой проект – это проект учебный. Поэтому в процессе курсового проектирования решаются следующие задачи:

- закрепление, систематизация и расширение теоретических и практических знаний по специальности и применение этих знаний для решения конкретных научных, технических, технологических и организационно-технических задач;
- развитие навыков самостоятельной работы и овладение методикой исследования при выполнении проектных заданий.

3.1 Тематика курсовых работ

Тематика курсовых работ определяется выпускающей кафедрой. В перечень включаются темы, исходя из региональных особенностей производства, тематики научных исследований кафедры и центра компетенций «Авиационные технологии и авиационная мобильность». По своему содержанию темы курсовых проектов должны отражать современный уровень науки и техники, реальные проблемы предприятий авиастроения, удовлетворять целям и задачам курсового проектирования. Тематика курсовых работ должна соответствовать задачам профессиональной деятельности выпускников, содержащимся в государственном образовательном стандарте, ежегодно пересматриваться и обновляться с учетом изменений в производстве, достижений науки и техники. Основная часть тем должна быть ориентирована на конкретное направление инженерной деятельности: эксплуатационное, технологическое, проектно-изыскательское, научно-исследовательское. Объектами проектирования могут быть реально существующие или перспективные производства, машины, технологии, устройства.

Если тема курсового проекта связана с разработкой технологического процесса, технического обслуживания и ремонта или с проектированием

соответствующих участков, то производится тщательный анализ действующего на предприятии технологического процесса с обязательным выявлением существенных недостатков. Детальный анализ недостатков в организации и технологии проведения работ позволяет студенту выявить «узкие» места производства по объекту проектирования (реконструкции). Проведенный анализ позволяет наметить (рекомендовать) основные организационно-технические мероприятия, направленные на совершенствование организации и управления производством, способствующие повышению производительности труда и качества выполняемых работ, обеспечивающие для исполнителей безопасные и благоприятные условия труда на рабочих местах. Эти рекомендации по пунктам должны быть обоснованы с учетом действующих нормативов, подтверждены необходимыми расчетами, которые могут включать следующие мероприятия:

- замену устаревших и несовершенных методов организации и управления производством, технологии проведения работ на более перспективные; использование опыта и достижений в этой области лучших предприятий города, региона, страны, позволяющих сократить потери рабочего времени, повысить качество выполняемых работ, обеспечить надежную и высокоэффективную работу оборудования;
- замену устаревшего, малопроизводительного и изношенного оборудования, производственного инвентаря и оснастки на современное, высокопроизводительное оборудование;
- внедрение новых технологических решений в действующее производство;
- рациональное применение новых конструкционных материалов, в т.ч. композиционных;
- внедрение новых средств автоматизации технологической подготовки производства.

3.2 Содержание курсовой работы

Примерное содержание разделов курсовой работы и пояснительной записки должно быть следующим:

Введение

1. Выбор объекта проектирования
2. Аналитическая часть
3. Обоснование темы
4. Организационная часть

5. Расчетно-технологическая часть
 6. Проект организации (реконструкции) производственных участков
 7. Конструкторская часть
 8. Экономическое обоснование курсового проекта
- Общие выводы по курсовому проекту
Библиографический список
Приложение

При выполнении курсовой работы с развитой конструкторско-технологической частью студент должен учитывать все этапы конструкторско-технологической подготовки производства (весь цикл проектирования изделия от определения облика до запуска в производство). От того, насколько эффективно организована конструкторско-технологическая подготовка производства, напрямую зависит конкурентоспособность и качество продукции и в конечном итоге - экономическое состояние предприятия. В этот период определяются все параметры изделия, которые необходимы для его производства.

3.3 Последовательные этапы процесса создания любого нового изделия основного производства

1. Поисковое проектирование. На этом этапе производится анализ потребности рынка в данном изделии, исследуются конкурирующие аналоги, оцениваются временные и финансовые затраты для начала производства изделия, планируется серийность (годовой объем выпуска) изделия и устанавливаются его основные технические характеристики, оценивается возможная прибыль предприятия.

Результаты обоснования необходимости выпуска нового изделия оформляются в виде Технического задания на разработку проекта изделия. Техническое задание регламентирует состав, структуру и технические характеристики изделия. Отдельный его раздел - Технико-экономическое обоснование - посвящен экономическим вопросам.

При поисковом проектировании по содержанию проекта в период производственной практики студенту необходимо проконсультироваться с ведущими специалистами предприятия - сотрудниками отдела маркетинга, конструкторами, технологами, экономистами. Может быть использован опыт других предприятий.

2. Конструирование. На данном этапе осуществляется детальная разработка конструкции изделия. Структура, состав и геометрические параметры изделия должны соответствовать техническому заданию и

обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики изделия. Важно спроектировать изделие так, чтобы его можно было изготовить наиболее простым образом и с минимальными затратами (разумеется, не в ущерб качеству). Если это требование выполнено, то говорят о технологичности изготовления изделия.

Результаты конструирования оформляются в виде комплекта конструкторской документации. Он включает в себя детализированные и сборочные чертежи, спецификации и другие документы. Чертежи выполняются в соответствии с действующими стандартами (в России используется стандарт ЕСКД, на западе обычно применяются стандарты ISO и ANSI).

В конструкторскую документацию могут включаться компьютерные модели деталей и сборочных единиц изделия.

3. Технологическая подготовка производства. Данный этап состоит в обеспечении технологической готовности предприятия к выпуску данного изделия, при соблюдении требований к качеству, срокам и объемам выпуска, а также с учетом запланированных затрат.

Технологическая подготовка производства (ТПП) включает:

- обеспечение технологичности изделия (включая технологичность конструкции изделия и технологичность выполнения работ при его изготовлении, эксплуатации и ремонте);
- разработку и внедрение технологических процессов (механообработки, сборки, штамповки, литья, термообработки и др.) для изготовления деталей и узлов изделия;
- проектирование и изготовление необходимого нестандартного оборудования и средств технологического оснащения (приспособлений, пресс-форм, штампов, специального режущего и мерительного инструмента);
- управление процессами ТПП.

4. Создание опытного образца. Этот этап имеет своей целью проверку качества принятых конструкторских и технологических решений путем испытаний опытного образца изделия. По результатам испытаний могут быть внесены изменения как в конструкторскую документацию (то есть в конструкцию изделия), так и в разработанные технологические процессы.

5. Освоение производства. На данном этапе студенту необходимо рассчитать планируемые объемы выпуска изделия, стабилизировать качество продукции и добиться заданной трудоемкости на всех стадиях производства. Здесь может понадобиться освоение дополнительных производственных

мощностей, совершенствование технологических процессов, повышение численности и квалификации персонала.

3.4 Функции и проблемы технологической подготовки производства

Обеспечение технологичности конструкции изделия. Эта задача должна решаться с целью достижения максимально возможного упрощения процессов изготовления деталей изделия и процессов его сборки. При окончательном определении конструкции нужно представлять, какая оснастка понадобится для изготовления той или иной детали, и стараться упростить оснастку за счет допустимых изменений в конструкции.

Разумеется, упрощения конструкции не должны приводить к ухудшению качества или эксплуатационных характеристик изделия. Поэтому обеспечение технологичности во многих случаях является сложной творческой задачей, требующей оптимального учета многих технических и экономических факторов.

Технологичности конструкции изделия способствуют также унификация и стандартизация. Они дают возможность заимствования или приобретения готовых деталей и узлов изделия.

Проектирование технологических процессов. Современное производство использует самый широкий спектр технологий при изготовлении деталей изделий. Это как традиционные технологии (обработка материалов резанием, штамповка, ковка, прокатка и др.), так и ряд новых (лазерная и плазменная резка, высокоскоростное фрезерование, электроэрозионные методы обработки и др.).

Применение той или иной технологии в каждом конкретном случае должно быть представлено в виде технологического процесса (ТП). Стандартом ГОСТ 3.1201-85 устанавливается классификация видов ТП по методу выполнения - обработка резанием (механообработка), обработка давлением, литье металлов и сплавов, сварка, сборка и др. Технологический процесс определяет последовательность выполняемых действий при обработке или сборке, вид выбранной заготовки или материала, используемое оборудование и инструмент, технологические режимы (для обработки резанием это величина подачи, частота вращения шпинделя и величины снимаемых припусков; для литья - температурный режим, время выдержки и т. д.). ТП сборки описывают последовательность действий при сборке механических узлов изделия.

При использовании автоматизированных систем ТПП, создаваемые описания технологических процессов размещаются в компьютерной базе данных, а соответствующая документация является лишь отображением

внутреннего представления ТП во внешнюю сферу. Хранящиеся в базе данных ТП являются основным источником информации для решения задач автоматизированного управления технологической подготовкой производства. При этом разработка ТП выполняется с помощью специальных систем автоматизированного проектирования ТП (САПР ТП).

Проектирование и изготовление средств технологического оснащения (СТО). В условиях отсутствия автоматизации длительные сроки проектирования и изготовления СТО являются одним из основных факторов, сдерживающих производительность ТПП. Особенно это относится к сложной формообразующей оснастке и инструменту.

Еще одна важная задача ТПП - **управление процессами ТПП.** Автоматизация управления процессами ТПП позволяет обеспечить эффективное комплексное решение всех задач подготовки производства.

Работы по технологической подготовке производства выполняются соответствующими подразделениями и службами предприятия. Как правило, наибольший объем работ и общее управление процессами ТПП возлагаются на отдел Главного технолога (ОГТ), подразделения которого в основном могут быть определены как базы производственной практики.

Практически все ведущие предприятия машиностроения видят решение большинства проблем ТПП во внедрении компьютерных технологий, создании автоматизированных систем ТПП (АСТПП). На многих из них существенно повышен уровень комплексного решения проектных задач. Информация о спроектированном изделии принимается в электронном виде и является исходными данными для развертывания процессов ТПП. Компьютеризировано решение комплекса задач по проектированию и изготовлению оснастки, выполняется компьютерное моделирование технологических процессов литья, штамповки, обработки на станках с ЧПУ и др. Некоторые предприятия вплотную подошли к решению задачи автоматизации управления процессами ТПП, то есть к построению АСТПП предприятия.

3.5 Базовые системы автоматизации проектирования и управления в ТПП

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

Под компьютерным изготовлением понимается автоматизированное формирование, на основе имеющейся геометрической модели изделия, управляющих программ для изготовления деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Специализированные системы, решающие данную задачу (САМ-системы) в основном имеют ограниченные средства для моделирования, но обычно модели деталей, на основании которых строится процесс обработки, “принимаются” из САД-системы через согласованные интерфейсы. САД/САМ-системы обеспечивают интегрированное решение задач разработки конструкторского проекта изделия и формирования управляющих программ для обработки деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Объединение этих, достаточно различных классов задач в рамках одной системы обусловлено тем, что их решение базируется на использовании единой трехмерной геометрической модели изделия. Общность модели позволяет избежать всех проблем, связанных с передачей данных из одной системы в другую, обеспечивает интегрированное решение проектных задач. Для этих систем характерно также наличие системы верификации управляющих программ для проверки их корректности.

Построение пространственной геометрической модели проектируемого изделия является центральной задачей компьютерного проектирования. Именно эта модель используется в САД/САМ-системе для дальнейшего решения задач формирования чертежно-конструкторской документации, проектирования средств технологического оснащения, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Кроме того, эта модель передается в САЕ-системы и используется там для проведения инженерных исследований. По компьютерной модели, с помощью методов и средств быстрого прототипирования, может быть получен физический образец изделий.

3.6 Автоматизация технологической подготовки механообрабатывающего производства

Применение высокотехнологичных станков с ЧПУ и использование современных информационных технологий изменяет среду работы технологов и программистов, происходит их синтез, а их деятельность переносится из технологической среды в информационно-технологическую среду. На сегодняшний день информационно-технологическая среда включает в себя оборудование с ЧПУ, PDM\CAD\CAE\CAM систему, нормативно-справочную информацию, доступную в виде компьютерной базы знаний, локальную вычислительную сеть и специалистов, обеспечивающих функционирование сложной информационно - технологической системы. В рамках этой среды

осуществляется комплекс мероприятий, позволяющих получить из заготовки деталь наиболее рациональными и высокопроизводительными методами механической обработки на оборудовании с ЧПУ.

Сращивание потенциальных возможностей технолога и программиста при разработке управляющих программ для станков с ЧПУ связано с необходимостью сокращать время выхода готового изделия со станка, что предполагает сокращение сроков ТПП.

Технологический процесс обработки детали и управляющие программы для станков с ЧПУ по ее изготовлению разрабатываются на основе разнообразной информации, которая подготавливается различными подразделениями предприятия. Современный уровень развития техники позволяет осуществлять так называемый сквозной процесс, при котором автоматизированы и компьютеризированы все этапы работы по созданию изделия – от разработки до изготовления.

4 ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ С РАЗВИТОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТЬЮ

4.1 Требования к содержательной части работы

Оптимизация (информатика) — модификация системы для улучшения её эффективности.

Оптимизация — процесс нахождения наилучшего (оптимального) решения какой-либо задачи (набора параметров) при заданных критериях.

Критерий оптимальности (критерий оптимизации) — характерный показатель решения задачи, по значению которого оценивается оптимальность найденного решения, то есть максимальное удовлетворение поставленным требованиям. В одной задаче может быть установлено несколько критериев оптимальности.

Типовое распределение содержания курсовой работы:

1. Обзорная часть содержит обзор научно-технической литературы по заданной тематике, описание предметной области, выявление и формулирование существующих проблем. Также проводится обзор существующих подходов к решению подобных задач, проводится их критический анализ. По итогам обзора определяется цель, которую нужно достичь в ходе выполнения курсовой работы (желаемое состояние системы), формулируются решаемые задачи.

2. Аналитическая часть содержит описание возможных путей решения поставленных задач, приводятся математические методы решения. На основании их анализа обосновывается предлагаемый подход к решению задачи, выбирается один или несколько сочетающихся методов, позволяющих добиться желаемого состояния системы. Описывается алгоритм решения задачи с помощью выбранного метода.

3. В третьей части описывается выполнение примера решения задачи с использованием реальных данных, проводится проверка адекватности полученных результатов.

Критериями оптимизации могут быть время, стоимость, качество продукции, и др. Критерии обязательно должны быть измеримыми, чтобы по результатам оптимизации можно было точно оценить, насколько улучшен процесс.

Примерные тематики содержания курсовых работ, связанных с оптимизацией бизнес-процессов:

- Оптимизация технологического процесса изготовления изделия.
- Внедрение информационной системы.
- Адаптация специализированного программного продукта под нужды конкретного предприятия.
- Оптимизация организационной структуры подразделения.
- Оптимизация процессов подразделений.
- и др.

4.2 Общие требования к разработке модели и формализованному описанию процессов

Создаваемая модель процесса, прежде всего, должна обеспечивать достижение поставленных целей. Таким образом, прежде чем приступить к сбору информации об объекте, нужно четко определить границы области моделирования, цели и количественные показатели их достижения.

Под моделью понимается представление существующих процессов организации с целью описания их ключевых характеристик. Объектом моделирования (предметной областью) являются организационная структура, цели и функции, материальные и информационные потоки, технология бизнес-процессов организации, данные и знания сотрудников организации, необходимые для их выполнения, а также существующее в организации оборудование и программное обеспечение.

Построение полнофункциональной модели описания процессов организации выполняется для:

а) отражения текущего состояния процессов организации (как есть) в целях:

- выявления и локализации существующих проблем;
- оценки организационных, функциональных, информационных и экономических параметров;
- автоматизации процессов;
- структурирования и формализации знаний организации;
- создания условий для оптимизации выполнения основных процедур;

б) моделирования изменений состояния процессов организации в целях:

- оценки организационных, функциональных, информационных и экономических параметров планируемых изменений;
- поддержки принятия решений руководством организации;

в) создания системы оценки процессов организации в целях:

- формирования методического и нормативного документационного обеспечения деятельности организации;
- контроля соответствия документации и реального состояния процессов организации.

4.3 Компоненты процесса

Для задания процесса необходимо определить следующие компоненты:

- название (определение) процесса;
- реализуемую функцию или их последовательность;
- участников процесса;
- ответственное лицо – владельца процесса;
- границы процесса;
- входные и выходные потоки, а также их поставщиков и потребителей;
- требуемые ресурсы (производственные, технические, материальные, информационные);
- определяющую цель (цели) процесса;
- метрики процесса, точки и процедуры мониторинга процесса;
- возможные риски и влияния процесса на субъекты процесса.

Входные потоки – материалы, услуги и/или информация, расходуемые или преобразуемые процессом для создания выходных потоков.

Выходные потоки – результат преобразования входных потоков.

Ресурсы – непреобразуемые элементы, используемые для получения выходного потока (персонал, оборудование, помещения, информация и т. п.).

Владелец процесса – лицо (бизнес-роль), несущее полную ответственность за процесс и наделенное полномочиями в отношении этого процесса.

Основными составляющими модели бизнес-процесса являются:

- функции (действия, выполняемые участниками процесса);
- ресурсы (производственные, технические, материальные, системные);
- документы и данные (как преобразуемые в процессе, то есть входной/ выходной поток, так и непреобразуемые, то есть как ресурс);
- участники процесса (трудовые ресурсы);
- материалы/продукты, услуги (как преобразуемые в процессе, то есть входной/выходной поток).

4.4 Основные этапы моделирования

1. **Подготовительный этап.** На данном этапе определяются и утверждаются цели проекта моделирования и приоритеты, проблемные области организации, выбираются методология и средство моделирования. Также выделяются ключевые бизнес-процессы и их взаимосвязи.

2. **Описание и анализ процессов «как есть».** На этом этапе осуществляются описание процессов «как есть» в выбранном средстве моделирования, выбор критериев оценки процессов, выявление и оценка «узких» мест и потенциала для совершенствования.

3. **Построение процессов «как должно быть».** На этом этапе определяются и оцениваются альтернативные сценарии процессов, моделируются процессы «как должно быть» с новой организационной структурой и операционным окружением, формулируются требования к квалификации и знаниям персонала, определяются потребности в техническом и информационном обеспечении.

4. **Подготовка к переходу к оптимизированной модели.** На этом этапе разрабатывается план перехода от текущего состояния к целевому.

4.5 Анализ модели

Построенная модель процессов может служить основой для проведения Activity Based Costing - анализа, имитационного моделирования и т.д.

Method Activity Based Costing (учет затрат по работам) позволяет построить модель взаимосвязи произведенных затрат со стоимостью продукта или услуги через вычисление стоимости процессов, необходимых для получения готового продукта.

Имитационное моделирование – это методика, позволяющая представлять в рамках динамической компьютерной модели протекание процессов, действия людей и применение технологий, используемых в изучаемых процессах. Динамическое имитационное моделирование позволяет генерировать конкретные бизнес-случаи выполнения бизнес-процесса на заданном интервале времени. Для построения оптимального бизнес-процесса разрабатывается несколько альтернатив, которые анализируются с помощью метода имитационного моделирования. При использовании механизма динамического моделирования для каждого разработанного варианта модели можно получить набор статистики как по процессу в целом, так и по отдельным его элементам. Статистика может включать такие параметры, как среднее время выполнения процесса, общее время ожидания, среднее время выполнения

отдельных функций, коэффициент использования исполнителей и других ресурсов и т. д. Полученная статистика служит основой, как для оценки текущего процесса, так и для сравнения альтернативных вариантов и выбора наиболее оптимального из них.

Создаваемая модель должна отражать те свойства реального объекта, которые влияют на выбранные показатели эффективности.

Для более полного исследования реального объекта может потребоваться построение нескольких взаимосвязанных моделей, позволяющих описать объект моделирования с разных сторон.

4.6 Инструментальные средства моделирования бизнес процессов

В России для моделирования и анализа бизнес-процессов достаточно широко используются следующие средства моделирования: *Rational Rose*, *Oracle Designer*, *AllFusion Process Modeler (BPWin)* и *AllFusion ERwin Data Modeler (ERWin)*, *ARIS*, *Power Designer*. За рубежом, помимо упомянутых, активно используются такие средства, как *System Architect*, *Ithink Analyst*, *ReThink* и др.

Конкретная нотация и программное средство моделирования выбираются на основании проведения сравнительного анализа, исходя из требований решаемой задачи и целей моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О.Зенкевич. М.: Мир, 1975. 541 с.
- 2 Иванов В.В. Методы вычислений на ЭВМ: Справочное пособие / В.В.Иванов. Киев: Наукова думка, 1986. 584с.
- 3 Марчук Г.И. Введение в проекционно-сеточные методы / Г.И.Марчук, В.И.Агошков. М.: Наука. Гл. редакция физ.-мат. лит-ры, 1981. 416 с.
- 4 Математическое моделирование / Ред. Дж. Эндрюс, Р. Мак-Лоун. М.: Мир, 1979. 279 с.
- 5 Митчелл Э. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными / Э.Митчелл, Р.Уэйт. М.: Мир, 1981. 216 с.
- 6 Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / Дж.Оден. М.: Мир, 1976. 464 с.
- 7 Розин Л.А. Метод конечных элементов / Л.А.Розин. Л.:Энергия, 1971. 212 с.
- 8 Розин Л.А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам / Л.А.Розин. М.: Стройиздат, 1977. 128с.
- 9 Самарский А.А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент / А.А.Самарский // Вестн. АН СССР. 1979. N5. С.38-49.
- 10 Стренг Г. Теория метода конечных элементов / Г.Стренг, Дж.Фикс. М.: Мир, 1977. 349 с.
- 11 Технология машиностроения: В 2 кн. Кн.1 Основы технологии машиностроения. Учеб.пособ. для вузов/ Э.Л. Жуков, И.И. Козарь, С.Л. Мурашкин и др.; Под. ред. С.Л. Мурашкина.- М.: Высш.шк., 2008.-278 с.
- 12 Виноградов, В. М. Технология машиностроения: введение в специальность : учебное пособие для вузов / В. М. Виноградов. - 3-е изд., стереотип. - М. : Академия, 2008. - 174 с.
- 13 Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов.—М.: Высш. шк., 1985,— 304 с, ил.
- 14 Ящерицын П.И. Теория резания: учебник / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. — 2-е изд., испр. и доп. — Мн.: Новое знание, 2006. — 512 с. : ил.
- 15 Инструментальное обеспечение автоматизированного производства: Учебник для машиностр. спец. вузов / В. А. Гречишников, А. Р. Маслов, Ю. М. Соломенцев и др.; Под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. М.: Высшая школа, 2001. 271 с.

16 САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учеб. пособие для вузов / В. И. Аверченков, И. А. Каштаньян, А. П. Пархутик. Мн.: Высш. шк., 1993. 288 с.

17 Иноземцев Г. Г. Проектирование металлорежущих инструментов. Учеб. пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». / Г. Г. Иноземцев. М.: Машиностроение, 1984. 272 с.

18 Технологические процессы в машиностроении: учебник для вузов / А.Г. Схиртладзе, С.И. Богодухов, Р.М. Сулейманов, Е.В. Бондаренко, А.Д. Проскурин. М: Машиностроение, 2009. 640 с.

19 Дубейковский В. И. «Практика функционального моделирования с AllFusion Process Modeler 4.1. (ВРwin) Где? Зачем? Как?». Диалог-МИФИ, 2004. – 464 с.

20 Шеер, Август-Вильгельм «Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы». Просветитель, 1999 г. – 152 с.

21 Елиферов В.Г., Репин В.В. «Бизнес-процессы». Инфра-М, 2005. – 319с.